

“SISTEMA ROBÓTICO MODULAR”
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO
MODULAR QUE PERMITA LA CONFIGURACIÓN DE DISTINTOS
ROBOTS MÓVILES PROGRAMABLES. PROYECTO
INTERDISCIPLINARIO DESARROLLADO ENTRE LA ESCUELA DE
DISEÑO INDUSTRIAL Y LA ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA.

OMAR ORLANDO CARVAJAL
FABIO LEÓN ERASO PEREIRA
HERNANDO MORALES ORTIZ
ALIRIO JOSÉ PINILLA PLATA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2006

“SISTEMA ROBÓTICO MODULAR”
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO
MODULAR QUE PERMITA LA CONFIGURACIÓN DE DISTINTOS
ROBOTS MÓVILES PROGRAMABLES. PROYECTO
INTERDISCIPLINARIO DESARROLLADO ENTRE LA ESCUELA DE
DISEÑO INDUSTRIAL Y LA ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA.

OMAR ORLANDO CARVAJAL
FABIO LEÓN ERASO PEREIRA
HERNANDO MORALES ORTIZ
ALIRIO JOSÉ PINILLA PLATA

TESIS DE GRADO

Directores

Ing. JORGE HERNANDO RAMÓN
D.I. JUAN CARLOS MORENO

Codirector

D.I. MIGUEL ENRIQUE HIGUERA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL
BUCARAMANGA
2006

Dedico todo el trabajo y esfuerzo que significó la realización de mi proyecto de grado a mis padres quienes me apoyan en todo momento para que alcance los objetivos que me propongo, de los que recibo palabras y caricias que me motivan a crecer día a día y dar lo mejor de mí en todo lo que hago.

A mi familia que me apoyó en la idea de estudiar una carrera universitaria, y de quienes recibí el apoyo necesario para no desfallecer en el camino.

A mis amigos de universidad quienes hicieron que las jornadas de estudio fueran mucho más amenas, con los que compartimos conocimientos y experiencias, y en quienes siempre encontré personas dispuestas a dar y recibir palabras de aliento.

A todas y cada uno de las personas que nos colaboraron en las diversas pruebas que hicimos de nuestro proyecto.

A los integrantes del grupo ERA con quienes compartimos muchos momentos de dificultad y gloria, de quienes aprendí muchas cosas, sobre todo el valor de la verdadera amistad.

A Dios ya que sin su voluntad y su gracia hubiese sido imposible la culminación del mismo.

Por último a mis compañeros de proyecto, por su comprensión y dedicación en busca de la materialización de un sueño compartido.

Omar

A
quienes
creen que la
ingeniería es una
facción artística del
conocimiento, y a quienes
inspiraron esa facción en mí.

Fabio

A Dios, por permitirme comprender las razones bajo las cuales estoy en este mundo y acompañarme durante tantos años en las buenas y en las malas.

A mis padres, por ser los gestores de este proyecto de vida y apoyar las ideas de un soñador sin entenderlas ciento por ciento.

A mis hermanas, por acompañarme y ayudarme en los momentos de alegría y tristeza.

A mis amigos y compañeros que me han apoyado durante todos estos años de trabajo y a pesar que no todos conocen realmente el esfuerzo hecho, de una u otra manera han contribuido en este proceso con su paciencia, aliento y confianza, generando una fuerza que me impulsa cada día para poder cumplir las metas propuestas y poder salir adelante.

A “ERA” por que es el fiel testimonio que los grandes sueños pueden ser materializados con convicción, trabajo en equipo y paciencia.

Hernando

A mi familia entera y a cada uno de los amigos que he conocido desde la infancia quienes con su educación, ejemplo y amistad han venido formando la persona que ahora soy. Gracias a Dios, siempre he podido contar con ellos.

Alirio

Queremos agradecer a las personas que nos ayudaron durante la realización de este proyecto de grado sea de forma económica, brindándonos su apoyo, su ayuda lógica o técnica, su amistad, sus palabras de aliento...

En primer lugar a nuestros padres, Martha Plata, Gladys Pereira, Anita Díaz, Orlando Carvajal, Emérita Ortiz, Valerio Morales.

Nuestros amigos, Carlos Reyes, Carlos Angulo, German Rueda, Cristian Díaz, César Hernández, Juan Gabriel Gélvez, Nathalie Hernández, Ángela Gélvez, los demás compañeros del Grupo ERA.

A quienes laboran en los laboratorios de Resistencia de Materiales y Talleres de Diseño Industrial de la UIS.

Alirio, Hernando, Fabio y Omar

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
1.1. TÍTULO DEL PROYECTO	2
1.2. OBJETIVO GENERAL	2
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3.1. Objetivos Interdisciplinarios.	3
1.3.2. Objetivos en el campo de acción de Diseño Industrial.	3
1.3.3. Objetivos en el campo de acción de Ingeniería Electrónica.	5
1.4. JUSTIFICACIÓN	6
2. COMPRENSIÓN DEL PROBLEMA	12
2.1. METODOLOGÍA PROYECTUAL	12
2.1.1. Metodología para el desarrollo del proyecto en el área de Diseño Industrial.	12
2.1.2. Metodología para el desarrollo del proyecto en el área de Ingeniería Electrónica.	14
2.2. MARCO TEÓRICO	18
2.3. ANÁLISIS DE SOLUCIONES EXISTENTES	20
2.4. DIVISIÓN DEL PROBLEMA EN SUBPROBLEMAS Y JERARQUIZACIÓN	23
2.5. PRECISIÓN DEL PROBLEMA	28
2.5.1. Requerimientos generales.	28
2.5.2. Requerimientos particulares.	33

2.5.3. Parámetros de diseño.	33
3. PROPUESTAS DE DISEÑO	38
3.1. SISTEMA ROBÓTICO MODULAR COMPLETO	38
3.2. SUBSISTEMA ESTRUCTURAL	45
3.3. SUBSISTEMA DE CONTROL	50
3.3.1. Módulo de control.	50
3.3.2. Módulos de conectores.	75
3.4. SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN	89
3.5. SUBSISTEMA DE MANIPULACIÓN	96
3.5.1. Manipulador.	101
3.5.2. Receptáculo de carga.	104
3.6. SUBSISTEMA DE LOCOMOCIÓN	107
3.6.1. Módulo de motores.	108
3.6.2. Módulos de locomoción.	116
3.7. SUBSISTEMA DE SENSORES	124
3.7.1. Módulo seguidor de línea.	124
3.7.2. Módulo sensor de encoder.	134
3.7.3. Módulo sensor de contacto.	141
3.7.4. Módulo sensor de distancia por infrarrojo.	144
3.7.5. Módulo sensor detector de objetos por infrarrojo.	152
3.7.6. Módulo sensor de distancia por ultrasonido.	158
3.7.7. Módulo rastreador de luz.	168
3.7.8. Módulo sensor de temperatura.	174
3.7.9. Módulo detector de sonido.	178
3.8. SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN	186
3.8.1. Comunicación cableada.	186
3.8.2. Módulos de Comunicación Inalámbrica.	187
3.9. MEDIOS DE VISUALIZACIÓN Y ALERTAS	199
3.9.1. Medios visuales.	199

3.9.2. Medios sonoros.	203
4. EXPERIMENTACIÓN	207
4.1. COMPROBACIÓN TÉCNICA	208
4.2. COMPROBACIÓN ELECTRÓNICA	222
4.3. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS - AMFE	236
4.4. SIMULACIÓN DE USO	241
5. SOLUCIÓN FINAL DE DISEÑO	249
5.1. FACTORES OBJETUALES	249
5.2. FACTORES DE MERCADEO	254
5.3. FACTORES TÉCNICO-PRODUCTIVOS	255
6.1. FACTORES ECONÓMICOS	263
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	267
7. BIBLIOGRAFÍA	
8. PLANOS	
9. ANEXOS	
10. MANUAL DE USUARIO	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fases de la Investigación	13
Figura 2. Subdivisión del problema de investigación	23
Figura 3. Alternativa de discos	41
Figura 4. Alternativa Módulos Flexibles	42
Figura 5. Esquemas que representan la estructura básica (Izquierda) y la estructura avanzada (Derecha)	46
Figura 6. Boceto del accesorio para montaje de módulos en la estructura principal.	46
Figura 7. Tornillos de nylon 1/4"	47
Figura 8. Pendiente que puede subir el móvil sin que haya rozamiento con la estructura.	48
Figura 9. Vista isométrica de la estructura principal y el accesorio para montaje de más módulos.	49
Figura 10. Estructura principal para comprobaciones preliminares.	49
Figura 11. Distribución de la tarjeta de control, de conectores y la LCD en la idea preliminar del módulo de control.	51
Figura 12. Módulo de control con LCD integrado conectado a un módulo de conectores.	52
Figura 13. Conectores que permiten el ensamble entre el módulo de control y el módulo de conectores.	52
Figura 14. Componentes visibles del módulo de control.	52
Figura 15. Modelo construido para la comprobación del módulo de control.	53
Figura 16. Arquitectura de control clásica.	54

Figura 17.	Arquitectura de control supsumsion.	54
Figura 18.	Arquitectura interna microcontrolador MC908AZ60A.	60
Figura 19.	Etapas de alimentación.	63
Figura 20.	Comunicación serial.	65
Figura 21.	Configuración de clase y velocidad de programación.	65
Figura 22.	Interfase de Configuración.	67
Figura 23.	Oscilador Pierce.	68
Figura 24.	Segmentación y filtrado.	68
Figura 25.	Fotos de la tarjeta cara superior e inferior.	70
Figura 26.	Esquema sistema de control.	70
Figura 27.	Diseño de circuito impreso tarjeta de control cara superior.	71
Figura 28.	Diseño de circuito impreso tarjeta de control cara inferior.	71
Figura 29.	Algunos conectores disponibles en el mercado (Izquierda). Conector utilizado en los módulos de conectores (Derecha).	76
Figura 30.	Color asignado a cada módulo con su respectivo valor CMYK.	77
Figura 31.	Numeración para conectores repetidos.	78
Figura 32.	Vista isométrica del Módulo de Conectores Básico.	79
Figura 33.	Vista isométrica del Módulo de Conectores Avanzado.	80
Figura 34.	Modelos para comprobación de los Módulos de Conectores: <i>Básico</i> (izquierda) y <i>Avanzado</i> (derecha).	81
Figura 35.	Diseño de Circuito impreso tarjeta de conectores básica cara superior.	85
Figura 36.	Diseño de Circuito impreso tarjeta de conectores básica cara inferior	85

Figura 37.	Diseño de Circuito impreso tarjeta de conectores Avanzada cara superior.	86
Figura 38.	Diseño de Circuito impreso tarjeta de conectores Avanzada cara inferior.	86
Figura 39.	Diseño de Circuito impreso tarjeta de acople cara inferior.	87
Figura 40.	Módulo de baterías y su ubicación en la estructura.	90
Figura 41.	Portapilas utilizado en el módulo de baterías.	90
Figura 42.	Circuito impreso diseñado para el módulo de baterías.	92
Figura 43.	Características generales de los elementos a manipular.	96
Figura 44.	Enrutado sistema detector de objetos por infrarrojos para la pinza.	97
Figura 45.	Formas de onda utilizadas para el control de servomotores.	99
Figura 46.	Alternativas iniciales del manipulador.	101
Figura 47.	Desplazamiento de las pinzas.	102
Figura 48.	Diseño modificado del manipulador.	103
Figura 49.	Ubicación del manipulador en el sistema.	103
Figura 50.	Modelo funcional del manipulador para comprobaciones.	104
Figura 51.	Alternativa de receptáculo con capacidad para una lata (izquierda) o una pelota (derecha).	104
Figura 52.	Alternativa de receptáculo con capacidad para dos latas (izquierda) o dos pelotas (derecha).	105
Figura 53.	Modelo del subsistema de manipulación para comprobaciones.	106
Figura 54.	Distribución de pines puente H L293.	111
Figura 55.	Esquemático del circuito del modulo de locomoción.	113

Figura 56.	Diseño tarjeta de circuito impreso para subsistema de locomoción.	113
Figura 57.	Módulo de motores para comprobaciones.	115
Figura 58.	Ideas iniciales de orugas.	116
Figura 59.	Dirección para tensionar la correa en cada una de las alternativas.	117
Figura 60.	Desplazamiento de la polea y ubicación de los balines.	118
Figura 61.	Partes de la oruga.	118
Figura 62.	Subsistema de locomoción tipo oruga para comprobaciones preliminares.	119
Figura 63.	Alternativa de la oruga optimizada.	120
Figura 64.	Subsistema de Locomoción en modo oruga.	121
Figura 65.	Rueda con encoder y accesorio de montaje.	122
Figura 66.	Rueda libre con accesorio de montaje.	122
Figura 67.	Posibles configuraciones del Subsistema de Locomoción en modo Triciclo.	123
Figura 68.	Ubicación del módulo seguidor de línea.	125
Figura 69.	Módulo seguidor de línea y tarjeta electrónica.	125
Figura 70.	Ideas iniciales de sensores seguidores de línea.	129
Figura 71.	Posibles configuraciones de la línea guía.	130
Figura 72.	Número y Ubicación de Sensores.	131
Figura 73.	Enrutado sistema seguidor de línea.	132
Figura 74.	Ubicación del módulo sensor de encoder.	135
Figura 75.	Módulo sensor de encoder y tarjeta electrónica.	135
Figura 76.	Diseño de un encoder.	136
Figura 77.	Ideas iniciales de sensores de encoder.	138
Figura 78.	Enrutado sistema sensor de encoder.	139
Figura 79.	Ubicación del módulo sensor de contacto.	141

Figura 80.	Sensor de contacto y su módulo.	142
Figura 81.	Ubicación del módulo sensor de distancia por infrarrojo.	145
Figura 82.	Sensor de distancia por infrarrojo y su módulo.	145
Figura 83.	Ideas iniciales de sensores medidores de distancia infrarrojo.	149
Figura 84.	Curva característica de la señal de salida del GP2D12.	150
Figura 85.	Ubicación del módulo sensor detector de objetos por infrarrojo.	152
Figura 86.	Módulo sensor detector de objetos por infrarrojo y tarjeta electrónica.	153
Figura 87.	Ideas iniciales de sensores detectores de objetos por infrarrojo.	154
Figura 88.	Diagrama esquemático del sensor IS471F.	155
Figura 89.	Enrutado sistema detector de objetos por infrarrojos.	156
Figura 90.	Ubicación del módulo sensor detector de objetos por ultrasonido.	158
Figura 91.	Forma de onda señal de emisión.	161
Figura 92.	Forma de onda pulso de transmisión.	161
Figura 93.	Diagrama esquemático etapa de emisión.	162
Figura 94.	Diagrama esquemático de la etapa de filtrado y amplificación.	164
Figura 95.	Diagrama esquemático de la etapa de rectificación.	164
Figura 96.	Comparación de onda.	165
Figura 97.	Comparación de señales emitidas y reflejadas.	165
Figura 98.	Diagrama esquemático y formas de onda presentes en la etapa de generación del pulso de salida.	166
Figura 99.	Ubicación del módulo rastreador de luz.	169

Figura 100. Módulo rastreador de luz y tarjeta electrónica.	169
Figura 101. Diagrama esquemático del sistema rastreador de luz.	171
Figura 102. Enrutado sistema rastreador de luz.	172
Figura 103. Ubicación del módulo sensor de temperatura.	174
Figura 104. Módulo sensor de temperatura y tarjeta electrónica.	174
Figura 105. Ideas iniciales de sensores de temperatura.	175
Figura 106. Enrutado sistema sensor de temperatura.	176
Figura 107. Ubicación del módulo detector de sonido.	178
Figura 108. Módulo detector de sonido y tarjeta electrónica.	178
Figura 109. Diagrama esquemático de la etapa preamplificadota de audio.	180
Figura 110. Diagrama esquemático de la etapa de filtrado.	181
Figura 111. Respuesta en frecuencia del filtro implementado.	182
Figura 112. Diagrama esquemático del amplificador INA145.	183
Figura 113. Diagrama esquemático del circuito rectificador.	183
Figura 114. Enrutado sistema detector de sonido.	184
Figura 115. Dispositivos de emisión y recepción inalámbrica.	188
Figura 116. Módulo emisor de comunicación inalámbrica y su tarjeta electrónica.	189
Figura 117. Diagrama esquemático de la etapa recepción.	190
Figura 118. Asignación de pines transmisor inalámbrico TXE-315-KH.	191
Figura 119. Enrutado emisor inalámbrico.	193
Figura 120. Módulo receptor de comunicación inalámbrica y su tarjeta electrónica.	194
Figura 121. Asignación de pines receptor inalámbrico RXD-315-KH.	195
Figura 122. Enrutado receptor inalámbrico.	197
Figura 123. Pantalla de cristal líquido y LED's usados.	201

Figura 124. Implementación final de la Pantalla y los LED's	201
Figura 125. Curva Típica de respuesta en frecuencia	204
Figura 126. Esquema de circuito electrónico zumbador	204
Figura 127. Esquema final tarjeta impresa e implementada	205
Figura 128. Diagrama de bloques funcionales del Sistema Robótico Modular.	238
Figura 129. Alternativas del sistema utilizadas para la simulación de uso.	243
Figura 130. Disposición de las alternativas para la simulación.	245
Figura 131. Color asignado a cada módulo.	252
Figura 132. Símbolos utilizados para la identificación de los módulos.	253
Figura 133. Indicadores utilizados en los módulos.	254
Figura 134. Fase de transición para llegar a un producto comercializable.	254
Figura 135. Diagrama de producción de carcasas.	260
Figura 136. Diagrama de producción de los módulos de locomoción.	261
Figura 137. Proceso de fabricación módulo estructural y de manipulación.	262

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características generales de sistemas modulares existentes en el mercado.	21
Tabla 2. Características electrónicas generales de los productos comerciales y proyectos universitarios existentes	22
Tabla 3. Dimensiones estimadas de las tarjetas electrónicas de los módulos que componen el Sistema	39
Tabla 4. Ideas iniciales del Sistema Robótico Modular	40
Tabla 5. Dimensiones finales de las tarjetas electrónicas de los módulos que componen el Sistema.	44
Tabla 6. Características generales de algunas marcas y referencias de microcontroladores.	58
Tabla 7. Características generales de los microcontroladores MC912D60A MC908GP32 MC908AZ60A.	60
Tabla 8. Características generales reguladores conmutados PT78HT205H y PTH08080W.	62
Tabla 9. Características requeridas en modo monitor.	66
Tabla 10. Distribución de puertos para tarjeta de conectores básica.	83
Tabla 11. Distribución de puertos para tarjeta de conectores avanzada.	84
Tabla 12. Cuadro comparativo de las dos alternativas de reguladores.	91
Tabla 13. Cuadro comparativo de las dos alternativas de baterías.	93
Tabla 14. Comparación de los actuadores.	108

Tabla 15	Comparación entre los servomotores	109
Tabla 16.	Características puentes H.	111
Tabla 17	Comportamiento de las salidas del L293.	112
Tabla 18	Características del regulador conmutado PT6302C.	112
Tabla 19	Ruedas libres disponibles en el mercado.	123
Tabla 20	Cuadro comparativo de sensores que aplican la configuración tipo reflex.	127
Tabla 21	Cuadro comparativo de sensores medidores de distancia por infrarrojo.	147
Tabla 22	Características sensor ultrasónico 40TR12B y TR40-16.	159
Tabla 23	Características etapas circuito receptor.	163
Tabla 24	Descripción de pines TXE-315-KH.	192
Tabla 25	Descripción de pines RXD-315-KH.	196
Tabla 26	Comparación dispositivos de visualización.	199
Tabla 27	Características eléctricas módulo de control.	222
Tabla 28	Evaluación alcances subsistema de control.	223
Tabla 29	Evaluación alcances módulos de conectores.	224
Tabla 30	Características eléctricas subsistema de alimentación.	224
Tabla 31	Características eléctricas módulo de locomoción.	225
Tabla 32	Características eléctricas detector de distancia por infrarrojo.	226
Tabla 33	Características eléctricas rastreador de luz.	227
Tabla 34	Características eléctricas sensor de contacto.	227

Tabla 35	Características eléctricas detector de sonido.	228
Tabla 36	Características eléctricas detector de objetos por infrarrojo.	229
Tabla 37	Características eléctricas detector de objetos por ultrasonido.	230
Tabla 38	Características eléctricas seguidor de línea.	230
Tabla 39	Características eléctricas subsistema de manipulación.	231
Tabla 40	Características eléctricas subsistema de comunicación.	232
Tabla 41	Características eléctricas zumbador.	233
Tabla 42	Características eléctricas LCD.	233
Tabla 43	Características eléctricas LED.	233
Tabla 44	Características eléctricas sensor de encoder.	234
Tabla 45	Características eléctricas módulo de temperatura.	235
Tabla 46	Cuadro de clasificación según Gravedad o Severidad de fallo.	236
Tabla 47	Cuadro de clasificación según la Probabilidad de ocurrencia.	237
Tabla 48	Cuadro de clasificación según la Probabilidad de NO detección.	237
Tabla 49	Propiedades de las Resinas Poliéster.	256
Tabla 50	Componentes y propiedades de las probetas.	258
Tabla 51	Costos de fabricación de los módulos.	264

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Análisis de soluciones existentes

Anexo B. Jerarquizaron de los subproblemas del proyecto

Anexo C. Sensores infrarrojos en configuración Reflex

Anexo D. Programación

Anexo E. Aplicación del Método AMFE

Anexo F. Resultados de la Simulación de Uso

Anexo G. Especificación de costos

GLOSARIO

AC: corriente alterna (Alternating current).

BAUDIO: medida utilizada para la transmisión de datos digitales.

BUMPER: interruptor de dos estados que se acciona por medios mecánicos.

BUZZER: transductor que convierte señales eléctricas de tensión en vibraciones acústicas.

CAD: conversor análogo digital.

DC: corriente directa (Direct current).

DSP: procesador digital de señales (Digital signal processor).

E/S: acrónimo de 'Entrada/Salida'. Suele aplicarse al flujo de datos. También es conocido por su acrónimo inglés 'I/O'.

EEPROM: memoria programable de solo lectura con borrado electrónico (electrically-erasable programmable read-only memory)

ENCODER: disco dividido uniformemente por variaciones de colores o variaciones de huecos y superficies lisas.

EXACTITUD: diferencia entre el valor real y el medido

FPGA: matriz de puerta programable (Field-programmable gate array)

GNU: licencia general publica

JUMPER: puente eléctrico que funciona como un corto circuito

LED: diodo emisor de luz (Light emission diode)

LCD: pantalla de cristal liquido (liquid crystal display)

PCB: tarjeta de Circuito Impreso, por su sigla en inglés PCB [Printed Circuit Board].

PUENTE H: circuitos que permiten controlar el giro de los motores eléctricos de corriente directa en dos direcciones desde un circuito digital.

PWM: modulación por ancho de pulso (pulse width modulation)

RAM: memoria de acceso aleatorio (random acces memory)

RANGO: diferencia entre el valor máximo y mínimo medible.

REGULADOR CONMUTADO: circuito encargado de estabilizar un nivel de tensión DC por medio de un conmutador que interrumpe la corriente en la fuente primaria en intervalos de duración variable.

ROBUSTO: fuerte, vigoroso, bien fabricado, difícil de romper. En control, poco sensible a errores o incertidumbres de modelado. En la

actividad computacional, tanto una máquina como un algoritmo se consideran robustos si son capaces de actuar y trascender a pesar de dificultades que accidentarían a máquinas o algoritmos más simples o menos flexibles. La tolerancia a fallos se considera sinónimo de robustez.

ROM: memoria de solo lectura (read only memory)

SCI: interfase de comunicación serial (Serial communication interfase)

SENSIBILIDAD: relación de cambio de la salida a los cambios de las entradas.

SENSOR: dispositivo que detecta algunas cantidades externas. Los sensores convierten una cantidad física en otra, estos producen señales eléctricas relacionadas a las cantidades detectadas.

SERVOMOTOR: motor DC dotado de un juego de engranajes para aumentar su torque y un circuito de control para determinar la posición del rotor.

SPI: Interfase serial de periféricos (serial peripheral interfase)

TIEMPO DE RESPUESTA: tiempo requerido para que un cambio de la entrada sea observable.

TIMER: temporizadores

TTL: estándar eléctrico (transistor to transistor logic)

UCP: Unidad Central de Procesamiento.

ULTRASONIDO: vibración acústica cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano.

VALOR MEDIO, PROMEDIO: suma de todos los datos divididos por el número de datos.

TÍTULO:

“SISTEMA ROBÓTICO MODULAR”

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA ROBÓTICO MODULAR QUE PERMITA LA CONFIGURACIÓN DE DISTINTOS ROBOTS MÓVILES PROGRAMABLES. PROYECTO INTERDISCIPLINARIO DESARROLLADO ENTRE LA ESCUELA DE DISEÑO INDUSTRIAL Y LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA.*

AUTORES: CARVAJAL DIAZ, Omar Orlando**
ERASO PEREIRA, Fabio León**
MORALES ORTIZ, Hernando**
PINILLA PLATA, Alirio José***

PALABRAS CLAVE:

Robótica móvil, Modularidad, Sensores, Sistema de control, Actuadores

DESCRIPCIÓN:

El SRM es el primer sistema robótico modular desarrollado en la Universidad Industrial de Santander, que tiene como objetivo ser una herramienta para el aprendizaje y el desarrollo de la robótica móvil, buscando no solo promover el conocimiento en esta área sino también el desarrollo de habilidades sociales propias del trabajo en equipo, necesarias para el desarrollo integral de la persona.

A nivel estructural el SRM cuenta con una plataforma que permite un sencillo ensamblaje de sus partes utilizando solo una herramienta, además le ofrece al usuario dos tipos diferentes de locomoción, dándole así una amplia gamma de posibilidades para implementar un robot móvil orientado a una aplicación específica.

A nivel electrónico el SRM tiene un control centralizado, que le permite adquirir y generar diferentes tipos de señales, dándole al sistema la capacidad de manejar: sensores de contacto, sensores para detección de objetos, sensores para medición de distancia por medios infrarrojos y ultrasónicos, sensores de luz, sensores para seguimiento de línea, sensor de posición, sensor de temperatura, sensor de sonido, motores DC, servomotores, comunicación inalámbrica y cableada con protocolos SCI, SPI y CAN , pantalla de cristal liquido, leds y generador de sonido, permitiendo al usuario utilizar cada uno de estos dispositivos para desarrollar diferentes aplicaciones de acuerdo a su grado de conocimiento.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Electrónica.
Director del Proyecto: Ing. Jorge Hernando Ramón

*** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial.
Director del Proyecto: D.I. Juan Carlos Moreno

TITLE:

“MODULAR ROBOTIC SYSTEM”

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MODULAR ROBOTIC SYSTEM THAT ALLOWS THE CONFIGURATION OF SEVERAL MOBILE AND PROGRAMMABLE ROBOTS. INTERDISCIPLINARY PROJECT DEVELOPED BY THE SCHOOL OF INDUSTRIAL DESIGN AND THE SCHOOL OF ELECTRONIC ENGINEERING “

AUTHORS:

CARVAJAL DIAZ, Omar Orlando**
ERASO PEREIRA, Fabio León**
MORALES ORTIZ, Hernando**
PINILLA PLATA, Alirio José**

KEYWORDS:

Mobile robots, Modularity, Sensors, Control system, Actuator

DESCRIPTION:

The Modular Robotic System (MRS) is the first one that has been developed at the Universidad Industrial de Santander, which has as an objective to be a tool for learning and development of mobile robotics. It does not only look for promote knowledge in this subject; it is useful to develop social skills when students works in teams, which are essential to acquire personal integrity.

In the structural topic, the MRS has a platform that allows an easy assembly of its components, which only need a tool, besides MRS gives to the user two different kinds of locomotion that permit a plentiful range of possibilities to configure a mobile robot in a specific use.

In the electronic topic, the MRS has a centralized control that permit it to acquire and to generate different kinds of signals, which gives to the system the capability to manage: tactile sensors, sensors to detect objects, sensors to make measurements of distance using infrared and ultrasonic rays, light sensors, sensors to follow lines, position sensors, temperature sensors, sound sensors, DC motors, servo-motors, wireless a wired communication whit SCI, SPI and CAN protocols, Liquid Crystal Display (LCD), LED's and a sound emitter, all these components let to the user to configure different applications that depends on his knowledge level.

** Faculty of Physical - Mechanical Engineering. School of Electronic Engineering
Thesis Director: Eng. Jorge Hernando Ramón

*** Faculty of Physical - Mechanical Engineering. School of Industrial Design.
Thesis Director: I.D. Juan Carlos Moreno

INTRODUCCIÓN

El empleo de robots en los últimos años ha crecido vertiginosamente, hoy día se encuentran en casi todos los campos, desde el entretenimiento hasta complejos procesos donde se requiere de un alto grado de precisión; la capacidad que tienen éstos de desarrollar tareas que implican alto riesgo o incomodidad para los seres humanos es sólo una de las razones por las cuales se han convertido en herramientas indispensables.

Se hace necesario que las personas se familiaricen con el uso de los robots para así poder darles nuevas aplicaciones, este proyecto busca ser una herramienta para aquellos que se inician en el mundo de la robótica.

El SRM es el primer Sistema Robótico Modular desarrollado en la Universidad Industrial de Santander, cuenta con sensores con principios de operación y aplicaciones diferentes entre las que se encuentran: contacto, detección de objetos, medición de distancia por medios infrarrojos y ultrasónicos, detección de luz, seguimiento de línea, posición, detección de temperatura y sonidos; actuadores que le dan movimiento y permiten al móvil la manipulación de objetos, módulos de comunicación inalámbrica y cableada con protocolos SCI, SPI y CAN , medios de visualización, pantalla de cristal liquido, LED's y generador de sonido.

El ensamble del SRM fue diseñado para que se configurara de una forma clara y sencilla, utilizando elementos estándar para su ajuste y un código de colores que identifica cada uno de los módulos con su respectiva conexión electrónica.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este es un proyecto interdisciplinario desarrollado por la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones y la Escuela de Diseño Industrial.

Se diseñó y construyó un sistema de piezas modulares, que permitieran la implementación de diferentes robots móviles a partir de su ensamble. El usuario puede elegir entre ensamblar ya sea un móvil autónomo programado o un móvil controlado remotamente, así como la interacción que éste pueda tener con su entorno.

Este sistema va dirigido a educación media, educación superior y personas interesadas en el tema y podrá ser usado con fines didácticos, lúdicos o competitivos.

1.1. TÍTULO DEL PROYECTO

“SISTEMA ROBÓTICO MODULAR”

Diseño y construcción de un sistema robótico modular que permita la configuración de distintos robots móviles programables. Proyecto interdisciplinario desarrollado entre la escuela de diseño industrial y la escuela de ingeniería electrónica.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema robótico modular cuya estructura pueda configurarse para el armado de distintos robots móviles reprogramables capaces de interactuar con el medio, teniendo en cuenta la usabilidad del producto, servirá como material de apoyo para la enseñanza y practica de la robótica móvil.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1. Objetivos Interdisciplinarios.

- Crear una herramienta para la práctica de la robótica móvil que permita implementar aplicaciones dependiendo del grado de conocimiento que posea el usuario.
- Diseñar y construir los módulos del sistema robótico, integrando los resultados obtenidos en el desarrollo de la parte electrónica con los resultados del proceso de diseño industrial.
- Diseñar y diagramar un manual de usuario acerca del funcionamiento general, las capacidades y las diferentes posibilidades que ofrece el sistema robótico modular.

1.3.2. Objetivos en el campo de acción de Diseño Industrial.

- Diseñar un sistema de construcción modular versátil que permita integrar sus módulos de varias formas para armar robots móviles de distintas configuraciones. Los módulos que componen el sistema deben contener los elementos mecánicos o electrónicos, desarrollados en el área de Ingeniería Electrónica, que se requieran de acuerdo a su función, y se clasifican en:
 - o *Módulos Estructurales.* Son los encargados de dar la arquitectura básica al robot y sirven como base para el montaje de los otros módulos.
 - o *Módulos Sensores.* Le permiten al robot manejarse con cierta inteligencia al interactuar con el medio. Son componentes que detectan o perciben ciertos fenómenos o situaciones y los convierten

en señales eléctricas que un microprocesador pueda interpretar. Entre los diferentes sensores que se pueden encontrar están las fotoceldas, los fotodiodos, los micrófonos, los sensores de contacto, de presión, de temperatura, de ultrasonidos, y cámaras de video. Durante el desarrollo del proyecto se decidirá que tipo de sensores serán utilizados en el diseño del sistema.

- o *Módulos Actuadores.* Son los elementos motrices del robot. Uno de los más utilizados es el motor eléctrico, el cual convierte la energía eléctrica en energía mecánica rotacional que se utiliza para darle movimiento a ruedas y otros medios de acción. Pueden ser motores de corriente continua, servomotores o motores paso a paso.
- o *Módulos de Transmisión.* Cuando las fuentes de movimiento no manejan directamente los medios de locomoción del robot, se precisa una interfaz o medio de transmisión de movimiento entre estos dos sistemas, que se utiliza para aumentar la fuerza o para cambiar la naturaleza del movimiento, por ejemplo para convertir un movimiento circular en lineal, o para reducir la velocidad de giro. Se suelen emplear conjuntos de engranajes para tal fin, aunque también se usan ruedas de fricción o poleas y correas.
- o *Módulos Controladores.* Son el "cerebro" del robot, encargados de adquirir, procesar y enviar señales para controlar los diferentes dispositivos del móvil.
- o *Módulos de Alimentación.* Es el encargado de suministrar la energía necesaria para el funcionamiento del robot y depende de la aplicación que se le dé al mismo, así si el robot tiene que desplazarse autónomamente, se alimentará seguramente con baterías eléctricas recargables, mientras que si no requiere desplazarse o sólo lo debe hacer mínimamente, se puede alimentar mediante corriente alterna a través de un convertidor.

- o *Módulos de comunicación.* Contiene el componente electrónico que permite la comunicación entre un PC y el robot.

1.3.3. Objetivos en el campo de acción de Ingeniería Electrónica.

- Diseñar y construir un sistema electrónico versátil, el cual integre medios de control y medios sensoriales que le permita al robot la interacción con su entorno.
- Diseñar y construir un sistema de control reprogramable de propósito general, capaz de adquirir, generar y procesar señales.
- Diseñar y construir un sistema de sensores, capaces de adquirir y acondicionar señales analógicas que sirvan de entrada a la tarjeta de desarrollo. Estas tarjetas se implementaran con sensores lumínicos, sonoros, de temperatura y de contacto.
- Diseñar y construir un sistema encargado de recibir y ejecutar las instrucciones dadas por la tarjeta de desarrollo, para manejar los respectivos actuadores (motores).
- Diseñar y construir un sistema para la comunicación entre una computadora y el móvil.
- Diseñar e implementar sistemas que permitan la visualización de variables y sucesos que ocurran dentro y fuera del sistema robótico.
- Implementar una fuente que provea la tensión y corrientes necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema electrónico del robot móvil.

- Desarrollo de Software (programas básicos) que permitan al sistema de control el reconocimiento y control de los diferentes módulos.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Las tendencias actuales de globalización han venido exigiendo a las empresas que quieren seguir vigentes en el mercado, el mejoramiento de los procesos de producción, este cambio lo han logrado, en la mayoría de los casos, con la automatización de sus fábricas, por esta razón se ha producido un aumento en la demanda de soluciones en el área de control y automática.

Una de las posibles formas de iniciar la automatización en una empresa, consiste en la implementación de un robot en alguna etapa del proceso. Desde un punto de vista global, la introducción de robots a un proceso de fabricación, sin duda, mejora la eficiencia y la productividad pero puede crear conflictos entre los intereses opuestos de la administración y de los empleados, ya que estos últimos podrían ser desplazados por la nueva tecnología, como sucedió hace algunos años en la industria automotriz, con la introducción de los manipuladores. Hoy en día este fenómeno podría volver a ocurrir con el desarrollo de los móviles autónomos, los cuales están ocupando campos que la robótica industrial (Manipuladores) nunca podría cubrir y que el hombre actualmente ocupa, como son la agricultura, minería, etc.

Este y otro tipo de factores alimentados por las narraciones e interpretaciones cinematográficas, crean en la sociedad un concepto erróneo de la robótica, tomando al robot como un adversario y no como una herramienta que tiene como objetivo facilitar y dignificar las labores del hombre. Ya que nuestra naturaleza de seres humanos presenta una serie de

limitaciones en trabajos como los repetitivos, de precisión y aquellos que se desarrollen bajo condiciones adversas, además resulta evidente que son los trabajadores no especializados y semi-especializados los más afectados por la pérdida de trabajos y la demanda de este tipo de trabajadores decrece en forma constante en comparación con otras ocupaciones.

Dentro de la robótica se pueden distinguir dos grandes líneas de trabajo: Robótica Industrial y Robótica de Investigación. La primera línea está formada por aquellos robots utilizados en fábricas y cadenas de montaje, cuyas innovaciones resultan de la adaptación de las tecnologías desarrolladas en la robótica de investigación; en esta última están aquellos robots que:

- Son sistemas móviles.
- La inteligencia que poseen se encuentra en su interior gracias a la programación previamente hecha y normalmente no reciben ayuda exterior.
- Todo el contacto con el mundo que les rodea y su interacción con el mismo se efectúa a través de sus sensores y actuadores.
- Pueden implementar capacidades de aprendizaje y de tipo evolutivo, lo que les puede llevar a reconocer y aprender ante las situaciones que se les presenten en su interacción con el entorno que les rodea.

Siendo la Robótica Móvil un tema de tanta proyección hacia el futuro, se está tratando de promover entre la comunidad universitaria a nivel mundial, eventos competitivos como Robotwars (Guerra de Robots), Micromouse (Robots que resuelven laberintos) entre otros, que ayuden a desarrollar de una manera didáctica y amena, tecnologías nuevas que permitan a corto plazo resolver problemas como la conducción autónoma de vehículos de

servicio público y privado, disminuyendo en un número considerable la pérdida de vidas humanas a causa de los accidentes automovilísticos, o en áreas tan diversas como la limpieza, agricultura, minería, desactivación de explosivos, asistencia a minusválidos y automatización en general.

A nivel regional es bastante limitado el desarrollo de la robótica, pero en los últimos tres años se ha tratado de fomentar e incentivar el conocimiento en esta área, reflejándose claramente en un aumento significativo de los grupos de robótica que existen en las universidades e institutos técnicos, entre los cuales están la Universidad Industrial de Santander (Grupo ERA -Electrónica Recreativa Avanzada, y Grupo CEMOS-Control Electrónica Modelado y Simulación), la Universidad Pontificia Bolivariana (Grupo Sysbot), las Unidades Tecnológicas de Santander (Grupo REX) y la Corporación Universitaria de Investigación y Desarrollo - UDI entre otros.

En el caso específico de la Universidad Industrial de Santander (UIS), es el Grupo ERA el único que ha representado a la universidad en concursos a nivel nacional y regional de móviles autónomos o móviles con inteligencia a bordo, y es destacable el trabajo que realiza este grupo si se tiene en cuenta que lleva tan solo dos años trabajando en el área y ya goza de reconocimiento a nivel nacional gracias a sus participaciones y triunfos.

El grupo ERA fue creado por los estudiantes de Ingeniería Electrónica: Fabio Eraso, Nathalie Hernández y Hernando Morales, y, desde que se tuvo la idea, fue apoyado por el profesor Jorge Hernando Ramón; su objetivo siempre fue claro: conformar un grupo que incentivara el interés por la Electrónica Recreativa en general, y estar en la capacidad de representar a la UIS en eventos a nivel nacional.

En la actualidad el grupo ERA cuenta con dieciocho integrantes y presta asesoría a estudiantes de la escuela de Ingeniería Electrónica, Ingeniería Mecánica y de Diseño Industrial.

No solo a nivel de Educación Superior se están viendo intentos por desarrollar tecnología; el Ministerio de Educación Nacional^{1,2} viene adelantando programas con los que pretende incorporar Tecnologías Computacionales en colegios de todos los departamentos del país, las cuales ofrecen grandes posibilidades como instrumentos mediadores en el aprendizaje de los alumnos, en la elaboración de conocimientos y en la comprensión de lo que hacen, son una oportunidad para acceder a la información y al conocimiento universal y para transformar las escuelas desde las particularidades de las diferentes regiones que integran el país.

Es necesario aclarar que no se puede hablar de una “tecnología educativa” exclusivamente, sino de un proceso interactivo entre la educación y el desarrollo tecnológico en donde se enriquecen mutuamente ambas áreas borrando las fronteras de las disciplinas, generando nuevas áreas interdisciplinarias. En este proceso se busca desarrollar las capacidades y potencialidades humanas que permiten el aprendizaje comprensivo de la tecnología, las técnicas y estrategias didácticas factibles de utilizar y los medios que se pueden utilizar en los nuevos ámbitos de la educación para el desarrollo de competencias laborales necesarias en la actual sociedad.

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. Congreso Internacional: Tecnologías Computacionales en el Currículo de Matemáticas [en línea], © 2003 [citado en 4 de octubre de 2004]. Disponible en Internet: <<http://www.mineduacion.gov.co/documentos/alldocs.asp?it=125&s=1&id=32>>

² Tecnología al servicio de la educación. Periódico Al tablero [en línea], mayo 2001, no. 4 [citado en 4 de octubre de 2004]. Disponible en Internet: <<http://www.mineduacion.gov.co/prensa/altablero/altablero.asp?id=37&numero=4>>

Pero al igual que son necesarias las políticas de renovación en el proceso educativo, también se necesitan instrumentos que puedan hacer práctico el aprendizaje de las nuevas tecnologías. Y en el caso particular de la formación en el área de robótica, es escaso este tipo de medios, las pocas opciones destacables que ofrecen una solución con amplia versatilidad para la práctica de robótica móvil es la marca danesa LEGO® y la alemana Fischertechnik®, que tienen su respectivo portafolio de productos bastante amplio pero con un costo muy elevado, y además no tienen representantes de su empresa en nuestro país, lo cual impide que la mayoría de la población colombiana tenga acceso a este tipo de recursos.

Lo que se plantea en este proyecto es dar una solución a la anterior situación, desarrollando un sistema robótico modular que pueda configurarse para el armado de distintos robots móviles programables, dándole así gran versatilidad, y ofreciendo la posibilidad de ser utilizado en la formación de conocimientos en el área de robótica, siendo un producto útil para el desarrollo de este tipo de competencias que cada vez más está aumentando su demanda.

Al desarrollarse un sistema como éste, e implementarse en un proceso educativo, se haría un gran aporte para el aprendizaje de este tipo de conocimiento de una forma más didáctica, debido a que la robótica es una actividad que, en la mayoría de los casos, entusiasma a quienes intervienen en ella, ya que genera satisfacción participar en el diseño, armado y ajuste de un dispositivo que muchas veces tiene “vida propia” y que realiza tareas que le son propias a su creador.

De igual forma, se podrían llevar a cabo eventos competitivos entre los usuarios o estudiantes que utilicen el sistema robótico modular con el fin de llevar a la práctica, en una competencia sana y entretenida, todo el

conocimiento adquirido y aplicado durante el desarrollo de un proyecto en particular, y así puedan generar mayor conocimiento acerca del tema al observar los resultados y compartir las experiencias que tuvieron los otros compañeros durante el desarrollo de su propuesta.

2. COMPRENSIÓN DEL PROBLEMA

En este capítulo se hace una descripción del proceso utilizado para el desarrollo del proyecto y a la investigación llevada a cabo previamente para llegar a una definición más precisa del problema.

2.1. METODOLOGÍA PROYECTUAL

Las actividades por medio de las cuales se lograron alcanzar los objetivos del proyecto se organizaron en fases, y éstas a su vez fueron divididas en etapas. La mayoría de las etapas llevaron una secuencia lineal para su ejecución y se clasificaron de acuerdo al área de desarrollo, ya sea en Diseño Industrial o Ingeniería Electrónica como se presentan en la Figura 1.

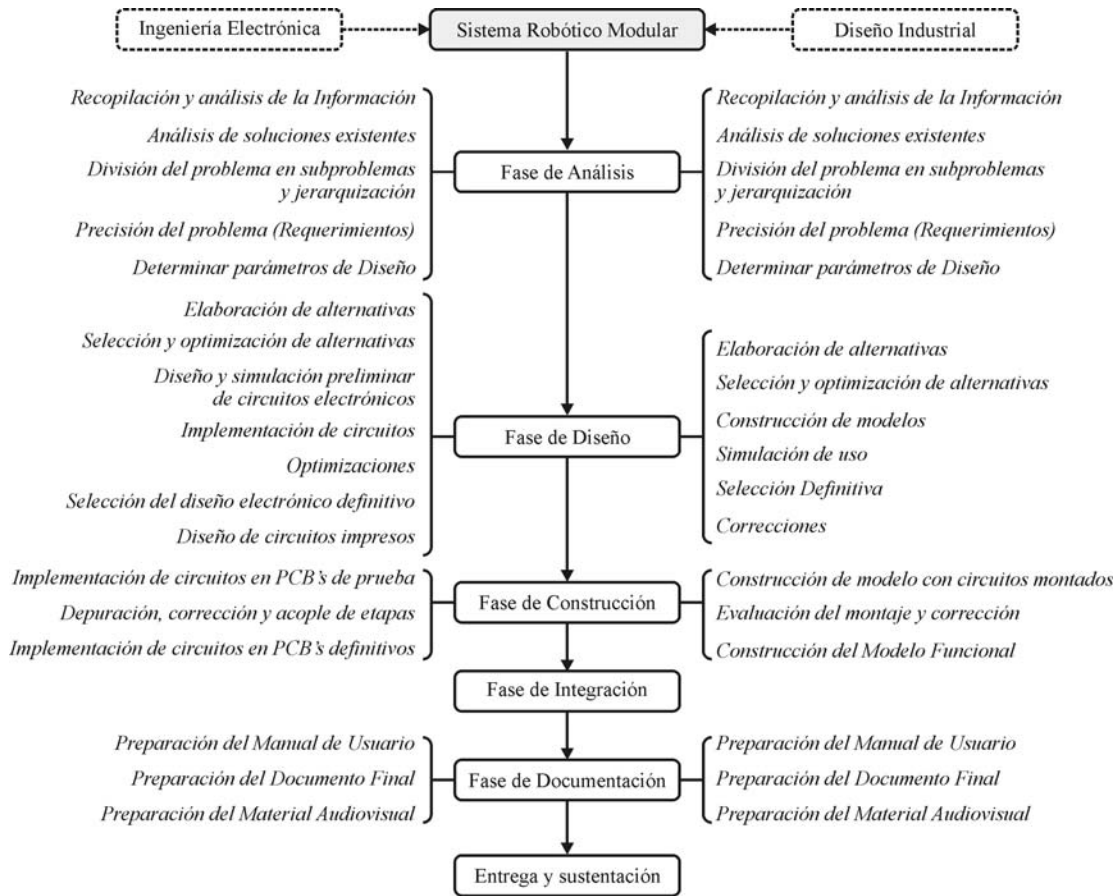
2.1.1. Metodología para el desarrollo del proyecto en el área de Diseño Industrial.

Fase de Análisis. En esta fase se alcanza un grado de conocimiento sobre el problema, y su estado del arte, que permite hacer una descripción más precisa del mismo y especificar los requerimientos necesarios para resolver correctamente la problemática de diseño planteada.

La fase de análisis incluye las etapas de: *Recopilación y análisis de la información*, de acuerdo a las necesidades y objetivos de la investigación; *Análisis de soluciones existentes*, para evaluar las características de productos similares existentes en el mercado; *División del problema en subproblemas y jerarquización*, para visualizar y dar soluciones al problema a partir de problemas más pequeños que al integrarse den una solución total al mismo; *Precisión del problema (Requerimientos)*, donde se fijan variables

para limitar las alternativas que se proponen en la fase creativa; y *Determinación de parámetros de Diseño*, los conceptos básicos de diseño que se tienen en cuenta para proponer las alternativas de solución.

Figura 1. Fases de la Investigación.



Fase de Diseño. Esta es la fase creativa del proyecto, en la cual se materializan los requerimientos y parámetros establecidos en la fase de análisis, mediante la propuesta, evaluación y selección de alternativas que solucionen el problema de diseño; también se incluye aquí la construcción de modelos comprobatorios para hacer simulaciones de uso antes de realizar la construcción del modelo final.

Esta fase se divide en las etapas de: *Elaboración de alternativas, Selección y optimización de alternativas, Construcción de modelos, Simulación de uso, Selección definitiva de la solución, y Correcciones.*

Fase de Construcción. En esta fase se materializa la solución final de diseño con todas las correcciones y cambios que se decidieron después de llevar a cabo la simulación de uso, y esta compuesta por las etapas de: *Construcción del modelo con circuitos montados, Evaluación del montaje y corrección, Construcción del modelo funcional.*

Fase de Integración. En esta fase se integran en forma definitiva los componentes desarrollados en el área de Ingeniería Electrónica junto con los de Diseño Industrial para conformar así el Sistema Robótico Modular completo.

Fase de Documentación. Esta fase va desde el inicio del proyecto y en ella se prepara todo el material necesario para la sustentación y entrega de los resultados del proyecto, e incluye: *Preparación del Manual de Usuario, Preparación del documento final, y Preparación del material audiovisual.*

2.1.2. Metodología para el desarrollo del proyecto en el área de Ingeniería Electrónica.

Fase de Análisis. En esta fase se llega a conocer el problema, y su estado del arte, haciéndose una descripción precisa del mismo y especificando los requerimientos necesarios para resolver correctamente la problemática de diseño planteada.

Esta fase se constituye de una etapa de *recopilación y análisis de la información* donde se obtienen datos provenientes de diversas fuentes los cuales son analizados y seleccionados dependiendo de su relevancia para el desarrollo del proyecto; una etapa de *análisis de soluciones existentes* donde se determinan y analizan las características de productos que se encuentran en el mercado que dan solución a problemas similares; una etapa de *división del problema en subproblemas y jerarquización* donde el problema es segmentado en problemas mas pequeños y la integración de sus soluciones son priorizadas de acuerdo a la importancia y complejidad que estos tengan en el desarrollo global del proyecto; y una etapa de *definición del problema (Requerimientos)* donde se limitan las alternativas y las capacidades que se proponen en la fase creativa.

Fase de Diseño. Esta es la fase creativa del proyecto, en la cual se materializan los requerimientos establecidos en la fase de análisis, mediante la propuesta, evaluación y selección de alternativas que solucionen el problema. Esto comprende el diseño, simulación, implementación y depuración de los circuitos electrónicos propuestos para finalmente obtener el diseño de los circuitos impresos.

Elaboración de alternativas: teniendo en cuenta las especificaciones del problema y a los requerimientos fijados en la fase de análisis, se proponen los diferentes elementos y dispositivos.

Selección y optimización de alternativas: de todas las alternativas presentadas en la fase anterior se escogen las dos que cumplan más acertadamente los requerimientos y se procede a realizar un análisis más cuidadoso para seleccionar la que se implementará finalmente.

Diseño y simulación preliminar de circuitos eléctricos: una vez elegida la posible solución se diseñan y simulan los respectivos circuitos para corroborar el funcionamiento en conjunto de los dispositivos elegidos.

Implementación de Circuitos: con el diseño desarrollado anteriormente, se construyen físicamente los circuitos electrónicos para sus respectivas pruebas, ajustes y correcciones. Esta etapa se realiza hasta que todos los montajes presenten un resultado satisfactorio.

Optimizaciones: en esta etapa se busca la optimización del desempeño físico y electrónico de cada uno de los circuitos implementados. De esta forma es posible reducir el tamaño de los diseños y mejorar las características eléctricas.

Selección del diseño electrónico definitivo: son los diseños finales que se obtuvieron en la etapa de optimizaciones, y no están sujetos a modificaciones o mejoras, ya que estos circuitos son la base para el diseño de los PCB's*.

Diseño de circuitos impresos: Se utilizarán herramientas computacionales que permitan el diseño en impresos de cada uno de los circuitos definitivos.

Fase de Construcción. Esta fase comprende la construcción y las respectivas correcciones de los diferentes diseños de circuitos impresos, además de la programación necesaria para el funcionamiento básico del móvil.

Implementación de circuitos en PCB's de prueba: en esta etapa se montan todos los componentes electrónicos a cada una de las tarjetas de prueba.

* Tarjeta de Circuito Impreso, por su sigla en inglés PCB [Printed Circuit Board]

Depuración, correcciones y acople de etapas: las tarjetas implementadas se someten a pruebas que determinen el buen funcionamiento de forma individual y simultanea, lo cual permite realizar las respectivas correcciones si existe alguna falla.

Implementación de circuitos en PCB's definitivos: finalmente se obtiene el diseño y el montaje de cada una de las tarjetas que forman parte de los módulos especializados en robótica.

Fase de Integración. En esta fase se integran en forma definitiva los componentes desarrollados en el área de Ingeniería Electrónica junto con los de Diseño Industrial para conformar así el sistema robótico modular completo.

Fase de Documentación. Esta fase va desde el inicio del proyecto y en ella se prepara todo el material necesario para el manual, la sustentación y entrega de los resultados del proyecto. Esta fase comprende *preparación del Manual de usuario, preparación del documento final y la preparación del material audiovisual.*

2.2. MARCO TEÓRICO

Qué es robótica móvil, tipos de robots, aplicaciones.

El ser humano siempre se ha interesado por conocer su propio ser y crear agentes capaces de realizar tareas peligrosas o aburridas para los hombres.

De esta forma dio origen a la existencia en un principio de robots capaces de realizar diversas tareas en un sitio determinado, para luego brindarles la posibilidad de moverse en un entorno, es allí donde nace la robótica móvil, destinada al estudio de los robots móviles.

Los robots móviles se pueden clasificar de acuerdo a la manera en que se desplazan, que puede ser por ruedas, orugas u otros. Estos robots pueden ser controlados de diversas formas:

- Remotamente: por medio de alambres, cables o radio.
- Automáticamente (Autónomo): por medio de un programa incluido en él.

Un *Robot Autónomo (RA)* se puede definir como un sistema completo que opera eficientemente en entornos complejos sin necesidad de estar constantemente guiados y controlados por operadores humanos. Una propiedad fundamental de los RA es la de poder reconfigurarse dinámicamente para resolver distintas tareas según se lo imponga las características del entorno en un momento dado; Por esta razón es que requieren de un sistema de navegación que les permita en todo momento conocer su posición dentro del ambiente con la finalidad de poder definir un plan de trayectorias a seguir para poder llegar a su objetivo evitando obstáculos que se les puedan presentar en el camino, para esto, el robot

debe poseer un sistema sensorial que le permita percibir y representar el mundo que lo rodea.

La navegación de un robot móvil se puede definir como el arte o la ciencia que permite guiar a un robot a su objetivo, teniendo en cuenta el medio en que lo rodea.

La construcción de robots móviles independientes del entorno, requiere de una gran coordinación y comunicación entre los sistemas de percepción (sensores) encargados de la correcta interpretación del entorno y los de reacción (actuadores), que son los encargados del control de movimientos del robot.

Uno de los principales problemas en robótica móvil, es la determinación de la posición y orientación del robot dentro del ambiente en el que se encuentra, esto típicamente se ha resuelto por medio de procesos odométricos¹, que consisten en obtener la posición del robot por medio de decodificadores incrementales ligados a las ruedas del robot, sin embargo este tipo de sistema puede fallar cuando las características de las ruedas cambian, como puede ser el desgaste o deslizamiento de las ruedas por pasar sobre un obstáculo, en estos casos es necesario corregir la posición del robot con la ayuda de sensores externos como pueden ser cámaras de video, sensores infrarrojos, láser, brújulas, etc.

El campo de aplicación de la Robótica Móvil es muy amplio, va desde la conducción autónoma de vehículos, hasta la desactivación de explosivos, pasando por áreas tan diversas como la limpieza, plantas nucleares, agricultura, minas, asistencia a minusválidos y automatización en general.

¹ Odométrico: (gr. odòs, camino) (gr. Metron, medida). Para medir caminos.

2.3. ANÁLISIS DE SOLUCIONES EXISTENTES

Se buscó información para determinar qué tipo de productos existen en el mercado que solucionen problemas similares al planteado en este proyecto y se analizaron teniendo en cuenta sus características estructurales, funcionales, de uso, morfológicas, históricas y de mercado para detectar sus ventajas y desventajas y tenerlas como referencia que contribuyera a la definición precisa del problema.

Los productos analizados para diseño industrial fueron: (ver tabla 1):

1. **Lego - Mindstorms** - Robotic Invention System 2.0
2. **Capsela** - Discover the fun of science in motion!
3. **Logiblocs** - Electronic Discovery System
4. **K-Team**. Your partner for mobile robotics
5. **Fischertechnik**

Los productos analizados para ingeniería electrónica fueron: (ver tabla 2):

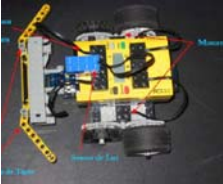
1. **Robot Apofix** - Proyecto grado España
2. **Boe Bot** – Parallax
3. **Mindstorms** - Lego
4. **Navot: Robot autónomo educativo**. Proyecto Universidad
Politécnica de Cataluña
5. **Handy Board** – MIT USA

En las tablas 1 y 2 se muestran algunas de las características de los productos estudiados, y el análisis completo de estas soluciones existentes está documentado en el Anexo A.

Tabla 1. Características generales de sistemas modulares existentes en el mercado.

Producto	Empresa	País	Costo	Usuario	Tradición
Lego MindStorms 	The Lego Group	D/marca, Suiza, Corea S., R. Checa	210 a 390 €	+12 años	Desde 1998
Capsela 	Educational Insights	USA	16 a 90 USD	+7 años	No aparece información
Logiblocs 	Logiblocs Limited	Inglaterra	99,95 USD	7 a 12 años	Desde 1996
K-Team 	K-Team Corporation	Suiza	300 a 6187 USD	+12 años	No aparece información
Fischertechnik 	Fischer Group	Alemania	398 a 477 USD	+12 años	Desde 1984

Tabla 2. Características electrónicas generales de los productos comerciales y proyectos universitarios existentes

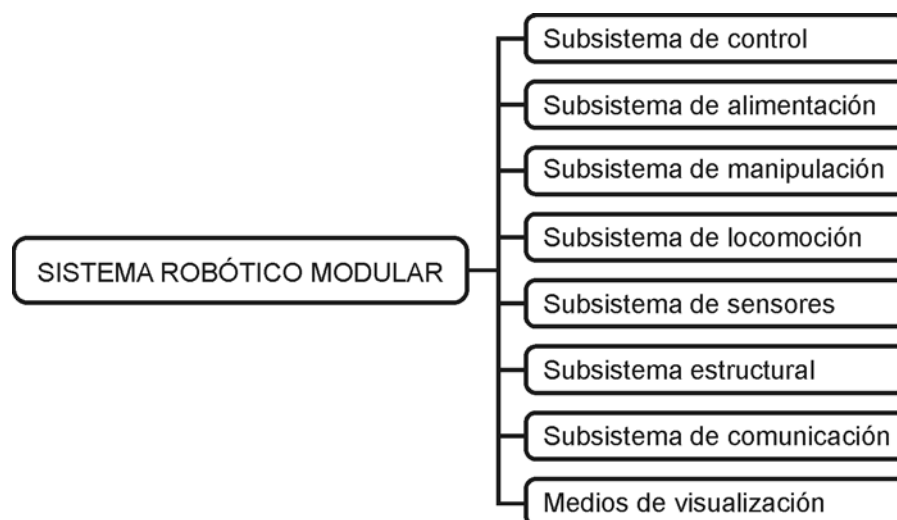
Producto	Actuadores	Sensores	Control	País
Apofix 	Dos Servomotores	Ultrasonido Infrarrojo Contacto	FPGA Microcontrolador Pic 16f877	España (Proyecto de grado)
Boe Bot 	Dos Servomotores	Contacto Infrarrojos	Microcontrolador Basic Stamp	Brasil Empresa Parallax
RCX: Mindstoms 	Dos motores con caja reductora	Contacto Infrarrojos	Microcontrolador Motorola HC11	D/marca Empresa Lego
Navot: 	Dos motores DC con caja reductora	Contacto Infrarrojos	Dos microcontrolador es con funciones separadas	España Universidad Politécnica de Cataluña
Handy Board 	Cuatro motores DC Un Zumbador	Contacto Infrarrojo	microcontrolador Motorola HC11	USA Proyecto MIT

2.4. DIVISIÓN DEL PROBLEMA EN SUBPROBLEMAS Y JERARQUIZACIÓN

Debido a que los sistemas robóticos tienen gran complejidad funcional y estructural, se vio la necesidad de subdividir el problema en varios más pequeños y manejables que se pudieran trabajar independientemente hasta cierto punto para después integrarse y dar una solución global al problema.

De acuerdo con todo lo investigado en esta fase del proyecto, al análisis de las soluciones existentes y a la experiencia que se tiene en el desarrollo de robots móviles se determinaron los subsistemas mostrados en la Figura 2 como componentes necesarios para el desarrollo del Sistema Robótico Modular, y la solución de estos subproblemas se priorizó en ese orden mostrado de acuerdo a la importancia y complejidad que estos tuvieran en el desarrollo global del proyecto.

Figura 2. Subdivisión del problema de investigación.



Cuando se habla de los *subsistemas* que conforman el sistema robótico, se encuentran funciones o aplicaciones con los cuales se puede hacer la siguiente clasificación:

- *Subsistema de Control.* Es el encargado de recibir y procesar la información proveniente de los sensores, enviar las señales de control a los actuadores y, de ser requerido también, enviarla a un medio de visualización. Además el sistema de control debe tener la posibilidad de reprogramarse, y guardar la información en una memoria ya sea integrada o externa. Este sistema no contendrá ninguno de los periféricos del robot, de modo que esta tarjeta también sirva como un sistema de desarrollo para la UCP que posea el robot con líneas de E/S al exterior y con un soporte para la programación y depuración de programas.
- *Subsistema de Alimentación.* Es el encargado de suminístrale condiciones de voltaje constante a los dispositivos electrónicos que tenga el robot.
- *Subsistema de Manipulación.* Es el encargado de darle al robot la capacidad de recoger y transportar elementos ubicados en el piso, el diseño de este subsistema está enfocado a la manipulación de bolas de tenis y latas vacías de bebidas. Este subsistema esta compuesto por el sistema mecánico y electrónico necesario para su funcionamiento.
- *Subsistema de Locomoción.* Está formado por todos los componentes necesarios para efectuar los movimientos del robot (tarjeta de control de actuadores, actuadores, módulos de transmisión de movimiento y medios de locomoción). Entre los actuadores se pueden encontrar motores DC, de paso y servomotores. Los módulos de transmisión de movimiento se utilizan para aumentar la fuerza, para cambiar la naturaleza del movimiento, o para reducir la velocidad de giro; se suelen emplear conjuntos de engranajes para tal fin, aunque también se usan ruedas de fricción o poleas y correas. Los medios de locomoción mas utilizados son las ruedas y orugas.

- **Subsistema de Sensores.** Son los módulos que captan las variaciones físicas del entorno convirtiéndolas en señales eléctricas con los niveles adecuados de tensión y corriente para ser interpretadas por el subsistema de control, podrán ser de los siguientes tipos:
 - o Lumínicos.
 - o Sonoros.
 - o De temperatura.
 - o De contacto.
- *Subsistema Estructural.* Es el encargado de dar la arquitectura básica al robot y sirve como base para el montaje de los demás subsistemas.
- *Subsistema de Comunicación.* Contiene los dispositivos electrónicos que permiten la comunicación entre un computador y el robot, utilizando líneas físicas o inalámbricas.
- *Medios de Visualización.* Son los dispositivos encargados de informar el estado de algunos de los procesos del móvil o de la tarjeta principal, entre los cuales se encuentran, dispositivos como los LED's y las LCD.

El orden de los subproblemas mostrado anteriormente en la Figura 2 fue el orden establecido para priorizar la solución de cada uno de ellos. Para determinar esta jerarquización se hizo una evaluación ponderada de acuerdo a seis criterios (A, B, C, D, E y F) que afectan el desarrollo del proyecto tanto desde el punto de vista de Diseño Industrial como de Ingeniería Electrónica, y se valoraron con base a las preguntas que se enuncian a continuación, las cuales fueron respondidas teniendo como respaldo la experiencia que se tiene en el área de estudio y toda la investigación desarrollada hasta el momento. La valoración detallada de la forma en que se jerarquizaron los subproblemas del proyecto está documentada en el Anexo B.

Criterio A: Efecto. (Peso: 5/100)

La solución del subproblema X podría convertirse en un aspecto diferenciador con respecto a las soluciones existentes en el mercado?

A pesar de ser obvio que se quiere una diferenciación con la solución definitiva del sistema robótico modular, existen diferentes probabilidades de alcanzar esto de acuerdo al subproblema que se esté solucionando.

Criterio B: Dependientes. (Peso: 25/100)

La solución de cuántos subproblemas depende directamente de la solución del subproblema X?

El valor obtenido en este criterio tendrá un peso de 25/100 ya que se ve afectado directamente el tiempo requerido para el desarrollo del proyecto si se comenzará a pensar en soluciones de algún subproblema que depende de otros.

Criterio C: Complejidad. (Peso: 20/100)

Qué tipo de componentes puede requerir la solución del subproblema X?

Se le ha dado un peso importante a este criterio ya que de acuerdo al tipo de componentes necesarios, se requiere de la participación de distintos profesionales para el desarrollo de la solución, lo cual repercute en el tiempo para su ejecución.

Criterio D: Tipo de solución. (Peso: 15/100)

Qué tipo de solución es la más probable para el subproblema X?

Independientemente de si se utilizan elementos estándar o se diseñan, ambos tipos de solución requieren de todo el compromiso y creatividad para

alcanzar el objetivo planteado. En lo único que afectan es que una requiere un poco más de dedicación de tiempo que la otra.

Criterio E: Disponibilidad. (Peso: 20/100)

Qué disponibilidad poseen los elementos que se utilizaran para la solución de cada subproblema X?

En este criterio se determina cuales elementos de los subsistemas son asequibles a nivel regional, nacional o internacional. Esto es importante a la hora de implementar los circuitos, ya que una demora en la consecución de un dispositivo retardaría el trabajo final. Y a menor disponibilidad mayor costo en consecución y mayor será el costo del proyecto.

Criterio F: Diseño e Implementación. (Peso: 15/100)

Qué dificultades se pueden presentar a la hora de diseñar e implementar cada subproblema X?

Este criterio determina la complejidad de los diferentes subsistemas, dependiendo del nivel de polarización, enrutado y técnica de soldadura.

2.5. PRECISIÓN DEL PROBLEMA

Para limitar las alternativas propuestas en la fase creativa y concretar el alcance del proyecto, se fijaron ciertas variables teniendo en cuenta todo el análisis y la observación realizados hasta esta etapa del proyecto, estableciendo así un listado de requerimientos y parámetros de diseño.

2.5.1. Requerimientos generales.

Estos requerimientos están enfocados al desarrollo general del sistema robótico modular y se deben satisfacer para todos los componentes del sistema.

- **Requerimientos de Uso**

Se debe garantizar la **practicidad del sistema**, para lograr que el armado de las distintas aplicaciones se lleve a cabo de la manera más simple que sea posible.

Debe considerarse que la **manipulación** de los módulos del sistema será efectuada por jóvenes y adultos, hombres y mujeres a partir del grado décimo de bachillerato, e incluyendo estudiantes universitarios de cualquier nivel.

Se tienen en cuenta los estudiantes de bachillerato de los grados décimo y undécimo debido a que están en capacidad de controlar un sistema de esta complejidad y de acuerdo al nivel de conocimientos que tienen, podrían obtener un buen provecho al utilizar el sistema robótico modular. Según el Ministerio de Educación Nacional¹, los estudiantes de décimo y undécimo grado deben tener, entre otras, la capacidad de:

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. Formar en Ciencias ¡El desafío! Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. Bogotá: Espantapájaros Taller. 2004. p. 22-23. (Serie Guías ; No. 7)

- Identificar variables que influyen en los resultados de un experimento.
- Proponer modelos para predecir los resultados de sus experimentos y simulaciones.
- Realizar mediciones con instrumentos y equipos adecuados.
- Sacar conclusiones de los experimentos que realiza, aunque no obtenga los resultados esperados.
- Persistir en la búsqueda de respuestas a sus preguntas.
- Establecer relaciones entre las diferentes fuerzas que actúan sobre los cuerpos en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme y establecer condiciones para conservar la energía mecánica.
- Modelar matemáticamente el movimiento de objetos cotidianos a partir de las fuerzas que actúan sobre ellos.
- Establecer relaciones entre estabilidad y centro de masa de un objeto.
- Analizar el desarrollo de los componentes de los circuitos eléctricos y su impacto en la vida diaria.
- Identificar tecnologías desarrolladas en Colombia.

Debe contemplarse un **lenguaje de uso claro**, que permita la percepción adecuada del sistema completo y la relación entre sus componentes.

- **Requerimientos Funcionales**

El Sistema Robótico Modular debe ser **versátil**, permitiendo así el armado de distintas configuraciones del móvil, para llevar a cabo las siguientes aplicaciones:

1. *Seguidor de línea:* El móvil tiene la facilidad de desplazarse por líneas que describan diferentes rutas, tales como circuitos o laberintos. El color de estas líneas guía deben estar en contraste con el piso del lugar donde se realiza la experiencia. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción y de seguimiento de línea.
2. *Rutas controladas y autónomas:* Realizar movimientos controlados de la velocidad, la dirección y el espacio que recorre, con esto se consigue realizar tareas específicas determinadas anteriormente por el usuario. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción y sensor de encoder.
3. *Exploración y detección de objetos:* Desplazarse por lugares desconocidos y controlados al reconocer obstáculos de diferentes tamaños que se encuentren a diferentes distancias. Esto permitiría que la navegación en ambientes se desarrolle a diferentes niveles de inteligencia, dependiendo de los dispositivos que se implementen en el móvil. Un ejemplo sencillo sería indicarle al móvil que esquive los objetos que detecte gracias a sus sensores de distancia o indicarle que retroceda al encontrar un objeto que sus sensores de choque detectaron. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción, y/o de sensor de distancia por infrarrojo, y/o sensor de distancia por ultrasonido, y/o detector de objetos por infrarrojo y/o detector de objetos por contacto.
4. *Reconocimiento de Iluminación:* Reconocer objetos luminosos y determinar el lugar de donde proviene. Esta capacidad puede ser aprovechada para que el móvil se acerque o se aleje de determinadas fuentes de luz. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción y rastreador de luz.

5. *Llamados Auditivos:* Reconocer variaciones significativas en el sonido y reaccionar de la forma como el usuario determine. De esta forma es posible realizar una aplicación con un grado mayor de interacción por parte del usuario al utilizar un estímulo tan común como una palmada o un grito. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción y detector de sonido.
6. *Reconocimiento de Temperatura:* Reconocer las variaciones de temperatura que pueden generarse en un ambiente controlado y realizar la acción programada previamente por el usuario. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción y de temperatura.
7. *Navegación Básica por Radio Control:* Realizar movimientos controlados desde un computador utilizando las diferentes configuraciones de locomoción. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción y de comunicación inalámbrica.
8. *Recolección de objetos:* El móvil tiene la capacidad de recoger y almacenar objetos de determinado tamaño y de esta forma cambiar el entorno en el que se encuentra. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción y de recolección de objetos.
9. *Manejo de Módulos de Visualización o Alerta:* El móvil puede informar de forma auditiva o visual, el estado de variables internas y externas o de acciones que se estén ejecutando. Para realizar esta práctica se hace necesario tener los módulos de control, de locomoción y de alerta.

Las aplicaciones que se eligieron para que el robot pueda desarrollar tienen los siguientes fundamentos:

1. **Potencialidad:** La potencialidad que presenta este robot es muy alta debido a las características mecánicas, electrónicas, y físicas que tiene, ya que no limita al robot a una sola aplicación o a un solo tipo de tareas sino que presenta una gran variedad cuando se ensamblan diferentes aplicaciones al mismo tiempo.
2. **Aplicaciones futuras:** ya que la robótica móvil es un campo relativamente nuevo (aproximadamente 15 años) que ha visto un avance significativo hace solo unos 7 años atrás, las aplicaciones que se trabajan mundialmente van orientadas a futuros campos dirigidos no solo al sector industrial sino se quiere que hagan parte de nuestra vida diaria; por lo tanto las aplicaciones escogidas están basadas en concursos que se realizan a nivel nacional e internacional que buscan incentivar el desarrollo de la robótica móvil.

Al armar cualquier configuración del móvil, el usuario debe sentir **confianza** de que el armado lo ha hecho correctamente y por consecuencia esperar un buen desempeño de éste. Los módulos del sistema deben estar bien instalados tanto física como electrónicamente.

- **Requerimientos Estructurales**

La **forma de ensamble** entre los módulos del sistema, debe garantizar que el conjunto armado se comporte como un solo elemento.

Debe considerarse que el **centro de gravedad** del móvil se localice en la parte más baja posible.

- **Requerimientos Técnico-productivos**

Tomar en cuenta que la producción de las piezas que conforman el sistema se hará de forma semi-industrial.

El diseño de los elementos debe tender hacia la **modularidad** para simplificar la producción y dar versatilidad funcional.

2.5.2. Requerimientos Particulares.

Cada uno de los subsistemas en que está dividido el proyecto tiene unos requerimientos específicos que se deben satisfacer, los cuales se enuncian al comienzo de cada una de las propuestas de diseño documentadas en el numeral 3.

2.5.3. Parámetros de diseño.

Los conceptos básicos de diseño tenidos en cuenta para proponer las alternativas de diseño son los enunciados a continuación:

El desarrollo de las alternativas debe estar concebido principalmente en un concepto que es fundamental para proyectar un resultado con alta usabilidad, y es la **simplicidad**. Simplicidad en cuanto a su forma y a su uso. Al manejar formas simples se verá reducido el costo de producción por requerirse menor cantidad de procesos o procesos menos complejos, y también se hará más fácil, para el usuario, la recordación e identificación de los componentes que conforman el sistema. Otro beneficio importante, es que el tiempo necesario para desarrollar cualquier actividad con el sistema robótico modular se reducirá si la manera de usarlo es lo más simple posible, lo cual permite que el aprendizaje sea más rápido. Este concepto también es útil para el diseño del manual de usuario del producto.

La configuración de cada una de las aplicaciones que puede implementarse con el sistema robótico modular debe presentar un alto grado de **consistencia** en cuanto a la manera de ensamblar cada uno de los subsistemas, la forma de hacer las conexiones electrónicas, la secuencia de acciones para la configuración de las aplicaciones, y la manera en que se le hará mantenimiento a cada uno de los módulos. Este aspecto hará más fácil la utilización del sistema, independientemente de cuál sea la aplicación que se esté implementando, lo cual puede repercutir en la satisfacción del usuario porque, además, se hará más rápido el proceso de aprendizaje.

Suministrar al usuario de la manera más adecuada la **información exacta** que él necesita para la utilización del sistema. Y es muy importante no dar ni más información ni menos de la necesaria para evitar confusiones con aspectos que no vengan al caso o generar dudas por falta de información; de esta forma se mejorará la **eficacia** del producto. Esta información puede estar presente directamente en el producto, o referenciada en el manual de usuario.

El principal parámetro que se tendrá en cuenta en el aspecto formal del Sistema Robótico Modular es la **unidad** que debe presentar el conjunto armado con sus componentes, dando importancia también a que el sistema debe generar **atracción e interés** al usuario a través de una configuración agradable de sus formas.

Para el diseño del manual de usuario se debe tener presente la familiaridad, la precisión, la claridad y la cortesía de palabras, de expresiones, de abreviaturas y de iconos, y la calidad de la presentación visual, uso del color, etc. como elementos fundamentales en pautas de la **usabilidad**.

En las soluciones de diseño planteadas se debe ofrecer al usuario la posibilidad de **corregir los errores** sobre sus acciones, y la forma ideal sería que ellos tuvieran la capacidad de notar las acciones erróneas y la posibilidad de corregir éstas antes de ejecutarlas. Para contribuir a este propósito, el sistema debe contener advertencias acerca de comandos o actividades peligrosas, información sobre acciones que no se puedan cancelar, indicadores del estado de funcionamiento de cada uno de los subsistemas y ofrecer la posibilidad de que el usuario corrija su trabajo en el aspecto específico donde se presenta el error, sin necesidad de rehacer por completo la actividad.

Los conceptos utilizados para el **diseño electrónico** fundamentalmente buscan que las tarjetas diseñadas cumplan con estándares internacionales, que tengan robustez, que algunos procesos sean transparentes al usuario y las tarjetas de fácil conexión para que sean más cómodas de usar y finalmente que se les pueda dar un fácil mantenimiento:

Conceptos para el diseño electrónico digital:

1. Todos los sistemas digitales funcionaran con estándar TTL.
2. En algunas etapas se usaran dispositivos de montaje superficial para reducir el ruido y minimizar el tamaño de los diseños.
3. La etapa de comunicación está acoplada al microcontrolador por medio de un buffer, el cual se deshabilita cuando pasa a modo aplicación
4. Los dispositivos de diferentes frecuencias tendrán etapas separadas o tendrán los acoples necesarios

Conceptos para el diseño electrónico analógico:

1. Los diseños que necesiten alimentaciones como baterías y adaptadores tendrán puentes de diodos para proteger las tarjetas de polaridades inversas.
2. Se usaran filtros y acoples en las alimentaciones que los requieran.
3. Los dispositivos de diferentes frecuencias tendrán etapas separadas o tendrán los acoples necesarios

Conceptos para el diseño de los PCB's:

Se resumieron algunos parámetros para el diseño de las tarjetas de circuitos impresos, estas se tomaron del estándar IPC 2221, de la nota de aplicación de Freescale AN2321, y del libro "A guideline on printed circuit board design"¹

1. El circuito análogo y digital estarán separados.
2. La Tierra ira alrededor del circuito.
3. El espaciamiento entre las señales será mayor de 0.4mm, que es superior al mínimo recomendado tanto por voltaje (5V) como por frecuencias (menores de 8.4Mhz).
4. Las tarjetas tendrán condensadores de acople en las salidas de voltaje.
5. De ser necesario se separaran circuitos electromagnéticamente por medio de inductancias
6. Los ángulos del los caminos que no sena rectos, serán de 45° para las señales.
7. Los caminos de tierras y alimentaciones serán más ancho que los de las señales.

¹ SLAVEK, Przepiorski A Guideline On Printed Circuit Board Design. Usa: University of Auckland Department of Electrical And Electronic Updated Dec 1996

8. Se usaran planos de tierra para las caras de la tarjeta y las tierras están conectadas entre si.
9. Los integrados se orientaron hacia un solo lugar si es posible.
- 10.El diseño de los caminos de las señales tendrán un ancho superior a 0.3mm.
- 11.El diseño de los caminos de la etapa de potencia tendrán un ancho mínimo de 0.5mm.

Las tarjetas de circuito impreso serán diseñadas utilizando la herramienta informática EAGLE¹.

¹ Programa para el diseño de circuitos impresos (Easily Applicable Graphical Layout Editor) licencia estudiantil Versión 4.13 para Windows Light Edition.

3. PROPUESTAS DE DISEÑO

En este capítulo se da a conocer el proceso creativo del proyecto, se hace una explicación general de las alternativas propuestas, se realiza una evaluación de las mismas con base a los requerimientos y parámetros establecidos y se optimizan aquellas que hayan sido seleccionadas para elaborar los correspondientes modelos funcionales.

3.1. SISTEMA ROBÓTICO MODULAR COMPLETO

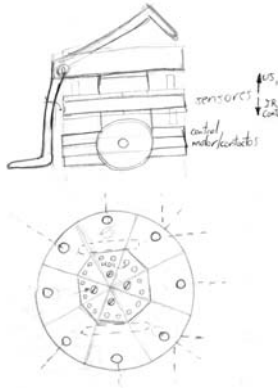
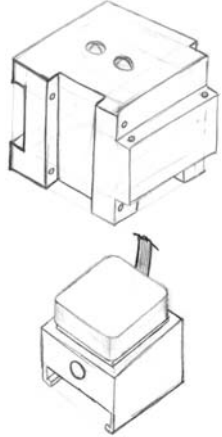
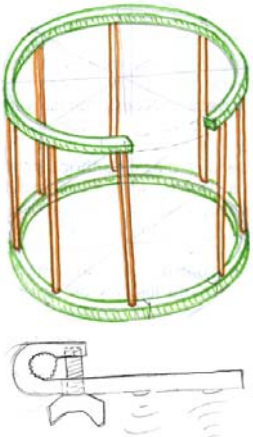
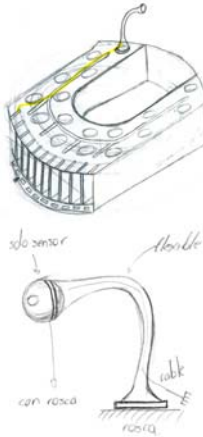
El proceso creativo comenzó simultáneamente tanto en el área de diseño industrial como en el de diseño electrónico, y gracias a la experiencia en la parte electrónica se pudieron estimar las medidas de las tarjetas electrónicas que conformarían el sistema para tenerse en cuenta como parámetro en el diseño del sistema (Ver tabla 3).

Tabla 3. Dimensiones estimadas de las tarjetas electrónicas de los módulos que componen el Sistema.

	Módulo	Base [mm x mm]	Altura [mm]
1	Seguidor de línea	70 x 60	15
2	Sensor de encoder	32 x 18	10
3	Sensor de contacto	15 x 10	15
4	Sensor de distancia por infrarrojo	45 x 15	20
5	Sensor detector de objetos por infrarrojo	25 x 20	20
6	Sensor de distancia por ultrasonido	50 x 20	20
7	Rastreador de luz	20 x 20	10
8	Sensor de temperatura	15 x 10	10
9	Detector de sonido	60 x 60	15
10	Comunicación inalámbrica	60 x 50	15
11	Tarjeta de motores	45 x 35	10
12	Tarjeta zumbador	20 x 20	15
13	Tarjeta de alimentación	50 x 35	65
14	Tarjeta de visualización	100 x 60	10
15	Tarjeta de control	110 x 80	20

Las primeras ideas de la configuración de Sistema Robótico Modular se describen en la tabla 4.

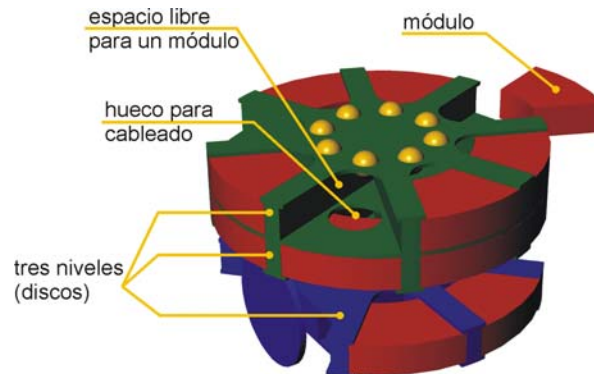
Tabla 4. Ideas iniciales del Sistema Robótico Modular.

a. Discos en varios niveles	b. "Cubos" para armar	c. Módulos deslizantes	d. Módulos "flexibles"
			
Sistema con arquitectura vertical, en donde cada nivel es un disco con espacio para los diferentes módulos de acuerdo con su ubicación. De abajo hacia arriba los niveles son: 1. Sensor de línea y alimentación; 2. Módulo de motores y sensores de contacto; 3. Módulo de control; 4. Otros sensores; 5. Subsistema de manipulación.	Sistema que permite unir los módulos en diferentes posiciones y que va creciendo a medida que se va volviendo más complejo el sistema. Las principales desventajas que presenta esta idea son la irregularidad que tienen las dimensiones de las tarjetas electrónicas para unificar los módulos, y la elevada precisión que demanda en su proceso de fabricación para garantizar un ensamble preciso, y que el sistema armado se comporte como un solo elemento rígido. La idea no se desarrolló más, al verse con mayor viabilidad las otras alternativas.	Sistema que tiene una estructura principal en forma cilíndrica que enmarca el volumen que ocuparía el sistema completo; sobre el perímetro del cilindro se ubican los sensores y se gradúa su altura con respecto al piso deslizando cada módulo a lo largo de los ejes verticales; en la parte interior está el módulo de control hacia donde irían conectados los módulos. Al construirse un modelo de la estructura se ve que ocupa mucho espacio, porque así se utilice un solo módulo, es necesaria toda la estructura.	Sistema en el cual cada módulo tiene una parte flexible, en uno de sus extremos está ubicada la tarjeta electrónica, y en el otro está el componente electrónico que funciona como sensor. Hay unas posiciones fijas para los módulos pero cada uno de estos se orienta de acuerdo a las necesidades al ajustarle la parte flexible al ángulo requerido.

Alternativa de discos en varios niveles

Teniendo en cuenta las posiciones que pueden ocupar los sensores del sistema, cada disco tiene ocho espacios posibles para los módulos ya sea adelante, atrás, los dos laterales o los cuatro diagonales. Figura 3.

Figura 3. Alternativa de discos

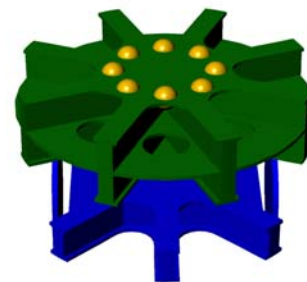
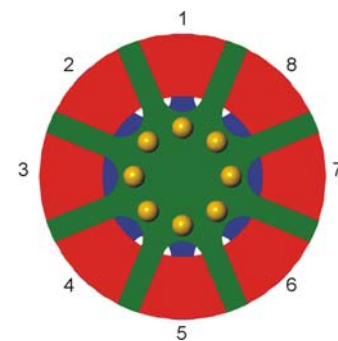


Ventajas:

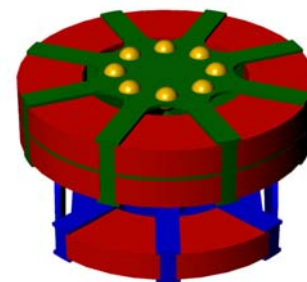
- Todos los módulos tienen la misma forma, lo cual facilita la producción.
- Al existir posiciones fijas se facilita la configuración de los módulos de acuerdo con las aplicaciones a realizar.

Desventajas:

- Ocupa mucho espacio, porque así se utilice un solo módulo, es necesario al menos un nivel completo.
- Al tener posiciones fijas para los módulos, se restringe la configuración de aplicaciones más avanzadas que el usuario pueda llegar a desarrollar.



Estructura vacía

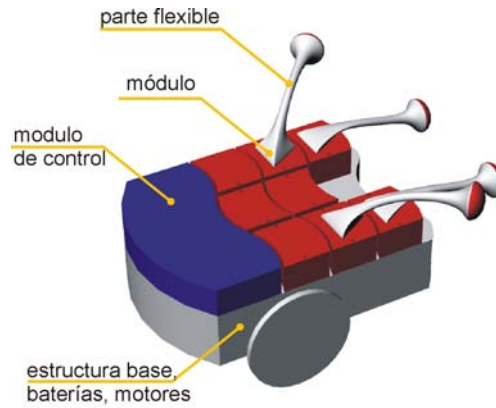


Estructura con todos los módulos

Alternativa de Módulos Flexibles

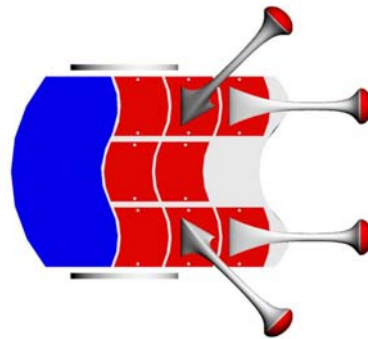
Existe una estructura base (gris) sobre la cual se ensamblan los módulos de control y sensores, sin importar en que posición se ensambla el módulo, el sensor se orienta hacia donde sea necesario. Figura 4.

Figura 4. Alternativa Módulos Flexibles



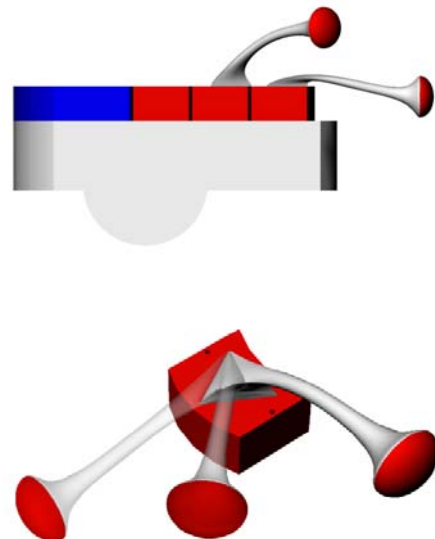
Ventajas:

- Al ser flexibles los módulos, se disminuye la altura de la estructura base y el usuario puede llegar a desarrollar configuraciones de aplicaciones más avanzadas con mayor libertad.



Desventajas:

- Los componentes electrónicos de los diferentes sensores difieren bastante en volumen y en número de cables, y esto dificulta unificar el extremo del módulo donde irían ubicados.
- Para el usuario puede resultar difícil garantizar la orientación de los sensores debido a la amplia libertad que da la flexibilidad del módulo.



Después de analizar las alternativas desarrolladas hasta el momento, sin tener alguna que satisfaga todos los requerimientos establecidos, y teniendo ya definidas las dimensiones finales de las tarjetas electrónicas, indicadas en la tabla 5, se desarrolló otra idea que tuviera origen a partir de la forma de uso ideal que debería dársele al Sistema Robótico Modular al momento de configurar alguna de las aplicaciones propuestas, estableciendo así el siguiente orden de armado:

1. Armar o disponer de una *estructura principal*.
2. Seleccionar el *subsistema de locomoción* (oruga o triciclo) y ensamblarlo en la estructura principal.
3. Dependiendo de la complejidad de la aplicación que se va a configurar, seleccionar un *módulo de conexiones* (básico intermedio o avanzado) e instalarlo en la estructura principal.
4. El *módulo de alimentación* se ubica dentro de la estructura principal.
5. Conectar *módulo de motores*.
6. Instalar y conectar cada uno de los *módulos*, los cuales deben poder instalarse en cualquiera de los módulos de conexión. (básico, intermedio o avanzado)
7. Bajar o cerrar una “*tapa*” que mantenga protegido el cableado. (Sólo si es necesaria dicha tapa)
8. Programar el *módulo de control* desde el computador, se instala en el módulo de conexiones, se le conecta las baterías y se ejecuta la aplicación.
9. Se evalúa la aplicación y se toman las correcciones necesarias.

Tabla 5. Dimensiones finales de las tarjetas electrónicas de los módulos que componen el Sistema.

	Módulo	Base [mm x mm]	Altura [mm]
1	Seguidor de línea	50 x 40	15
2	Sensor de encoder	35 x 18	7
3	Sensor de contacto	No requiere tarjeta	
4	Sensor de distancia por infrarrojo	45 x 15	20
5	Sensor detector de objetos por infrarrojo	28 x 20	8
6	Sensor de distancia por ultrasonido	44 x 48	15
7	Rastreador de luz	56 x 40	15
8	Sensor de temperatura	20 x 10	16
9	Detector de sonido	60 x 46	10
10	Tarjeta de comunicación inalámbrica (emisor)	90 x 60	15
11	Tarjeta de comunicación inalámbrica (receptor)	65 x 50	15
12	Tarjeta de motores	45 x 35	15
13	Tarjeta zumbador	25 x 25	18
14	Tarjeta de alimentación	87 x 35	65
15	Tarjeta de control	86 x 83	32
16	Tarjeta básica de conectores	130 x 85	16
17	Tarjeta avanzada de conectores	130 x 102	16

En los numerales a continuación se explica cómo se diseñó cada uno de los componentes del Sistema Robótico Modular permitiendo la secuencia de armado anterior, y teniendo como referencia las medidas finales de las tarjetas electrónicas.

3.2. SUBSISTEMA ESTRUCTURAL

Es el encargado de dar la arquitectura básica al robot y sirve como base para el montaje de los demás subsistemas.

Requerimientos

- Debe tener la capacidad de soportar todo el peso y los esfuerzos ejercidos por los demás subsistemas que se ensamblan en éste.
- Debe permitir el ensamble de todos los demás subsistemas de tal forma que se puedan configurar aplicaciones combinadas.
- Deben emplearse señales de uso que indiquen al usuario en donde ensamblar cada uno de los demás subsistemas.

Al comienzo se pensó en dos estructuras que se utilizaran dependiendo si se quería configurar una aplicación básica o avanzada¹, cuya diferencia radicaba básicamente en la cantidad de módulos que se podían instalar a la vez, y esto se lograba dándole dos niveles horizontales a la estructura avanzada (Ver figura 5).

Al verse que la estructura avanzada tenía las capacidades de la estructura básica, y el hecho de tener dos piezas como estas significa una mayor necesidad de material y por tal razón mayor costo en producción, se tomó la decisión de diseñar una sola estructura, la más pequeña posible, a la cual se le pudieran ensamblar ciertos accesorios dependiendo de la cantidad de módulos que se necesitara en cada aplicación logrando así, con la misma estructura base, configurar cualquier aplicación del Sistema Robótico

¹ Las aplicaciones se clasificaron en básicas y avanzadas; la clasificación que se tenía pensada como “intermedia” fue descartada ya que era necesario dejar habilitado un amplio número de conexiones que no difería mucho del número de conectores necesarios para aplicaciones avanzadas. Esto se puede ver con más detalle más adelante donde se habla de los *Módulos de Conectores*.

Modular. En la Figura 6 se muestra uno de los bocetos de dicho accesorio, en este caso usado para ensamblar la rueda libre cuando el subsistema de locomoción está en modo triciclo.

Figura 5. Esquemas que representan la estructura básica (izquierda) y la estructura avanzada (derecha).

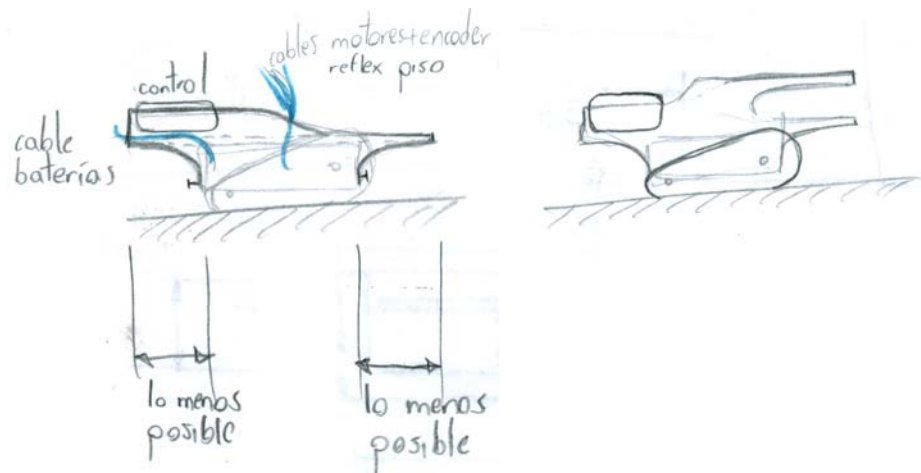
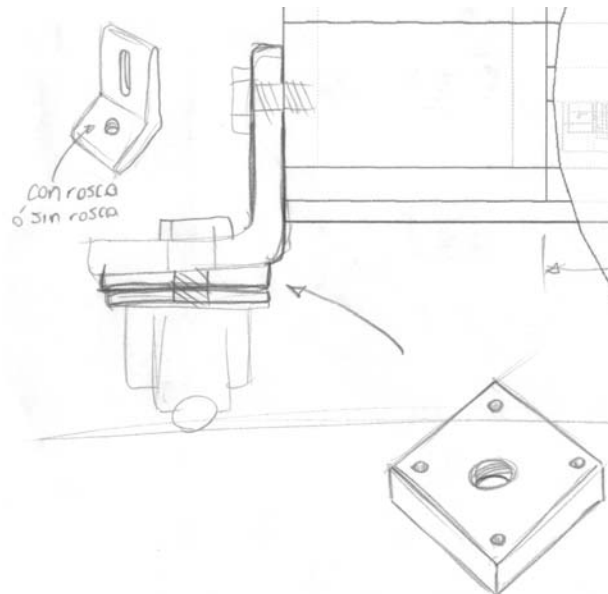


Figura 6. Boceto del accesorio para montaje de módulos en la estructura principal.



Cada uno de los módulos debe ensamblarse de igual forma sobre la estructura principal de tal manera que se eviten confusiones entre la forma de ensamblar un módulo u otro. Desarrollar un ensamble mecánico preciso que funcione de acuerdo con la forma de los módulos fue descartado con anterioridad debido a la necesidad de procesos de producción extremadamente precisos y costosos, por tal razón se buscó un elemento de sujeción estándar con el que se pudiera lograr los resultados deseados, las opciones eran broches plásticos o metálicos, remaches, velcro, imanes y tornillos, encontrándose en este último la mejor opción que ofrecía los resultados deseados.

Figura 7. Tornillos de nylon 1/4"

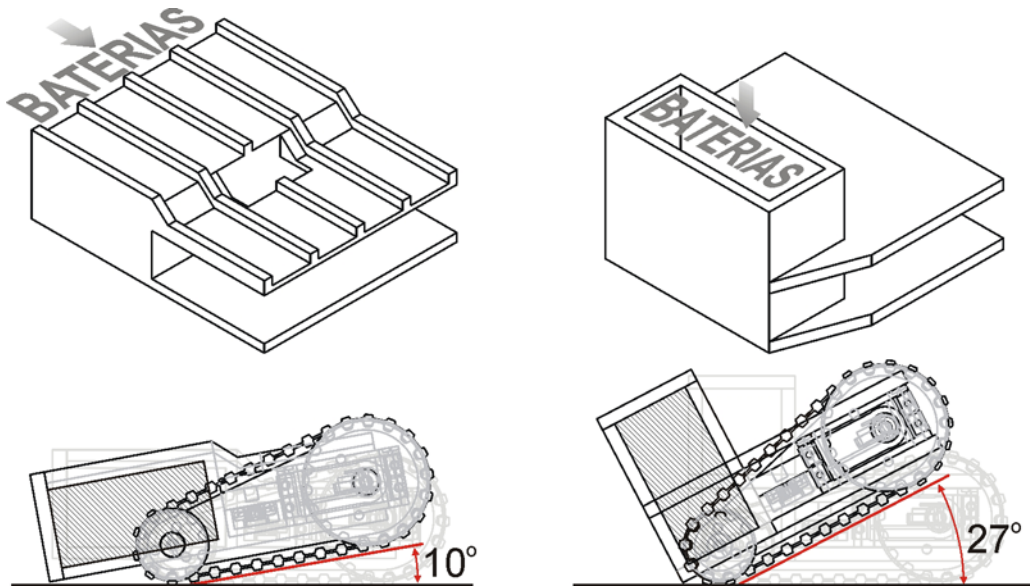
Para la construcción de los modelos se utilizaron tornillos brístol de nylon de 1/4" con cabeza redonda, la cual se consideró como la mejor opción en el mercado para ser aplicada al proyecto. Ver figura 7.



Las dimensiones del área que ocupa la estructura principal están en función de los siguientes componentes: el ancho de la estructura depende de la longitud que tenga el módulo de motores (2 motores DC + tarjeta de control de motores); el largo depende también del módulo de motores además del sensor del encoder y de la posición que tengan las baterías en la estructura. Se tomó la decisión de ubicar las baterías en posición vertical ya que

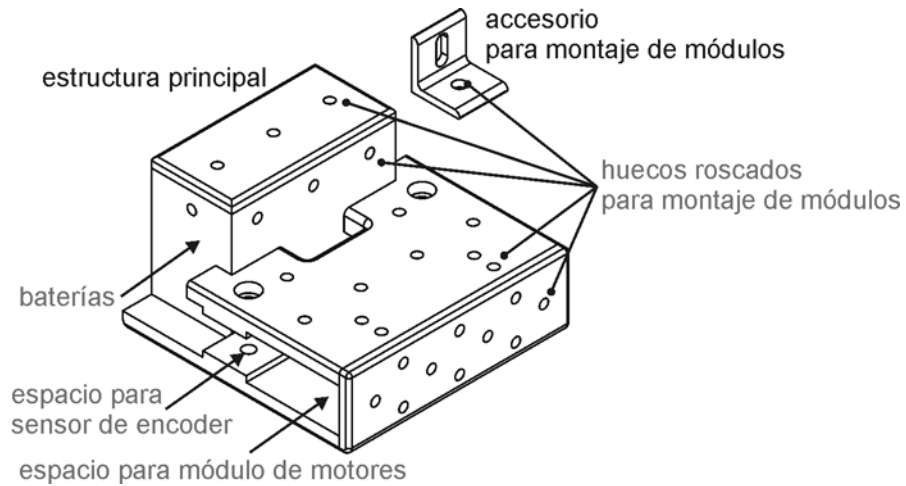
además de reducir el área de la base de la estructura, de esta forma se mejoraba el sobrepaso de obstáculos en modo oruga y se aumentaba la pendiente que el sistema sería capaz de subir sin que hubiera rozamiento de la estructura con el piso. El ángulo de la pendiente se puede observar en la figura 8.

Figura 8. Pendiente que puede subir el móvil sin que haya rozamiento con la estructura, en función de la posición de las baterías: horizontal (izquierda) o vertical (derecha).



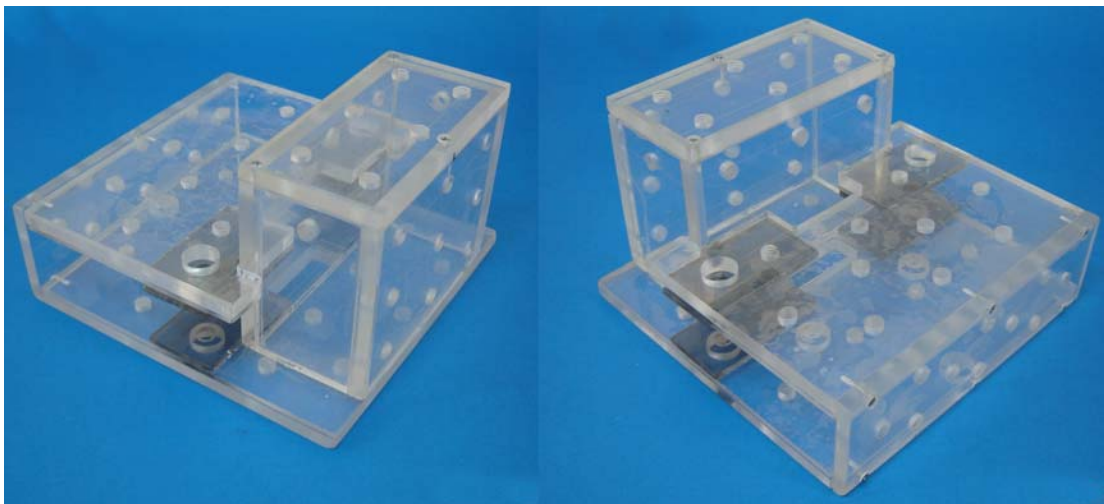
Una vez dimensionada la estructura, dejando en ella el espacio respectivo para las baterías, el módulo de motores y el sensor de encoder, se hizo una serie de huecos roscados sobre toda su superficie con un espacio entre ellos acorde al tamaño de los módulos que se instalarán en ellos. Ver figura 9.

Figura 9. Vista isométrica de la estructura principal y el accesorio para montaje de más módulos.



El modelo preliminar para comprobar el funcionamiento de la estructura principal se fabricó con lámina de acrílico transparente de 6 mm y 2 mm de espesor, y se utilizó Cloruro de Metileno como pegamento.

Figura 10. Estructura principal para comprobaciones preliminares.



Es necesario hacer la instalación completa del sistema para llevar a cabo las comprobaciones a la estructura, por esta razón, el análisis del funcionamiento de ésta se encuentra documentado en el numeral 4: “Experimentación”.

3.3. SUBSISTEMA DE CONTROL

3.3.1. Módulo de control

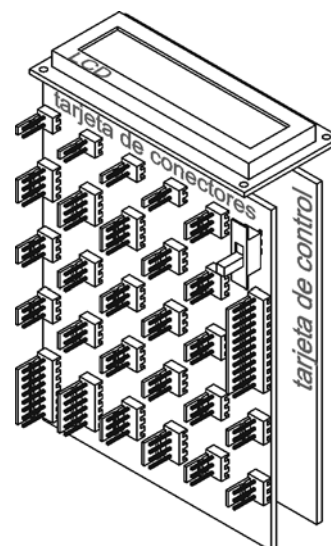
Es el encargado de recibir y procesar la información proveniente de los sensores, enviar las señales de control a los actuadores y, de ser requerido también, enviarla a un medio de visualización. Debe tener la posibilidad de reprogramarse, y guardar la información en una memoria ya sea integrada o externa. Este sistema no contendrá ninguno de los periféricos del robot, de modo que también sirva como un sistema de desarrollo para la UCP que posea el robot con líneas de E/S al exterior y con un soporte para la programación y depuración de programas.

Requerimientos

- El módulo de control debe contener la tarjeta electrónica que tiene unas dimensiones aproximadas de 86mm x 83mm x 32mm
- Permitir la conexión de un cable serial y una entrada de alimentación.
- Debe tener dos pulsadores, uno para el encendido del módulo y otro para el encendido del LCD.

Como idea inicial se tenía un módulo de control en el cual estuvieran integradas la tarjeta de control, la tarjeta de conectores y la pantalla de cristal líquido (LCD), pero esta alternativa presentaba algunas desventajas importantes y es que ocupaba mucho espacio, 150 x 90 mm, mientras que la tarjeta de control solo ocupa un área de 86 x 83 mm, además la tarjeta de control se estaba sub-utilizando ya que al estar integrada con la tarjeta de conectores, este módulo solo podría utilizarse con el Sistema Robótico Modular, mientras que si se deja independiente la tarjeta de control, ésta puede utilizarse en otras aplicaciones diferentes, dándole así mayor versatilidad a este módulo.

Figura 11. Distribución de la tarjeta de control, de conectores y la LCD en la idea preliminar del módulo de control.



La pantalla de cristal líquido se dejó integrada en el módulo de control ya que no ameritaba dejarla en un módulo independiente (requiriendo más cableado y material) porque se puede controlar su visualización desde la misma tarjeta de control.

El ensamble entre el módulo de control y el módulo de conectores se hace a través de los conectores de entradas/salidas mostrados en la figura 13, los cuales ofrecen bastante agarre además de excelente conexión electrónica.

Figura 12. Módulo de control con LCD integrado conectado a un módulo de conectores.

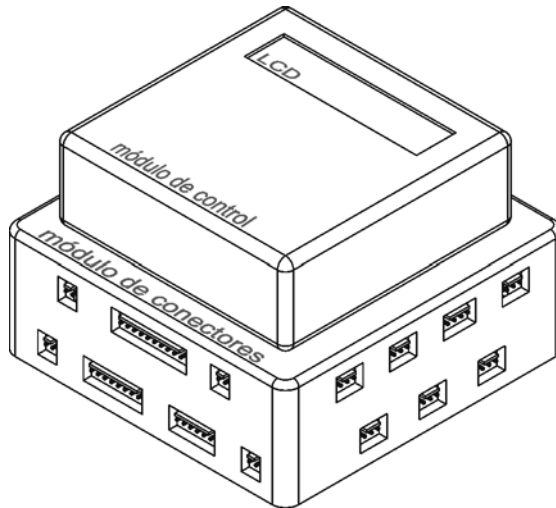
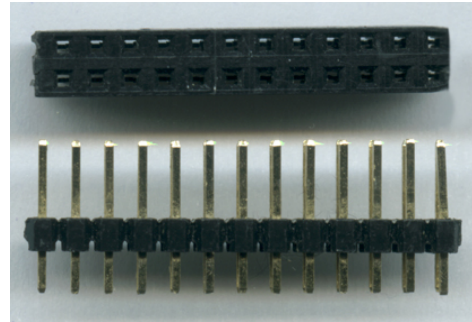


Figura 13. Conectores que permiten el ensamble entre el módulo de control y el módulo de conectores.



El diseño preliminar para comprobar el funcionamiento del módulo de control se muestra en la figura 14 y el modelo fue fabricado en balsa como se muestra en la figura 15.

Figura 14. Componentes visibles del módulo de control.

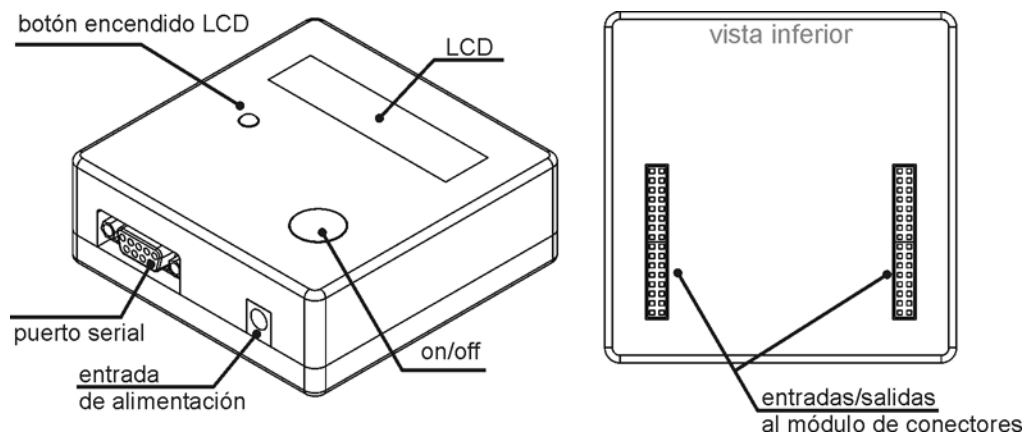


Figura 15. Modelo construido para la comprobación del módulo de control.



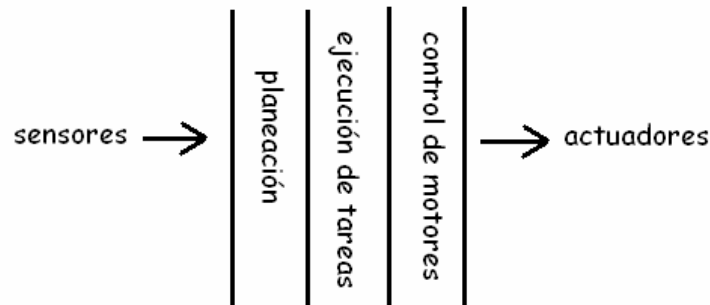
Diseño Electrónico

El sistema de control en un robot es el encargado de tomar la información proveniente de los sensores y de la planeación para dar las órdenes de ejecución a los actuadores y medios de visualización y aviso.

Para escoger un sistema de control adecuado se debe pensar primero en las arquitecturas de control que se planea implementar para ver cuales son las necesidades de esta.

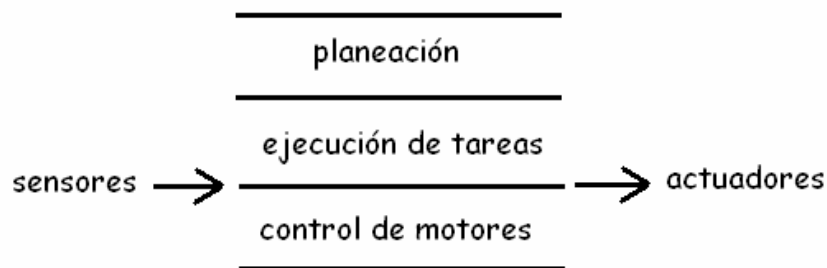
La arquitectura de control clásica se conoce como SPA (Sensar-Planear-Actuar) figura 16, en la cual lo primero que hace el robot es ver el estado de sus sensores, de donde obtiene información del medio, después de acuerdo con esta información planea lo que hará y por ultimo actúa.

Figura 16. Arquitectura de control clásica



Otras arquitecturas más recientes sugieren cambios tales como SA (Sentar y Actuar), y de ser necesario planear, pero no hacerlo todas las veces, ya que siempre existirán criterios básicos que el robot debe cumplir, de acuerdo a las tareas específicas a las que sea asignado, por consiguiente el robot no planeará algunas tareas simplemente reaccionará como un reflejo en un ser humano¹ figura 17.

Figura 17. Arquitectura de control supsumsion²



Teniendo en cuenta estas arquitecturas se puede ver que un robot independientemente del orden en que realice los procesos sensa, planea y actúa. Para lograr que un sistema de control realice estas funciones de acuerdo a los objetivos del proyecto, se deben tener en cuenta las siguientes características:

¹ Brooks, Rodney allan. Cambrian Intelligence. London, England . MIT Press P 5.

² MIT Press P 8

Requerimientos

- **Lenguaje de programación:** Debido a que este proyecto va dirigido a personas que tengan conocimiento en el área de ingeniería, como a personas que no lo tengan se requiere tener un software que permita escribir programas en lenguaje de alto y bajo nivel. El software que sea requerido para la programación se buscará que tengan licencias estudiantiles, o en su defecto sean GNU.
- **Programación y capacidad de Reprogramación:** El sistema de control debe permitir una fácil programación (en términos de conexión) y una elevada capacidad de reprogramarse para que la UCP tenga una larga vida útil.
- **Número de entradas/salidas:** La UCP debe tener un número adecuado de entradas y salidas, el cual permita manejar todos los módulos del sistema.
- **Memoria:** El sistema de control posee dos tipos de memoria, una memoria de programa (ROM) y una de datos (RAM) o variables, la memoria de programa debe ser no volátil para no depender de una fuente externa para conservar los datos, la capacidad de ésta debe ser superior a 30Kbytes para aplicaciones avanzadas que ameriten códigos muy extensos, como son resolución de laberintos, en el caso de la memoria de datos (RAM) es suficiente con 1Kbyte.

Es recomendable que el sistema también posea una memoria de tipo eeprom para almacenar variables que necesitemos conservar si se apaga el sistema; puede ser externa o interna.

- **Frecuencia de funcionamiento:** Con frecuencias superiores a 1Mhz es posible hacer un control serial que emule un proceso paralelo debido a la lentitud en el tiempo de respuesta de los actuadores que en el caso de un servomotor típico es de aproximadamente 2ms
- **Canales CAD:** Serán los encargados de tomar información de sensores analógicos, deben tener una resolución de por lo menos 8 bits.
- **PWM y Timer:** Permiten que el sistema de control genere señales de modulación por ancho de pulso y captura el tiempo de algunos eventos
- **Puertos Seriales:** SCI y SPI para expansión y programación serial.
- **Empaquetado:** La UCP Debe ser de montaje superficial por las limitaciones de tamaño de este módulo y la separación entre pines debe ser superior a 0.25mm para no tener problemas con la soldadura que se hará de forma manual.
- **Características de puertos:** Es necesario que los puertos tengan para algunas aplicaciones, resistencias de Pull up, así como estados de alta impedancia, y estados de puerto directo.
- **Tamaño:** Las dimensiones máximas del subsistema de control es de 8.0cm x 11cm
- **Interfase programación:** Se requiere un método de programación por puerto serie, ya que es un puerto que tienen la mayoría de los

computadores, y además este se puede emular en un puerto USB en caso de no tener puerto serie.

- **Dispositivo de visualización:** El modulo de control debe tener un sistema de visualización integrado que le permita al usuario observar algunos eventos en este.

Elaboración y selección de alternativas

Los posibles tipos de UCP estudiados fueron FPGA's, DSP's, microprocesadores y microcontroladores, de entre los cuales se seleccionaron los microcontroladores porque son los que tienen un menor costo comparando el beneficio que representa, además que son los que cumplen con un mayor numero de requerimientos sin sobredimensionar el sistema.

Entre los microcontroladores y sus diferentes familias se eligieron ATMEL, Microchip y Freescale por presentar diferentes arquitecturas y porque hay una gran cantidad de literatura de estas marcas, después se seleccionó un microcontrolador de cada una y se compararon las características de estos de acuerdo a los requerimientos. (Ver tabla 6):

ATMEL: es la UPC que presenta las mejores características en cuanto a desempeño y módulos especializados, sin embargo presenta desventajas en el tipo de interfase de programación Jtag por usar el puerto paralelo del computador y los compiladores de C que se encuentran no tienen licencia estudiantil.

Microchip: a pesar de ser la UCP más rápida y tener 10 veces más ciclos de reprogramación que las otras UPC presenta pocos canales de PWM y los compiladores de C que se encuentran no tienen licencia estudiantil.

Tabla 6: Características generales de algunas marcas y referencias de microcontroladores.

Microcontrolador	ATMEL ATmega640	Microchip 18F8680	Freescale HC908XX
Lenguaje de programación	C++ Sin licencia libre 30 días de prueba	C++ Sin licencia libre 30 días de prueba	C++ Licencia estudiantil
Nº de Entradas/salidas	86 puertos	53 puertos	52 puertos
Tipo de programación	Jtag	Serial	Serial
Memoria Flash	64K	64K	64K
Re programación	10000 ciclos	100000 ciclos	10000 ciclos
Memoria Eeprom interna	4Kbytes	1Kbyte	1Kbyte
Frecuencia	16Mhz	40Mhz	8.4Mhz
Canales A/D	16 resolución 16bits	16 resolución 10bits	16 resolución 8 bits
PWM	6 resolución 16 bits	1 resolución 16 bits	8 resolución 16bits
Timer	4 resolución 16bits	3resolución 16 bits	8 resolución 16bits
Interfase seriales	1 SPI 4 USART	I2C SPI USART	CAN, SPI, SCI
Empaquetado	100 TQFP	64 QFP	64 QFP

Freescale: aunque esta UCP presente la frecuencia más lenta, tiene programación por puerto serial en comparación con ATMEL, y la compañía Metrowerks ofrece un compilador de C muy bueno llamado Codewarrior que tiene licencia estudiantil, lo que no se encontró con las otras UCP.

Por estas características se eligió usar una UCP Freescale, y para hacer una mejor selección dentro de esta marca se estudiaron 2 microcontroladores más, uno de la familia HC12 de 16bits y otro de la familia HC908 de 8 bits, se descartó el uso de la familia HC11 de la selección debido a que no poseen

memoria Flash interna (ROM), y sus características son sobrepasadas por varios microcontroladores de la familia HC908.

Después de hacer un análisis de las características de cada una de estas UCP (ver tabla 7), se concluyó que el MC912D60A era el microcontrolador adecuado para el proyecto, pero después de diseñar e implementar una tarjeta; programarlo fue imposible debido a que Freescale no proporciona la información necesaria para utilizar el modo de programación BDM que utiliza éste, por tanto nuestra segunda opción fue MC908AZ60A que cumple con todos los requerimientos necesarios para el proyecto.

Descripción MC908AZ60A:

El MC908AZ60A¹ es un microcontrolador de la familia HC68HC08 de 8 bits de alto desempeño, se caracteriza por poseer arquitectura Von Neumann (figura 18), lo que implica que la memoria de datos está ubicada en la memoria de programa, por lo tanto este microcontrolador usa una memoria FLASH, la cual hace las veces de memoria ROM de programa, RAM de Datos temporales, y EEPROM de datos.

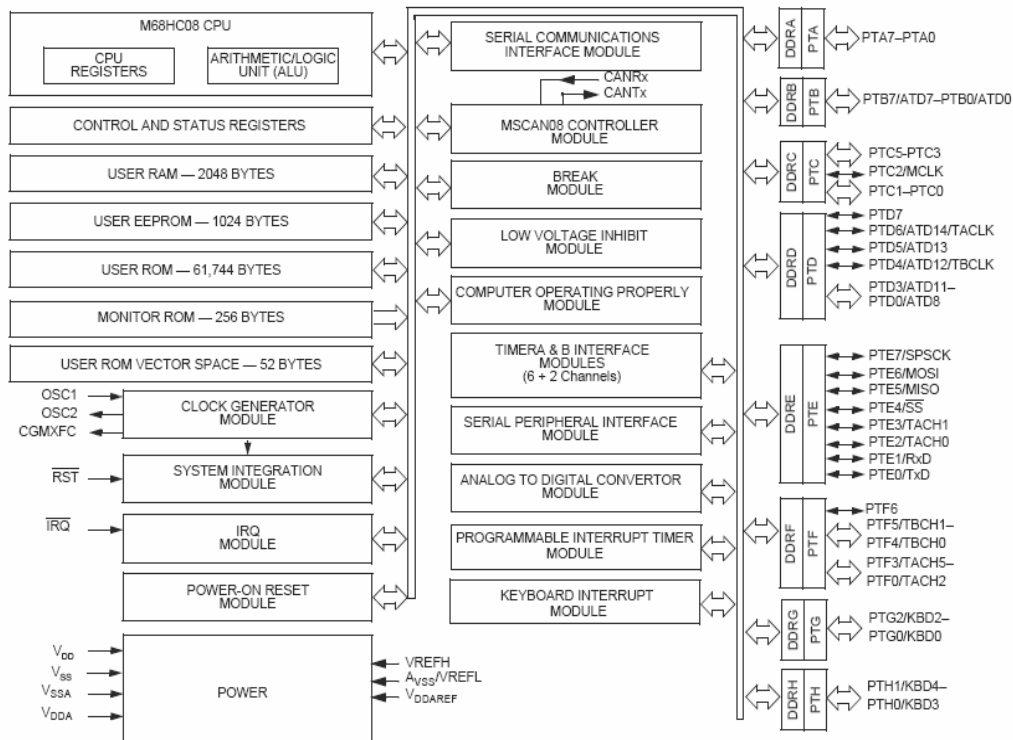
Otra de las características más sobresalientes de esta familia es que su arquitectura es de tipo CISC (Completo set de código de instrucciones), lo que quiere decir que estas UCP pueden tener en promedio unos 80 códigos de instrucciones para programar, lo cual facilita la implementación de compiladores para estos microcontroladores, que en este caso específico están optimizados para programación en lenguaje C y C++.

¹ Freescale semiconductors, MC68HC08AZ60A Technical Data, USA, www.freescale.com

Tabla 7. Características generales de los microcontroladores MC912D60A
MC908GP32 MC908AZ60A

Características	MC912D60A	MC908GP32	MC908AZ60A
Arquitectura	HC12	M68HC08	M68HC08
Memoria Eeprom	1Kbyte	No	1Kbyte
Memoria RAM	2Kbytes	512Bytes	2Kbytes
Memoria ROM	60Kbytes	32Kbytes	64Kbytes
Frecuencia	8Mhz	8Mhz	8.4Mhz
Soporte lenguaje C	Si	Si	SI
SPI	Si	Si	SI
SCI	Si	Si	Si
Timer	8 resolución 16 bits	2 timer	8 resolución 16 bits
CAD	16 resolución 10 bits	8 resolución 8 bits	16 resolución 8 bits
Modo programación	BDM	Monitor Rom	Monitor Rom
Empaquetado	112 TQFP	44 QFP	64 QFP

Figura 18. Arquitectura interna microcontrolador MC908AZ60A



Diseño e Implementación de la tarjeta de control:

Hecha la elección de la UCP el diseño del sistema de control se basó en esta, ya que es la parte principal del sistema y teniendo en cuenta sus características y requerimientos, el diseño se dividió en tres etapas que se definieron en función de los modos de programación y aplicación del microcontrolador y de la interfaz de comunicación entre el subsistema de control y los demás subsistemas.

Es necesario aclarar que el diseño de las tarjetas tanto en distribución de elementos como en tamaño se hizo tomando tanto las recomendaciones desde el punto de vista electrónico, como el de diseño industrial.

Primera etapa “alimentación del sistema”

El sistema de alimentación es el encargado de proveer al móvil las tensiones y corrientes necesarias para su funcionamiento, las cuales serán distribuidas a través de la tarjeta de control hacia los otros subsistemas

Requerimientos

- El sistema de control debe soportar dos tipos de alimentación, una proveniente de un adaptador AC-DC, o de un juego de 10 baterías recargables
- Debe suministrar un voltaje estable entre 4.5 y 5.5V y una corriente que puede variar desde 100mA hasta 1.0A.
- Debe tener una señal de control con la cual se pueda controlar el suministro de voltaje.
- Su eficiencia debe ser la más alta posible.

Elaboración y selección de alternativas

Después de haber hecho el estudio acerca del tipo de reguladores se seleccionaron dos reguladores conmutados de Texas Instruments, y se evaluaron sus características por medio de la tabla 8, llegando a seleccionar el regulador PTH08080W como la mejor alternativa teniendo en cuenta los requerimientos del sistema.

Tabla 8. Características generales reguladores conmutados PT78HT205H y PTH08080W

Referencia	Vin	Vout	Corriente	Eficiencia	Tamaño	Señal de Control
PT78HT205H	9V-28V	5V	2A	90%	2x2.2 cm	no
PTH08080W	4,5V-18V	0,9V-5,5V	2,25A	93%	1,2x1.1cm	si

Diseño etapa de alimentación

La etapa de alimentación se diseño tomando como base principal el regulador conmutado y configurándolo a este de acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante¹.

Para que el sistema fuera más robusto y menos propenso a daños por errores de conexión se implemento un puente de diodos usando 1N4004 entre la entrada de alimentación y el regulador.

El diseño también requería de un led que indicara que el sistema esta encendido y una etapa que habilitara y deshabilitara el voltaje suministrado por el regulador, esto debido a que el microcontrolador cuando es configurado en modo programación necesita que el microcontrolador no permanezca siempre con su voltaje de alimentación sino que en algunos

¹ Texas Instrument, PTH08080W, 2.25-A, WIDE-INPUT ADJUSTABLE SWITCHING REGULATOR, hoja de datos, USA, www.ti.com.

Para la etapa de habilitar o deshabilitar el voltaje se uso un transistor 2n2222, el cual recibe la señal de control directamente del pin 4 puerto serie del computador, la señal de control que se trasmite por este puerto es llamada DRT, y su función es indicar en que tiempo se debe bajar la tensión del microcontrolador.

En esta etapa se diseñó el circuito necesario para suministrar los voltajes requeridos para configurar el microcontrolador en modo de programación y

63

aplicación, los cuales permiten el correcto funcionamiento del microcontrolador MC68HC08AZ60A.

Diseño “Modos Programación y Aplicación”

El microcontrolador MC908AZ60A posee varios modos de programación, entre estos el modo monitor¹ que es una aplicación que permite la ejecución de comandos a través de un host con estándar RS-232, usando un solo puerto de comunicación PTA0 y cuatro de configuración PTC0, PTC1, PTC3 y IRQ del microcontrolador, por tanto el diseño se divide en dos partes, una de comunicación y otra de configuración.

1. **Comunicación entre tarjeta y PC:** El puerto serial del computador cumple con las características requeridas por el modo monitor, tanto en estándar como en tipo de comunicación serial por esto se usara un cable serial macho – hembra para conector tipo DB9.

Para trabajar con el estándar RS-232 se uso un MAX232CUE y se configuro de acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante¹, además se adapto un conector DB9 hembra para hacer la conexión con el computador, el diseño utilizado se muestra en la figura 20.

El Software que se eligió para la programación del microcontrolador es Metrowerks Codewarrior versión 3.0, este software es un compilador de lenguaje C orientado y recomendado para microcontroladores freescale familia HC(S)08, este software con licencia estudiantil soporta varios modos de programación y se dividen por clases de acuerdo a la interfase que se tenga, en nuestro caso para programación en modo monitor y control de voltaje por medio de DTR

¹ MC68HC08AZ60A MC68HC08AZ48A Technical Data — Rev 2.0 sección 12 monitor ROM
www.freescale.com

¹ Maxim +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers Pin Configurations and Typical Operating Circuit.P17. www.maxim-ic.com.

se usara Clase I y velocidad de transmisión de 8861 baudios (ver tabla 9), como se muestra en la figura 21.

Figura 20. Comunicación serial

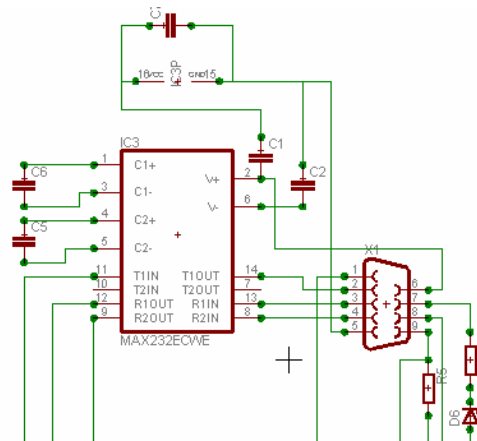
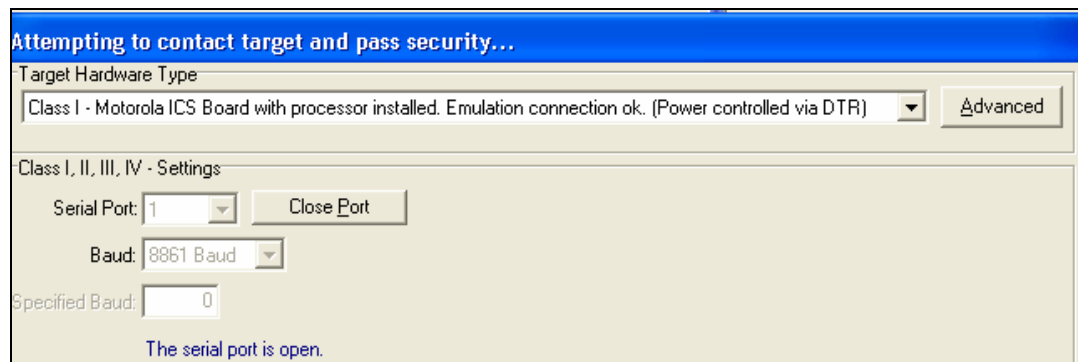


Figura 21. Configuración de clase y velocidad de programación



2. **Interfase de configuración:** Para que el usuario pueda hacer un uso transparente entre aplicación y programación del sistema de control se diseño una etapa que fuera capaz de diferenciar entre ambos modos, lo que implica colocar los voltajes requeridos para el modo monitor (Tabla 9) cuando se programe el microcontrolador y dejar los puertos libres cuando se requiera el modo aplicación, además se considero el

hecho de poseer un solo puerto PTA0 para programar el microcontrolador, lo que hacia imprescindible el uso de un dispositivo que permita tanto el envío de datos como la recepción de estos por un solo puerto. La solución de diseño que se implemento fue el Buffer 74LS244CUE de acuerdo a las especificaciones dadas por el fabricante¹, el cual cuando el puerto reciba datos los deje pasar hacia el microcontrolador, pero cuando envíe datos el driver Rs-232 los reciba sin que interfieran los datos que vienen desde el computador, además se configuro de tal forma que al conectar el cable serial, el conector coloque una tensión de 5V en el puerto de habilitación del buffer para que este configure los voltajes necesarios para la programación en los puertos PTC0, PTC1 y PTC3. Por ultimo solo falta una tensión de 9.1V en el puerto IRQ del microcontrolador, esta se obtiene del puerto 2 (C+) del driver Rs 232, y se coloca también al conectar el cable serial, el diseño utilizado se muestra en la figura 22.

Tabla 9. Características requeridas en modo monitor.

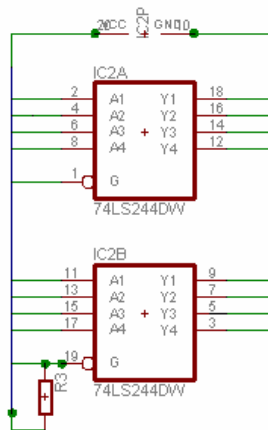
Pin IRQ	Pin PTC0	Pin PTC1	Pin PTA0	Pin PTC3	Frecuencia Programación
9.1V	5V	0V	5V	0V	8861

Tercera etapa "Microcontrolador e interfase"

En esta etapa se diseño el circuito necesario para usar al microcontrolador en cualquiera de sus modos y la interfase necesaria para comunicar los puertos de este con los diferentes subsistemas.

¹ SGS-Thomson microelectronics, HC240: 244 NON INVERTED OCTAL BUS BUFFER WITH 3 STATE OUTPUTS, Pin connection, www.sgs.com

Figura 22. Interfase de Configuración.



Parámetros de diseño:

El microcontrolador MC908AZ60A para su funcionamiento en cualquiera de los dos modos fue diseñado teniendo en cuenta los siguientes requerimientos de funcionamiento que provee el fabricante¹:

1. Un circuito para un oscilador Pierce de cristal de 4.9152Mhz entre los pines 58 y 59
2. Voltaje de alimentación entre 4.5V a 5.5V Vdd en los pines 22 y 55
3. Voltaje referencia del conversor análogo digital Vrefh pines 54 y 44
4. Referencias a tierra GND en los pines 21, 45 y 56

Diseño funcionamiento del microcontrolador:

Se implemento un oscilador Pierce como se muestra en la figura 23, los voltajes de alimentación requeridos se obtuvieron del regulador implementado en la primera etapa y se diseño una fase de filtrado con capacitores de 10uf de tantalio para frecuencias de 2.5 Mhz y un capacitor de desacople de 0.1uF cerámico en la alimentación Vdd y otro en la Vrefh y Se

¹ MC68HC08AZ60A MC68HC08AZ48A Technical Data — Rev 2.0 sección 1 General Description www.freescale.com

hizo una segmentación entre el voltaje de referencia V_{dd} y V_{refh} por medio de una inductancia de ferrita de 10uH como se muestra en la figura 24.

Figura 23. Oscilador
Pierce

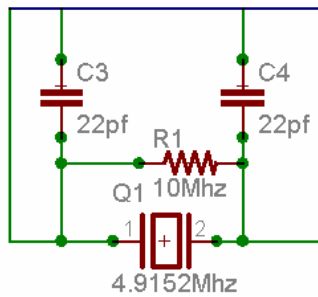
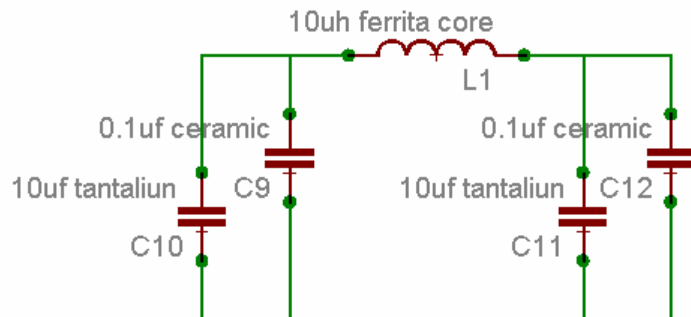


Figura 24. Segmentación y filtrado



Interfase de los puertos del microcontrolador

La interfase de los puertos del microcontrolador tiene como objetivo permitir que el sistema de control se comuniquen y a su vez adquiera información del mundo exterior.

Diseño

Haciendo un estudio de las posibles posiciones de los sensores y actuadores en el robot desde el punto de vista electrónico y de diseño industrial, se concluyó que el diseño de la interfase constaría de tres partes, la primera son los puertos de salida que tiene la tarjeta de control, la segunda es una tarjeta de conectores básica y la tercera una tarjeta de conectores avanzada, estas últimas se ensamblan a la tarjeta de control y se diseñaron como un nuevo modulo, logrando así: una buena distribución de los conectores de acuerdo a su posición en el robot, un enrutado menos complejo en cada una de las tarjetas, una plataforma multipropósito de control y unas dimensiones apropiadas de acuerdo a los requerimientos del sistema.

Interfase tarjeta de control:

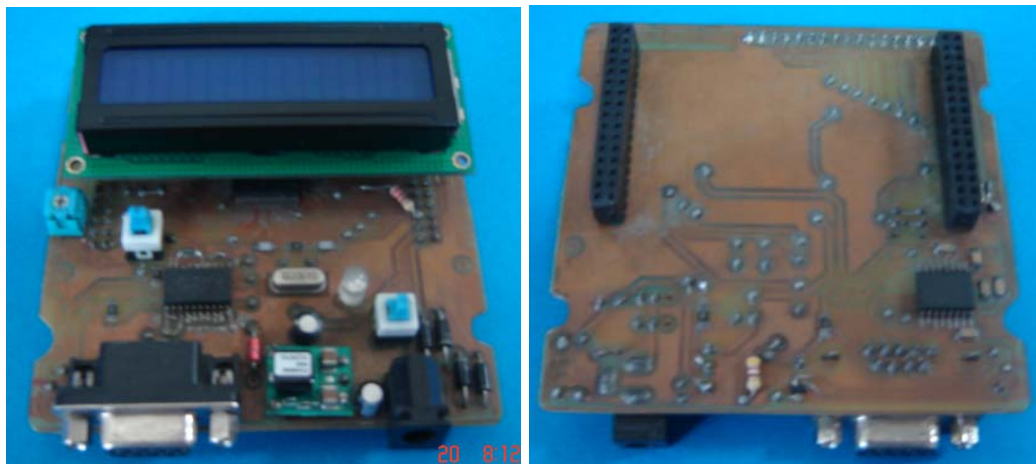
Esta compuesta por todos los puertos salida y entrada que tiene el microcontrolador, y su diseño busca que sea una tarjeta de control multipropósito.

Las características de diseño que se usaron fueron las siguientes

- El tamaño de la tarjeta principal es de 8.5 x 8.2cm
- El microcontrolador se oriento hacia abajo para aprovechar mas espacio en la tarjeta, sectorizar las áreas y dividir los puertos de tal forma que el microcontrolador quedara en la parte superior de la tarjeta.
- Se ubicaron dos conectores centrales para que el usuario pueda acceder a todos los puertos del microcontrolador desde estos
- Se adiciono un conector en la parte superior para la LCD, con el propósito de que le modulo de control tenga integrado un dispositivo de visualización.

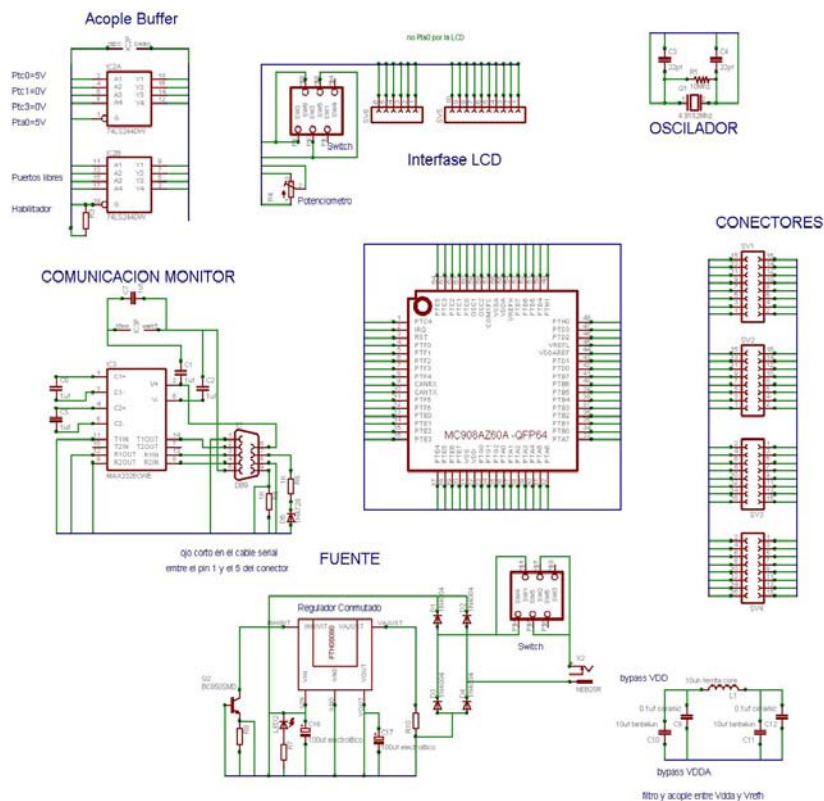
Con base en estos factores se tiene como resultado una interfase distribuida por toda la tarjeta, en la parte superior se ubican los puertos de la LCD PTA1-7, el cual utiliza un conector sencillo tipo hembra de 16 entradas, en la parte central distribuido en dos conectores dobles (16x2) de 32 entradas tipo hembra se encuentran los puertos correspondientes a los sensores y actuadores, y por ultimo en la parte inferior derecha se encuentra un conector serial DB9 hembra para la programación como se muestra en la Figura 25 .

Figura 25. Fotos de la tarjeta cara superior e inferior



Finalmente se hizo la integración entre las tres etapas del diseño, dando como resultado un sistema de control digital multipropósito basado en un microcontrolador MC908AZ60A como se muestra en la figura 26.

Figura 26, Esquema sistema de control



El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hicieron teniendo en cuenta lo parámetros de diseño Electrónico establecidos con anterioridad.

Figura 27. Diseño de circuito impreso tarjeta de control cara superior

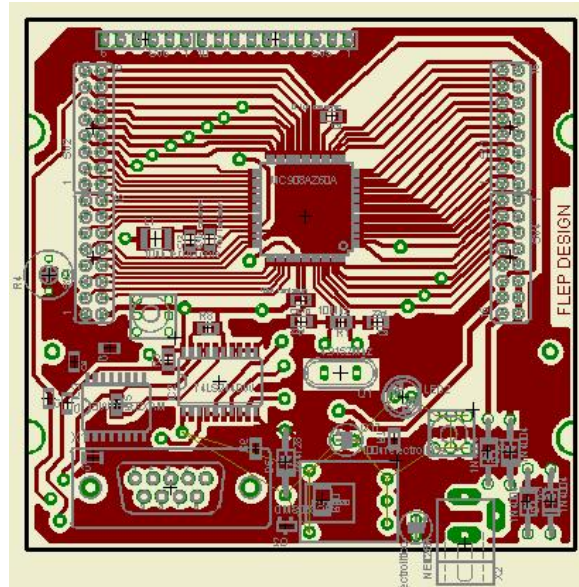
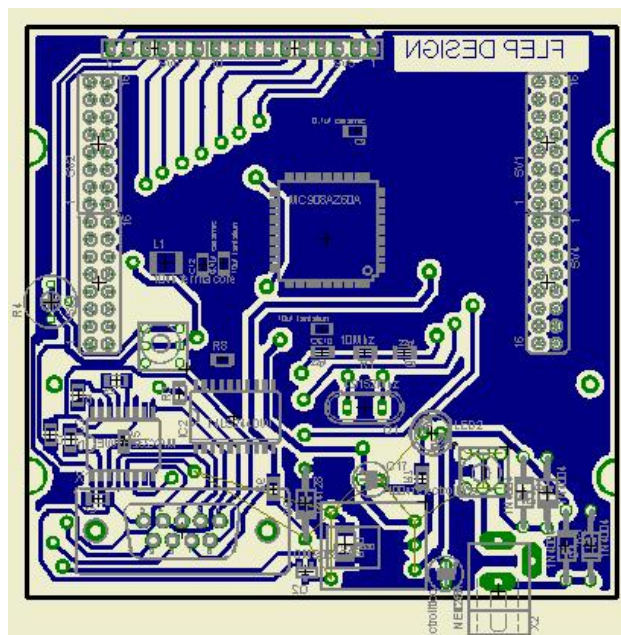


Figura 28. Diseño de circuito impreso tarjeta de control cara inferior



Características generales de implementación final

Después de la construcción de las tarjetas y realizar pruebas eléctricas y funcionales se obtuvieron las siguientes características:

Características del diseño electrónico.

1. Todo el sistema digital funciona con estándar TTL
2. El sistema digital esta diseñado con dispositivos de montaje superficial por tanto tiene una mejor inmunidad al ruido y es menos propenso a que los componentes se despeguen por vibración o movimiento
3. Todos los dispositivos utilizados a 5V tienen una tolerancia de 10% o superior, mientras el regulador conmutado a 5V presenta un error de 0.2%
4. La etapa de comunicación en la tarjeta de control está acoplada al microcontrolador por medio de un buffer 74LS244, el cual se deshabilita cuando pasa a modo aplicación
5. Los dispositivos utilizados tienen la capacidad de funcionar a frecuencias mayores que las requeridas en la tarjeta, para aplicación es de 1.24Mhz y en programación es de 8860 baudios.
6. La tarjeta de control posee diodos de protección en la fuente, los cuales pueden soportar un voltaje de hasta 480V y una corriente de 1A, protegiendo así la fuente del sistema
7. Debido a que se implemento una fuente conmutada en caso de daño la fuente sale de funcionamiento y el sistema digital queda asilado del análogo
8. Las interfases que posee la tarjeta de control se diseñaron con conectores hembra para evitar posibles cortos
9. EL tamaño de la tarjeta de control es de 8.5cm x 8.2cm

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. El circuito analógico y digital fue separado
2. La tierra va alrededor del circuito
3. El espaciamiento entre las señales es de 0.5mm superior al mínimo recomendado tanto por voltaje como por frecuencia.
4. La tarjeta de control posee capacitores de acople en el voltaje de salida 5V VDD del regulador conmutado, en el voltaje de alimentación VDD del Max232 del oscilador, VDDA del microcontrolador y en el voltaje de referencia de los conversores analógico digitales Vrefh del microcontrolador, este a su vez esta separado electromagnéticamente del voltaje de alimentación por medio de una inductancia.
5. Los capacitores se ubicaron lo mas cerca posible al los puertos que lo requerían.
6. Los ángulos de los caminos son de 45° o múltiplos de este para las señales.
7. Los caminos de tierras son mas anchos que las señales
8. Se uso planos de tierra para las dos caras de la tarjeta y las tierras están conectadas entre si
9. Los integrados se orientaron hacia un solo lugar.
10. El diseño de los caminos de las señales tiene un ancho de 0.4mm y pueden manejar una corriente máxima 0.25 A y un voltaje máximo de 15V.
11. El diseño de los caminos de la etapa de potencia tienen un ancho de 0.6mm y pueden manejar una corriente máxima 4A y un voltaje máximo de 80V.

Características de Uso:

1. El conector de programación y alimentación del módulo de control están ubicados en el mismo lado y en la misma posición para que sea mas fácil de ubicar para el usuario.
2. El modulo de control es una plataforma de control multipropósito, ya que tiene los recursos suficientes para controlar procesos que necesiten conversores A/D, PWM, Timers, interrupciones, Comunicación SPI, SCI, CAN, y 50 puertos de entrada o salida.
3. El modo de programación y aplicación es transparente para el usuario, ya que con la simple conexión y desconexión del cable serial se cambia de modo.
4. El microcontrolador permite un mínimo de 10000 ciclos de grabado en la memoria Eeprom.
5. El módulo de control posee una LCD integrada a el, dándole la posibilidad de visualizar variables o partes de un proceso sin tener que adicionar o hacer un cableado de mas dispositivos.

Características de Mantenimiento

1. Si existe un daño en el sistema de control, este esta dividido en tres etapas bien caracterizadas lo que permite encontrar el daño sin tener que desoldar componentes.
2. El usuario generalmente no tiene acceso a los componentes electrónicos del sistema de control por lo tanto este será menos propenso a cortos o fallas por mal uso o malas condiciones del medio
3. Los componentes de montaje superficial son menos propensos a fallos de soldadura y son mas inmunes al ruido

3.3.2. Módulos de Conectores

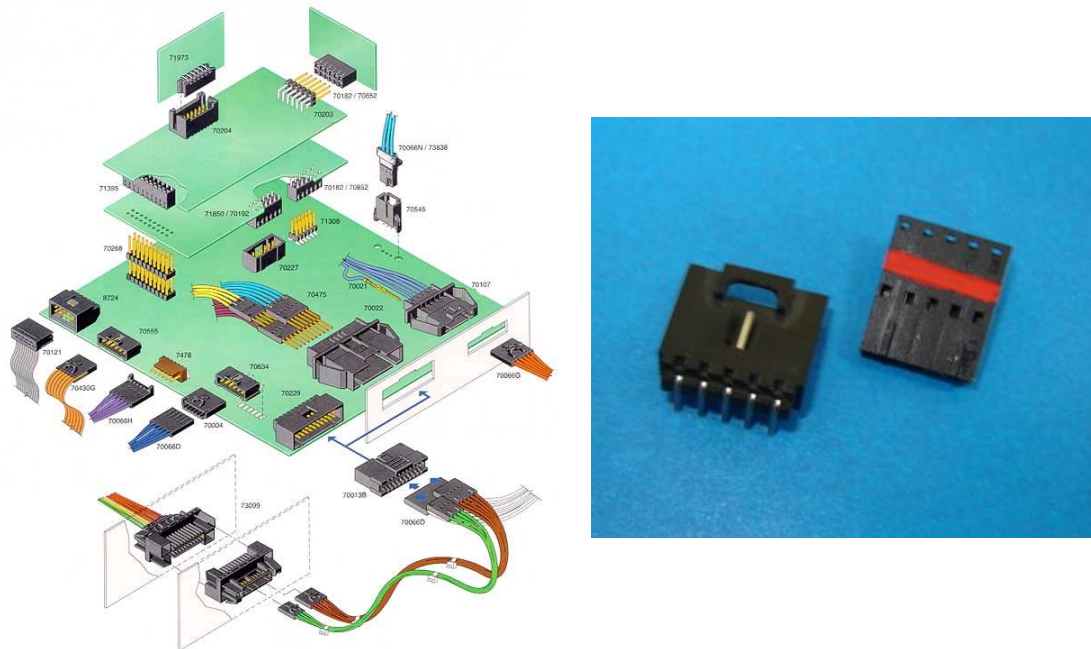
Los módulos de conectores son la interfaz entre el módulo de control y cada uno de los otros módulos que conforman el Sistema Robótico Modular. De acuerdo a las aplicaciones que se pueden configurar, se diseñaron dos módulos de conectores: básico y avanzado. El modulo básico viene implementado para realizar las aplicaciones mencionadas en los requerimientos generales de forma individual sin llegar a configuraciones complejas. El modulo avanzado tiene la posibilidad de múltiples aplicaciones simultaneas y su grado de complejidad dependerá del grado de experiencia del usuario.

Los dos módulos de conectores deben garantizar que solo haya una posición posible para conectar el módulo de control.

La selección de los conectores utilizados para los módulos se hizo teniendo en cuenta dos parámetros a saber: que solo tuvieran una (1) forma de conectar, y que existieran de la cantidad de líneas requeridas (3, 4, 5, 6, 7, y 10). En la figura 29 se puede apreciar el conector seleccionado.

Para indicar la conexión de cada uno de los módulos con su respectivo conector se empleó un lenguaje gráfico, en el cual a cada módulo se le asignaba un color diferente que aparecía también en el conector hembra y el conector macho respectivo.

Figura 29. Algunos conectores disponibles en el mercado (Izquierda).
Conector utilizado en los módulos de conectores (Derecha)



La asignación de los colores para cada módulo está representada en la figura 30 y se basó en la siguiente justificación:

- El color verde, así como es utilizado en máquinas y semáforos, autoriza, permite o da comienzo al movimiento, similar a la función que tienen los sensores en el Sistema Robótico Modular. Pero como son nueve módulos sensores, y se necesita que haya una buena diferenciación entre cada color, entonces se escogió una amplia gama que llega hasta los extremos del amarillo y el azul.
- Los actuadores son módulos que cumplen una función opuesta a la de los sensores, y por esto se escogió para estos módulos una gama de colores complementarios: tonos rojos.

- De los colores en el círculo cromático que quedaban disponibles y que se pudiera diferenciar fácilmente entre los colores escogidos para los sensores y los actuadores, se eligió el violeta para el módulo de comunicación.
- El negro por ser el color más común en los adaptadores de voltaje (una de las formas de alimentación del sistema) fue asignado al módulo de alimentación, a las baterías.
- El color blanco fue asignado a los módulos que son comunes para cualquier aplicación y no tienen cables.
- El módulo avanzado de conectores tiene disponibles tres salidas de propósito general y para estos conectores se asignó el color gris.

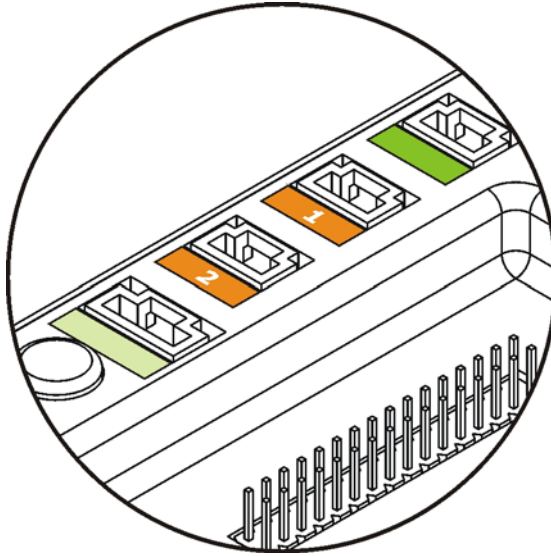
Figura 30. Color asignado a cada módulo con su respectivo valor CMYK.



Para cuestiones de programación no era suficiente con esta identificación de los conectores, ya que en aplicaciones avanzadas hay casos en los que se utilizan más de un módulo igual (Por ejemplo, dos infrarrojos, dos ultrasonidos, cuatro contactores, etc.) es por esto que los conectores que se

repiten para un módulo del mismo tipo, además del color respectivo, tienen impreso un número que facilita así la tarea de programación. Ver figura 31.

Figura 31. Numeración para conectores repetidos.



Módulo de Conectores Básico. Tiene habilitados doce conectores en los cuales se pueden conectar los siguientes módulos:

Conector (3 líneas):	Sensor de distancia por ultrasonido.
2 Conectores (3 líneas):	Servo-motor de manipulador (1, 2)
Conector (3 líneas):	Sensor de distancia por infrarrojo
Conector (5 líneas):	Módulo rastreador de luz
Conector (7 líneas):	Módulo seguidor de línea
Conector (10 líneas):	Módulo de comunicación inalámbrica
Conector (6 líneas):	Módulo de motores
Conector (3 líneas) ¹ :	Sensor detector de objetos por infrarrojo 1 o Sensor de contacto
Conector (3 líneas):	Sensor detector de objetos por infrarrojo 2

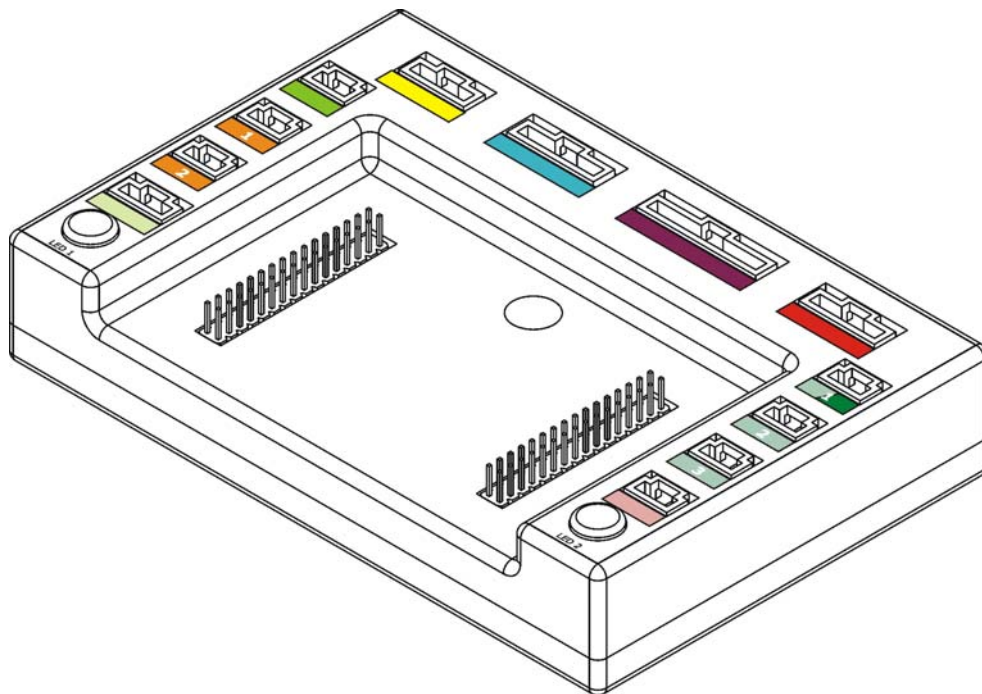
¹ En este conector es posible conectar cualquiera de los dos módulos indicados.

Conector (3 líneas): Sensor detector de objetos por infrarrojo 3

Conector (3 líneas): Sensor detector de objetos por infrarrojo 4

Además tiene dos LED's (LED1 Y LED2) cada uno de dos colores: rojo y verde.

Figura 32. Vista isométrica del Módulo de Conectores Básico.



Módulo de Conectores Avanzado. Tiene habilitados veinticinco conectores en los cuales se pueden conectar los siguientes módulos:

Conector (5 líneas): Módulo rastreador de luz

Conector (7 líneas): Módulo seguidor de línea

Conector (10 líneas): Módulo de comunicación inalámbrica

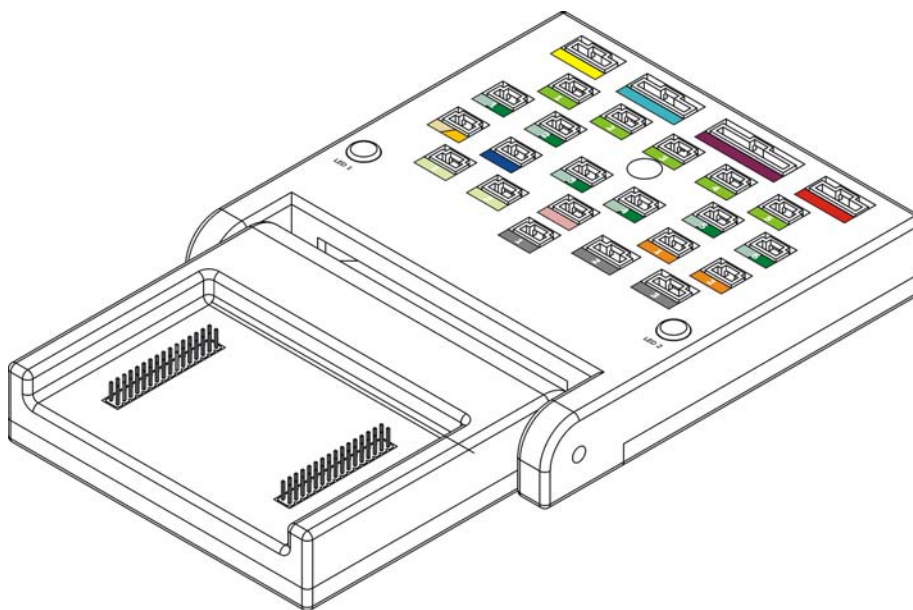
Conector (6 líneas): Módulo de motores

5 Conectores (3 líneas): Sensor de distancia por infrarrojo (1, 2, 3, 4, 5)

- 6 Conectores (3 líneas)¹: Sensor detector de objetos por infrarrojo o Sensor de contacto (1, 2, 3, 4, 5, 6)
- Conector (3 líneas)¹: Módulo detector de sonido o Sensor de temperatura
- Conector (3 líneas): Sensor de encoder
- Conector (3 líneas): Módulo zumbador
- 2 Conectores (3 líneas): Servo-motor de manipulador (1, 2)
- 2 Conectores (3 líneas): Sensor de distancia por ultrasonido (1, 2)
- Conector (3 líneas): Salida de propósito general
- Conector (4 líneas): Comunicación CAN
- Conector (4 líneas): Comunicación SPI

De igual manera que el módulo de conectores básico, este módulo también tiene dos LED's (LED1 Y LED2) cada uno de dos colores: rojo y verde.

Figura 33. Vista isométrica del Módulo de Conectores Avanzado.



¹ En este conector es posible conectar cualquiera de los dos módulos indicados.

Los modelos para comprobar el funcionamiento de los Módulos de Conectores fueron fabricados en balsa y acrílico y se muestran en la figura 34.

Figura 34. Modelos para comprobación de los Módulos de Conectores *Básico* (izquierda) y *Avanzado* (derecha).



Diseño Electrónico

El módulo de conectores es el encargado de hacer la interfaz entre el subsistema de control y los subsistemas de sensores, actuadores y visualización.

Requerimientos

- Las tarjetas no deben tener un tamaño superior a 130cm x 100cm
- Se diseñaran dos interfases, una para aplicaciones básicas las cuales contara con doce conectores y una avanzada que contara con 25 conectores El tipo de conectores usado debe permitir un ensamble de una sola forma
- Los conectores deben tener una distribución ordenada.
- Los conectores deben ser de fácil conexión y extracción, además cuando se conecten deben quedar asegurados

- La altura debe ser superior a 1cm

Elaboración y selección de alternativas:

Debido a la gran importancia que tienen los conectores en este proyecto, ya que son elementos con los que el usuario va a interactuar directamente.

Para hacer una selección de alternativas hay que tener en cuenta dos tipos de conexiones diferentes

1. Conexión entre la tarjeta de control y la tarjeta de conectores se seleccionaron conectores estándar dobles tipo hembra y macho 16x2, también se usaron conectores de presión para cable ribbon entre las tarjetas de conectores avanzada y la tarjeta de acople.
2. Conexión entre los módulos y las tarjetas de conectores: para la conexión que va entre el modulo y el cable se seleccionaron conectores tipo Crimp de 2 mm fabricado por JST, de diferentes numero de conectores de acuerdo a la tabla 10, y para la conexión entre el cable y las tarjetas de conectores se usaron de tipo Terminal box/crimp fabricados por molex corporated

El otro tipo de conectores elegido fueron los Molex estándar, pero fueron descartados por la dificultad que presenta la extracción, y por que los conectores seleccionados son más altos.

Diseño y construcción

Interfaz tarjeta de conectores básico:

Esta tarjeta consta de doce conectores para los diferentes tipos de dispositivos que fueron seleccionados para que el usuario configure y programe al robot en aplicaciones básicas.

La distribución de los puertos y el tipo de dispositivo se encuentran en la tabla 10, y la distribución de los conectores en la tarjeta fue diseñada pensando tanto en la distribución electrónica, como en la distribución espacial y el diseño del modulo completo.

Tabla 10. Distribución de puertos para tarjeta de conectores básica.

Tipo	Puertos para un dispositivo				Asignación de Puertos	
Dispositivo	Fuente	Control	total	tipo	Cantidad	MC908AZ60A
Sensores						
fototransductores						
Infrarrojo distancia	2	1	3	AD	1	PTB 3-7
Rastreador de Luz	2	3	5	AD/D	1	PTD 4-6
Infrarrojo objetos	2	1	3	D	4	PTC 0-5
Seguidor línea	2	5	7	AD	1	PTD 2-6
Sonido						
Ultrasonido	2	1	3	TIM	1	PTF4-5
Contacto						
Contactor	2	1	3	D	1	PTC 0-4
Actuadores						
Locomoción						
Servomotor 360°	2	2	4	D	2	PTF 0-3
Manipulación						
Servomotor	2	1	3	TIM	2	PTE 2-3
Visualización						
Visualización						
Leds	1	2	3	D	2	PTF6 PTD7 PTH 0-1
LCD	2	8	10	D	1	PTA1-PTA7
Comunicación						
Comunicación						
Receiver	2	8	10	D	1	PTE4-7 PTG0-2 PTA0

Interfaz tarjeta de conectores avanzado

Le permite al usuario configurar y programar al robot en aplicaciones avanzadas que requieran al mismo tiempo hasta veinticinco conectores para manejar sensores, actuadores y dispositivos de comunicación y visualización. Debido a la cantidad de conectores en esta tarjeta su tamaño hizo que fuera

necesario diseñar otra tarjeta que sirva para acoplar esta a la tarjeta de control. La distribución de los puertos y el tipo de dispositivo se encuentran en la tabla 11.

Tabla 11. Distribución de puertos para tarjeta de conectores avanzada.

Tipo Dispositivo	Puertos para un dispositivo				Asignación de Puertos	
	Fuente	control	total	tipo	Cantidad	Puertos mc908az60a
Sensores						
fototransductores						
Infrarrojo distancia	2	1	3	AD	5	PTB 5-7 PTD 0-1
Rastreador de Luz	2	3	5	AD/D	1	PTB 0-2
Infrarrojo objetos	2	1	3	D	6	PTC 0-5
Encoder	2	1	3	AD	1	PTD 3
Seguidor línea	2	5	7	AD	1	PTB 0-4
Sonido						
Micrófono	2	1	3	AD/D	1	PTD 0
Ultrasonido	2	1	3	TIM	3	PTF4-5
Temperatura						
Temperatura	2	1	3	AD	1	PTD0
Contacto						
Contactador	2	1	3	D	5	PTC 0-4
Actuadores						
Locomoción						
Servomotor 360°	2	2	4	D	2	PTF 0-3
Manipulación						
Servomotor	2	1	3	TIM	2	PTE 2-3
Visualización						
Visualización						
Leds	1	2	3	D	2	PTF6 PTD7 PTH 0-1
LCD	2	8	10	D	1	PTA1-PTA7
Comunicación						
Comunicación						
Receiver	2	8	10	D	1	PTE4-7 PTG0-2 PTA0
SCI	0	2	2	D	1	PTE 0-1
CAN	0	2	2	D	1	CANRx CANTx
Puerto propósito general						
PG	2	1	3	A/D	1	PTD5

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hicieron teniendo en cuenta lo parámetros de diseño electrónico establecidos con anterioridad.

Figura 35. Diseño de Circuito impreso tarjeta de conectores básica cara superior.

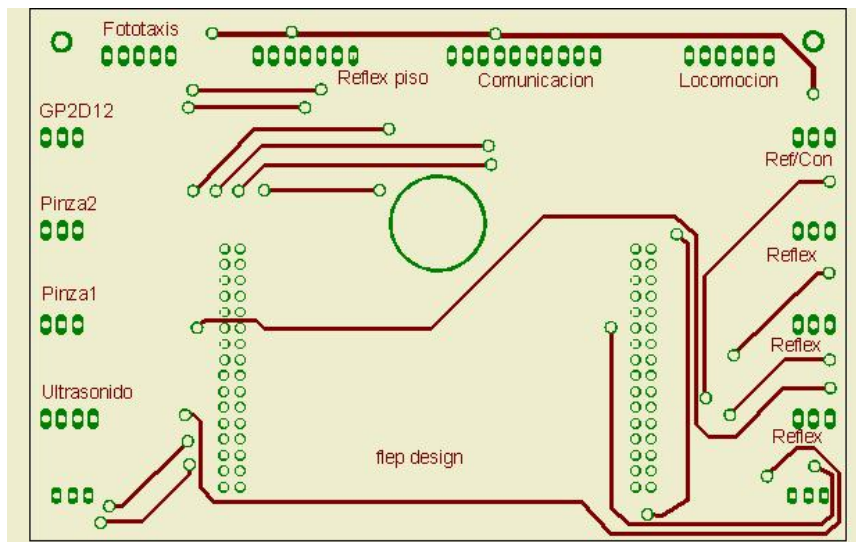


Figura 36. Diseño de Circuito impreso tarjeta de conectores básica cara inferior

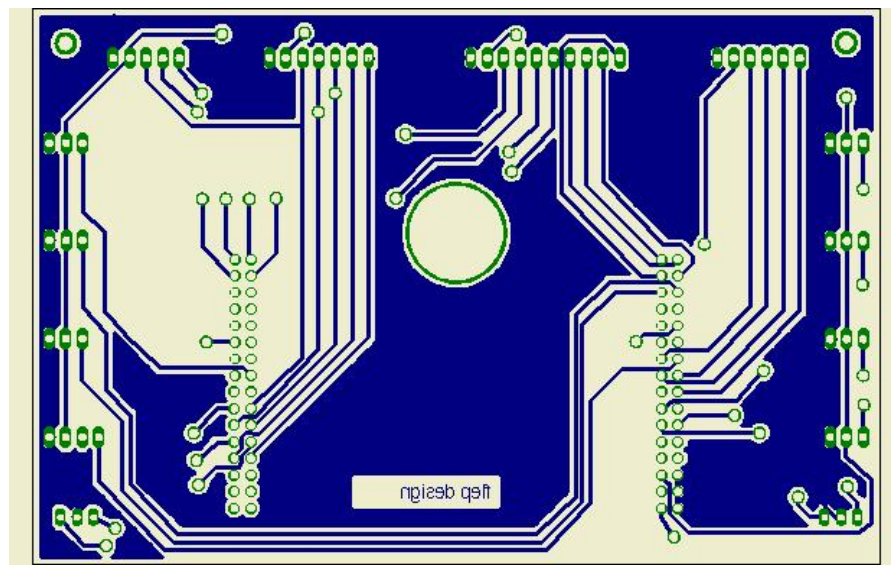


Figura 37. Diseño de Circuito impreso tarjeta de conectores Avanzada cara superior

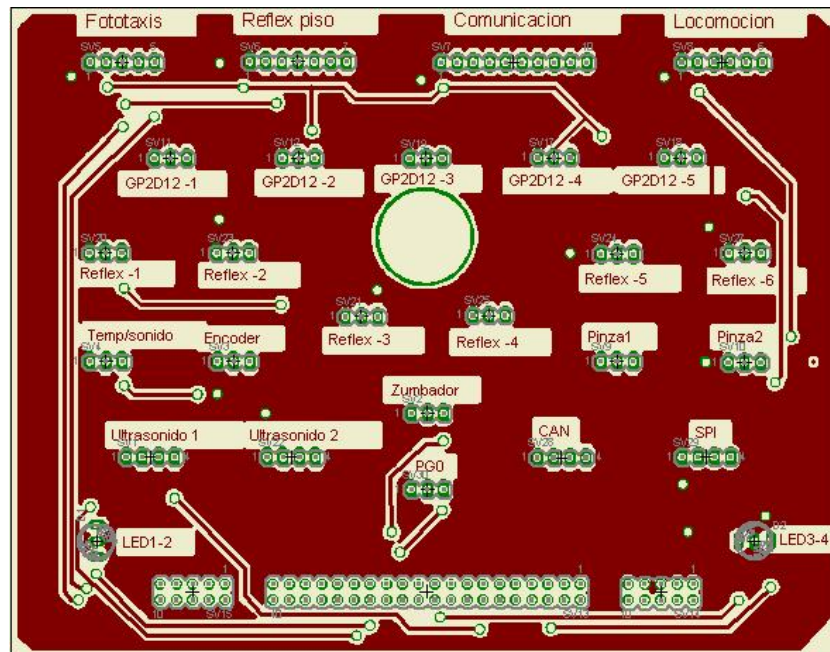


Figura 38 Diseño de Circuito impreso tarjeta de conectores Avanzada cara inferior

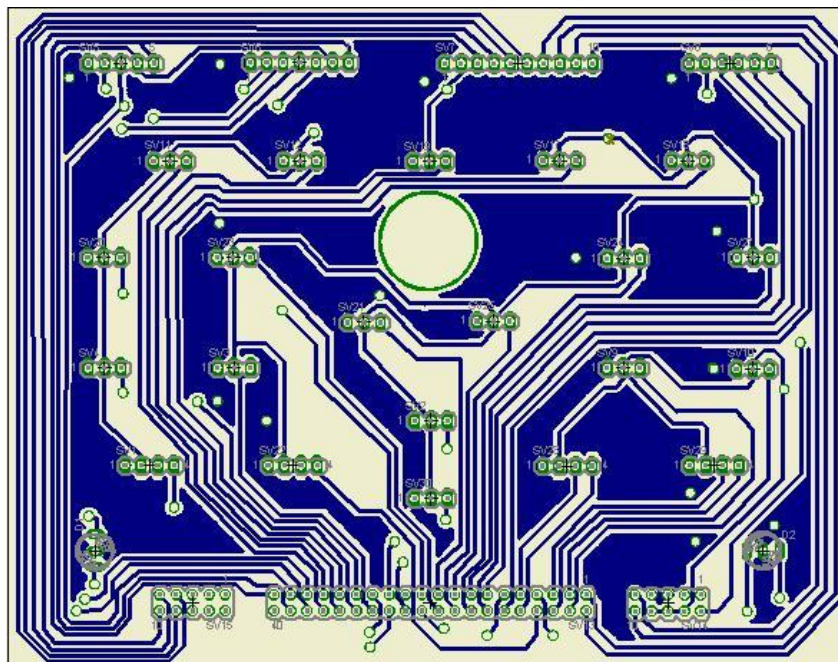
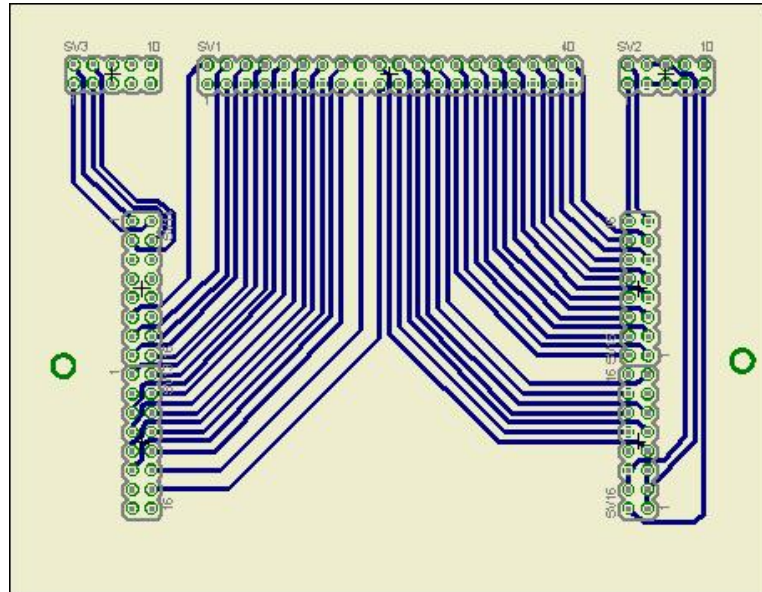


Figura 39. Diseño de Circuito impreso tarjeta de acople cara inferior



Características generales de implementación final

Después de ensamblar los respectivos medios de visualización a las tarjetas de control y de conectores se realizaron pruebas eléctricas y de funcionamiento, de las cuales se obtuvieron las siguientes características

Características del diseño electrónico.

1. Las dimensiones de las tarjetas de conectores básico y avanzado es de 13cm x 8.5cm cada una, y la tarjeta de acoplamiento avanzada es de 10cm x 7.5cm
2. Se usaron dos leds de dos estados como parte del sistema de visualización y estos están soldados a las tarjetas.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. El diseño de los caminos de las señales tiene un ancho de 0.4mm y pueden manejar una corriente máxima 0.25 A y un voltaje máximo de 15V.

2. Los ángulos de los caminos son de 45° o múltiplos de este para las señales.
3. Se usaron planos de tierra para las caras inferiores de las tarjetas

Características de uso

1. Los conectores utilizados se conectan de una sola forma, eso quiere decir que el usuario no puede conectar mal algún dispositivo, esto evita futuros cortos o daños electrónicos en las tarjetas.
2. Los conectores tienen un dispositivo de acople para que una vez sea conectado no pueda salir sin hacer presión.
3. La forma de la tarjeta de conectores le permite al usuario una conexión fácil y de acuerdo al tipo de sensor y su ubicación
4. Las tarjetas tienen integrados leds como sistema de visualización.

Características del mantenimiento.

1. Los fallos en la tarjeta son detectables de forma rápida por que se puede identificar si el daño esta en el modulo que no este respondiendo o en la tarjeta de conectores
2. Los fallos mas frecuentes que puede tener están en las soldaduras debido a la constante manipulación de los conectores.
3. Las pruebas de daños en la tarjeta se limitan a pruebas de continuidad eléctrica.

3.4. SUBSISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Es el encargado de suministrar las condiciones eléctricas necesarias para el correcto funcionamiento del móvil.

Requerimientos

- Voltaje regulado entre 4.5V y 5V
- Soportar toda la corriente demandada por el sistema
- Capacidad para 10 baterías AA recargables.
- Utilizar contenedores comerciales para el montaje de las baterías.
- Considerar la posibilidad de conexión para un adaptador DC.
- Notoria ubicación y orientación de las baterías.
- Alta eficiencia
- No debe requerir una polaridad específica del voltaje de alimentación.

Dadas las características de la estructura donde se debe ubicar el módulo de baterías y a la orientación vertical que éstas deben tener para reducir el área de la base de las mismas, se ubicaron en la manera más compacta posible (tendiendo su volumen virtual hacia un cubo) pero que quedaran de tal forma que fuera fácil el acceso a las baterías para su intercambio.

En la cara exterior de este módulo se dejó, al igual que en la *estructura principal*, una serie de agujeros roscados que hiciera posible el montaje de cualquiera de los demás módulos del sistema. Ver figura 40.

Fueron utilizados cinco portapilas dobles de polipropileno con pines para montaje en bakelita lo cual facilita su instalación en el circuito impreso, además estas piezas traen en relieve una señalización clara que indica la forma correcta de instalar las baterías. Ver figura 41.

Figura 40. Módulo de baterías y su ubicación en la estructura.

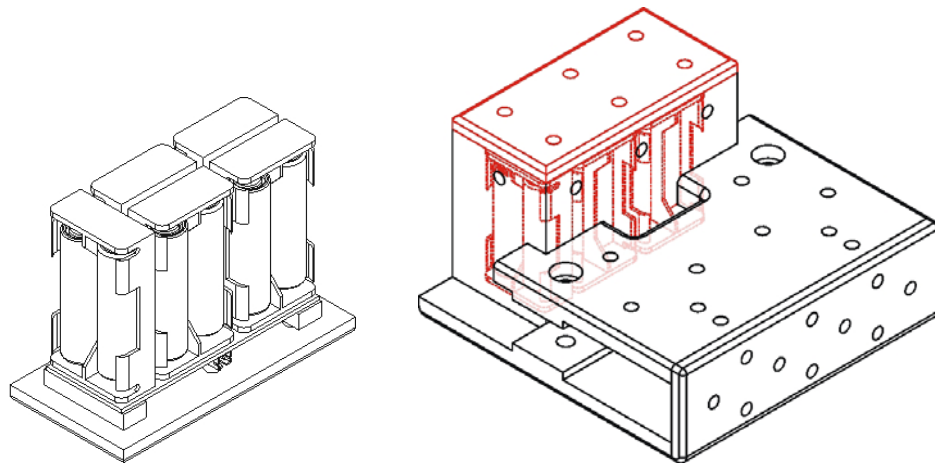
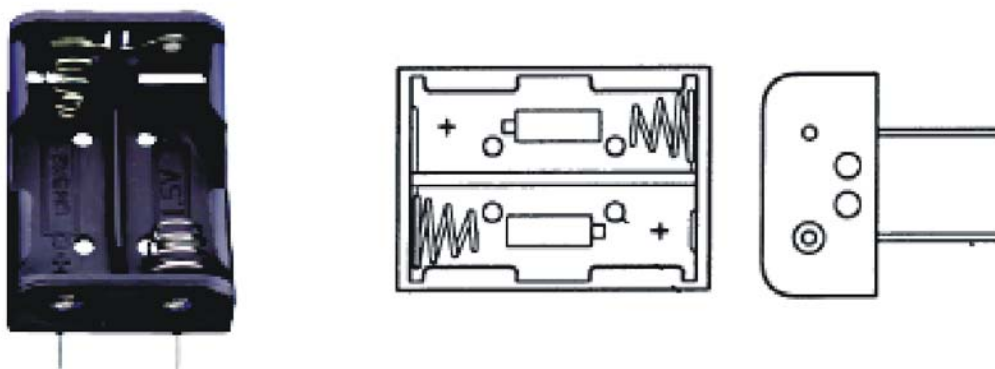


Figura 41. Portapilas utilizado en el módulo de baterías.



Diseño electrónico

Elaboración y selección de alternativas

Con base en la investigación realizada se tenían dos alternativas para implementar la etapa de regulación del sistema de alimentación del móvil, la primera consistía en utilizar reguladores lineales y la segunda en utilizar reguladores de naturaleza conmutada.

Tabla 12. Cuadro comparativo de las dos alternativas de reguladores.

LINEALES	CONMUTADOS
Operan con corriente continua a la entrada: V_{CC} . Es decir son conversores DC-DC	Operan con corriente continua a la entrada: V_{CC} . Es decir son conversores DC-DC
Equivalen a una resistencia con valor de ajuste automático.	Es un conmutador que permite el paso de corriente a la carga cuando ella lo necesita.
La potencia que no necesita la carga es convertida en calor, por el regulador.	La pérdida de potencia es mínima ya que la carga no esta conectada continuamente a la fuente de alimentación.
Bajo Rendimiento	Alto Rendimiento

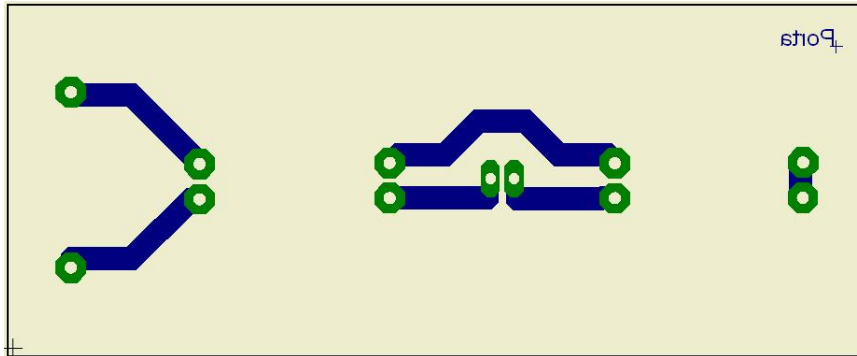
Después de analizar las características de cada tipo de regulador se decidió utilizar el de naturaleza conmutada, debido a su alta eficiencia y el no calentamiento presente en los reguladores lineales.

El regulador implementado para suministrar la tensión de 5V fue el PTH08080W, el cual fue escogido en la sección 3.3.1. Modulo de Control.

Diseño electrónico e implementación

El modelo preliminar para comprobar el funcionamiento del regulador conmutado PTH08080W no requiere implementación en circuito impreso, ya que estos poseen internamente todos los elementos necesarios para funcionar correctamente, solo es necesario seleccionar el valor de la resistencia usada para el ajuste del voltaje de salida del regulador.

Figura 42. Circuito impreso diseñado para el módulo de baterías.



Características eléctricas de las baterías

Debido a que este móvil tiene la capacidad de desplazarse autónomamente debe poseer una fuente de energía DC que no necesite estar conectada directamente a la toma de corriente alterna.

Para esto se tiene como posibles fuentes de energía las baterías, que para esta aplicación se requiere que sean recargables, ya que son más económicas a largo plazo que las baterías comunes y proporcionan niveles de corriente mayor que los obtenidos con estas últimas.

Entre las baterías recargables tenidas en cuenta para alimentar el móvil se tienen (Ver tabla 13):

- Níquel-Cadmio (Ni-Cd)
- Níquel-Metal-hidruro (Ni-MH)

Luego de comparar las características de las baterías (Ni-MH) y (Ni-Cd) se decidió utilizar como fuente de energía para el móvil las baterías de (Ni-MH), específicamente Gold Peak 2300 que presenta las siguientes características:

- 2250 mAh
- 1.2V
- Tiempo de carga: depende del tipo de cargador
- Corriente de carga: 220mA

Hay que tener en cuenta que estas baterías son reciclables, comparadas con las de Ion-litio y Ni-Cd

Tabla 13. Cuadro comparativo de las dos alternativas de baterías.

Parámetro	Níquel-Cadmio (Ni-Cd)	I-Metalhidruro (Ni-MH)
Costo	Mas baratas	Su costo es mayor
Densidad de energía	Menor	Mayor que las de Ni-Cd por lo que a igual capacidad pesan menos y tienen menos volumen.
Nivel de contaminación	El cadmio principal constituyente de estas baterías es un metal con características Tóxicas.	No son contaminantes
Recarga	No se pueden cargar varias veces al día	Se pueden cargar varias veces al día Tienen posibilidad de cargarse a altas tasas de amperaje. Muy propensas a las sobrecargas
Efecto de memoria	Tienen efecto memoria	Su efecto memoria es despreciable
Tiempo de carga	Menor	Necesita más tiempo de carga que una de Ni-Cd
Tensión entregada	Menor	Mayor que la proporcionada por las de Ni-Cd
Corriente entregada	Menor que la proporcionada por las de (Ni-MH)	Mayor
Autodescarga	Alta descarga debido a su pequeña resistencia interna	No ofertan una tasa de descarga tan grande como Ni-Cd
Vida útil	Mayor que las de (Ni-MH)	Menor

Características generales de implementación final

Se optó por implementar en la tarjeta de control la etapa de regulación y protección contra inversión de polaridad del voltaje de alimentación. Las diez baterías AA recargables se conectaron en serie y hacen parte del módulo que lleva su nombre.

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de entrada 9V a 18VDC.
2. Tensión de salida 4.98VDC
3. La corriente requerida es aproximadamente de 1A usando al mismo tiempo subsistemas de locomoción, manipulación, y sensores.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

La información relacionada con el diseño y las características de la tarjeta de circuito impreso donde se encuentra la etapa de regulación y protección contra tensiones inversas de alimentación se encuentra en la sección 3.3.1. Módulo de Control.

1. Tamaño 3.0cm.x.7.2cm
2. Conector S2B-PH hecho por la compañía JST LTD, usado para comunicar la tarjeta con el conector plug macho, el cual se inserta en la tarjeta de control.
3. Pistas del circuito impreso anchas para soportar la corriente proporcionada por las baterías.

Características de uso

1. Utilizar baterías de la misma especificación para alimentar el sistema.
2. Conectar el módulo de baterías con la tarjeta de control cuando se quiere poner a prueba el móvil o en su defecto con el adaptador.
3. Cerciorarse de la correcta ubicación de las baterías en el módulo.
4. Si se usa un adaptador AC-DC debe suministrar una tensión entre 9V a 18VDC, y una corriente de 1 amperio.

Características de Mantenimiento

1. Si se observa un mal funcionamiento del robot verificar que se cumplan los requerimientos del modulo de baterías, o del adaptador.
2. Revisar periódicamente el estado de los cables y conectores que comunican el módulo de baterías con la tarjeta de

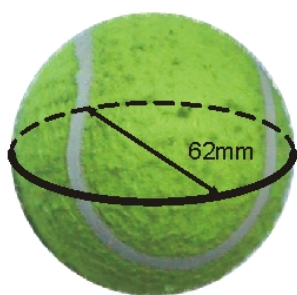
3.5. SUBSISTEMA DE MANIPULACIÓN

Es el encargado de darle al robot la capacidad de recoger y transportar elementos ubicados en el piso. El diseño de este subsistema está enfocado a la manipulación de pelotas de tenis y latas vacías de bebidas ya que son los elementos más usados actualmente en las competencias de robótica a nivel nacional; en la Figura 43 se muestran las características y dimensiones generales de estos elementos.

Requerimientos

- Debe tener la posibilidad de manipular una bola de tenis o una lata de bebidas de 296 ml vacía, y transportar hasta dos elementos de éstos.
- El dispositivo debe tener elementos sensoriales para determinar cuando ahí un objeto a recoger y cuando se ha sujetado firmemente.
- Se debe implementar un medio de manipulación que requiera la menor cantidad de motores y componentes para que este sea lo más liviano posible.

Figura 43. Características generales de los elementos a manipular.



Pelota de Tenis. Diámetro: 62 mm. Peso: 60 gramos. Superficie de caucho recubierta por un textil rugoso



Lata de bebidas. Altura: 107.5 mm. Diámetro: 66 mm. Peso 15 gramos. Superficie metálica lisa.

Este subsistema está dividido principalmente en dos partes: el *manipulador*, que es el mecanismo que toma el elemento a cargar desde el piso y lo lleva hasta el *receptáculo de carga*, el cual brinda un espacio en el móvil donde se va a ubicar dicho elemento hasta el momento de su descarga.

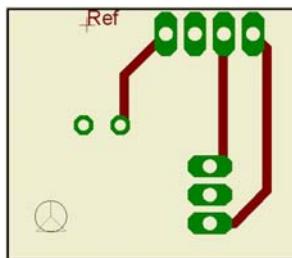
Para la intención que se tiene con este subsistema, es suficiente el diseño de un manipulador con dos grados de libertad, dividido así en dos partes: brazo y pinza.

Diseño electrónico.

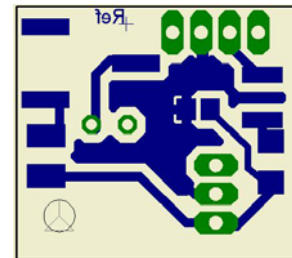
Para la detección de los objetos que son recogidos por la pinza se implemento un sensor infrarrojo en configuración tipo reflex. Ver anexo C. Este circuito le avisa el sistema de control cuando un objeto se encuentra en la zona de manipulación de la pinza.

La selección del sensor, el manejo y cuidados de este se explican en la sección 3.7.5. Módulo sensor detector de objetos por infrarrojo. Solo se mostrara la implementación en circuito impreso para que este sistema pudiera ser utilizado en la pinza. El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta los parámetros de diseño electrónico.

Figura 44. Enrutado sistema detector de objetos por infrarrojos para la pinza.



a) Cara superior.



b) Cara inferior.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 20x20x20mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S3B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9403 hecho por la compañía Molex.

Selección de actuadores

El subsistema de manipulación exige que los actuadores utilizados presenten características de torque, velocidad y la posibilidad de que estos puedan ser enclavados, es decir que se les pueda posicionar en un punto de su recorrido.

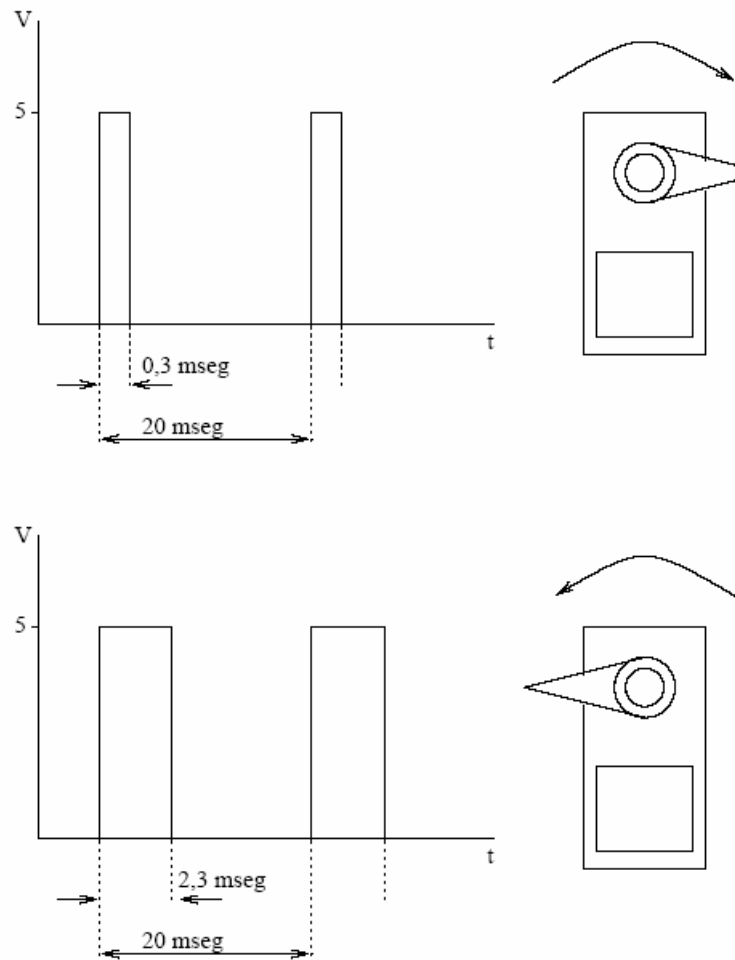
Se tiene como alternativa de actuadores los motores DC, los motores de paso y los servomotores, los motores DC fueron descartados ya que el torque que ellos ofrecen es insuficiente para aplicaciones de esta naturaleza, además no se pueden posicionar de una forma sencilla; los motores de paso aunque ofrecen la posibilidad del posicionamiento, requieren varias líneas de control dependiendo del número de bobinas internas que estos posean, la mejor opción es el uso de los servomotores, específicamente el actuador elegido fue el servomotor HITEC HS-322HD el cual ofrece un torque y velocidad apropiados para esta aplicación. Para ver las características de este servomotor, remitirse a la sección 3.6.Subsistema de locomoción.

Descripción de funcionamiento de los servomotores

Los servomotores se componen de un motor DC, un amplificador, una reducción por engranajes y una circuitería electrónica interna todo integrado dentro de una pequeña carcasa, tienen la capacidad de ubicarse de una manera rápida en una posición dentro de su rango de operación que para el servo seleccionado es de 210°, se recibe una señal de control consistente en un tren de pulsos donde la duración de cada pulso indica el ángulo de giro

del motor. Cada servo tiene sus márgenes de operación, que corresponden con el ancho del pulso máximo y mínimo a los que el servo responde. Estos valores corresponden a 0.3ms y 2.3 ms que sitúan al motor en ambos extremos. El valor 1,3 ms indica la posición central, mientras que otros valores del pulso lo sitúan en posiciones intermedias. Ver figura 45.

Figura 45. Formas de onda utilizadas para el control de servomotores



El tiempo de separación entre pulso y pulso no es crítico, e incluso puede ser distinto entre uno y otro pulso; en nuestro caso se mantuvo un tiempo constante de 20ms entre la emisión de cada pulso, se debe tener en cuenta

que si esta separación es inferior a un valor mínimo especificado en las hojas de datos, puede interferir con la temporización interna del servo, causando un zumbido, y la vibración del brazo de salida. Si es mayor a un valor máximo, entonces el servo pasará a estado dormido, entre pulsos, lo cual provoca que se mueva con intervalos pequeños. Si se quiere que el servomotor mantenga su posición se debe enviar continuamente el pulso correspondiente. De esta forma, si existe alguna fuerza que le obligue a abandonar esta posición, intentará resistirse. Si se deja de enviar pulsos (o el intervalo entre pulsos es mayor del máximo) entonces el servo perderá fuerza y no se opondrá a perder su posición, de modo que cualquier fuerza externa podría desplazarlo.

Luego de realizar algunas pruebas se observó que se debía aumentar el torque del servomotor ubicado en el brazo del manipulador ya que no tenía la capacidad de levantar objetos con un peso mayor a 60 gramos, se optó por elevar la tensión de alimentación del servo a 7.9 V para lo cual se implementó una etapa de regulación ya que el voltaje era el proporcionado por el módulo de baterías. El servomotor ubicado en la pinza del manipulador se continuó alimentando con la tensión de 5V ya que presento un correcto funcionamiento.

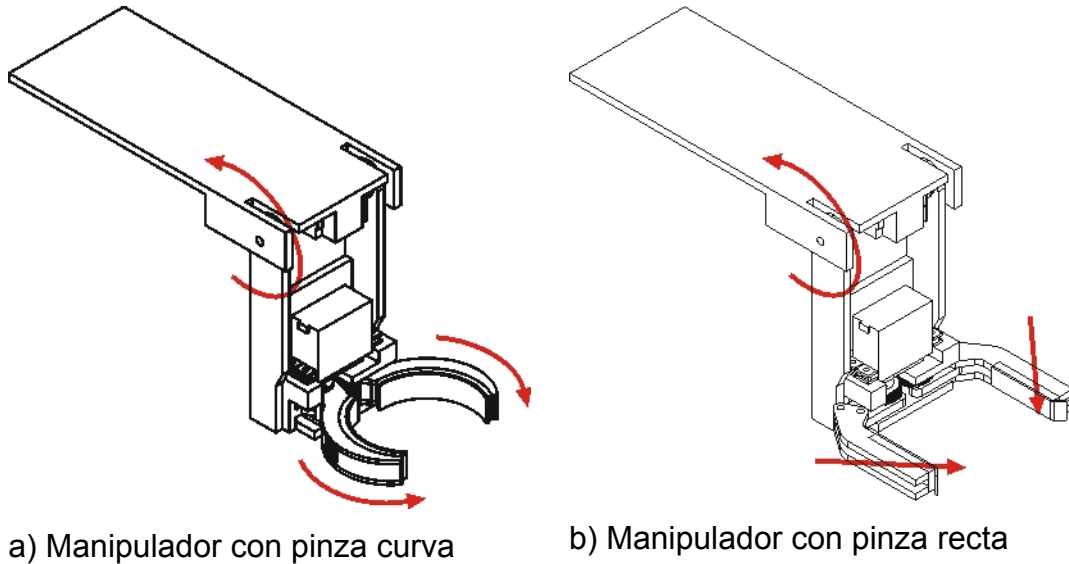
Una vez superado el problema de los servomotores fue necesario enviar una señal que indique si la pinza ya tiene o no sujetado un objeto, para esto se implementó un sensor de contacto mediante un bumper ubicado en la misma pinza el cual cambia de estado al ejercerse una fuerza sobre él¹.

¹ Remitirse a la Sección 3.7.3 al subsistema de sensores de contacto para comprender el funcionamiento de los bumpers.

3.5.1. Manipulador

Las dos alternativas trabajadas para dar solución a este mecanismo se diferencian principalmente en el tipo de pinza que utilizan, teniéndose una pinza con extremos curvos y desplazamiento circular que ofrece una mayor superficie de contacto sobre los elementos a manipular, y otra pinza con extremos rectos y desplazamiento paralelo de éstos que ofrece además la posibilidad de manipular también elementos con superficies planas. En la Figura 46 se muestran las dos alternativas iniciales del manipulador.

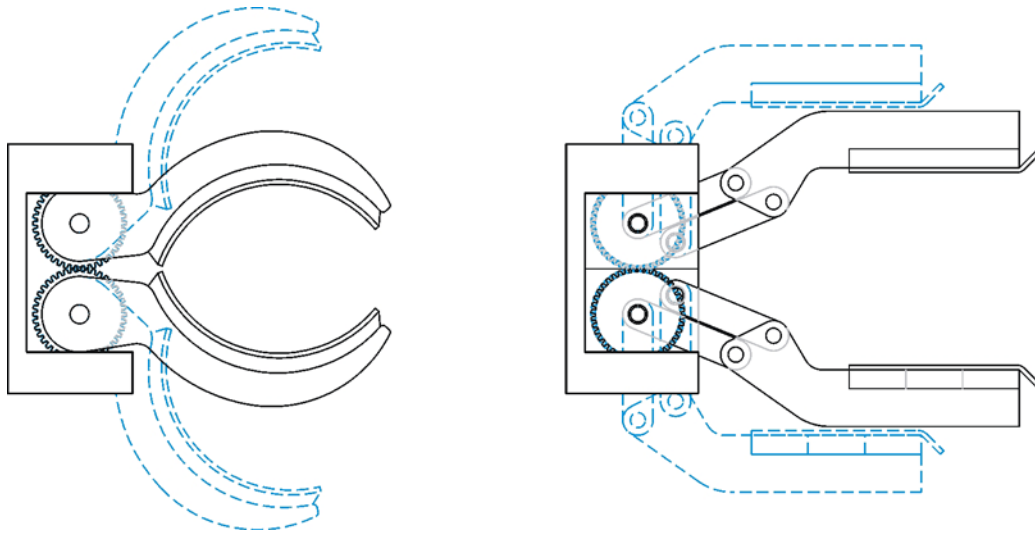
Figura 46. Alternativas iniciales del manipulador.



En los extremos de ambas pinzas se utilizó un material que permitiera comprimirse al hacerle presión, y con elevado coeficiente de fricción sobre las superficies que hacen contacto con los elementos a manipular, para mejorar así las condiciones de agarre de los mismos.

En la Figura 47 se ilustra el desplazamiento de cada una de las pinzas desde su posición abierta (líneas punteadas) hasta su posición cerrada (líneas continuas).

Figura 47. Desplazamiento de las pinzas.



Se construyó un modelo funcional de la pinza recta ya que ésta además de ofrecer mayores posibilidades para la manipulación de objetos planos, lo cual reforzaría más el concepto de versatilidad que se quiere manejar con el Sistema Robótico Modular, facilita la ubicación de los sensores reflex y de contacto que deben utilizarse para detectar el objeto en posición manipulable y para detectar cuando está prensado.

Al diseño preliminar se le hicieron algunas modificaciones en cuanto a la altura de la pinza, de tal forma que quedara un espacio suficiente entre el suelo y el servo-motor que abre y cierra la pinza para que se pudiera utilizar un sensor que detectara el objeto a manipular y así se pudiera alinear el sistema en dirección al mismo. En la Figura 48 y 49 se observa el diseño del manipulador a construir, y en la figura 50 se muestra el modelo construido, el

cual fue fabricado en acrílico transparente con ejes de aluminio y está cubierto con una carcasa hecha en balsa.

Figura 48. Diseño modificado del manipulador.

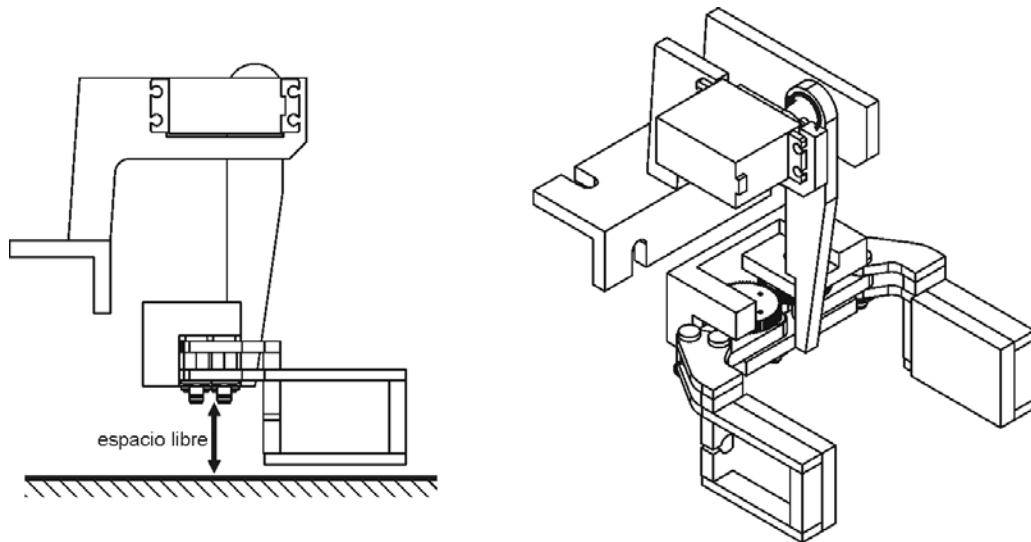


Figura 49. Ubicación del manipulador en el sistema.

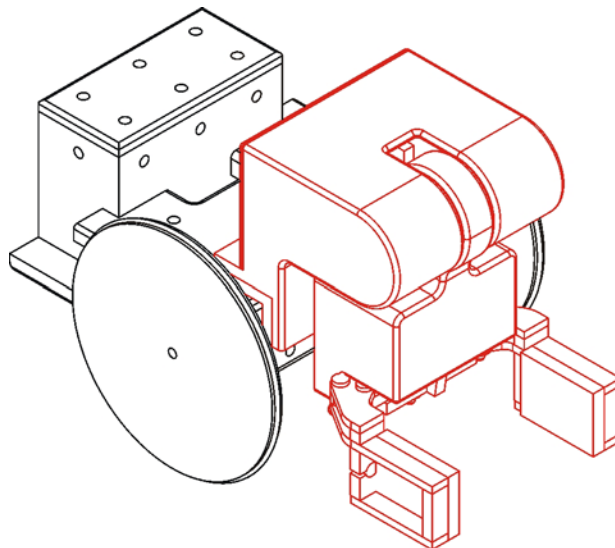
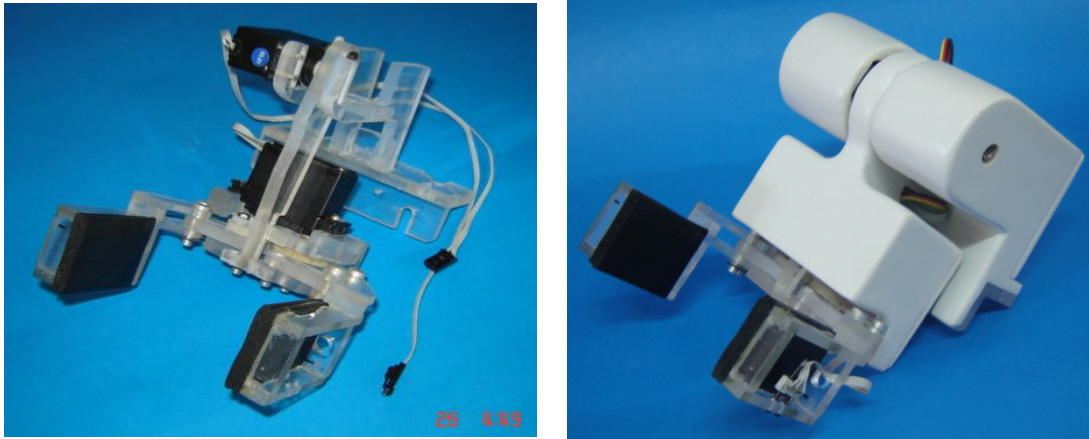


Figura 50. Modelo funcional del manipulador para comprobaciones.

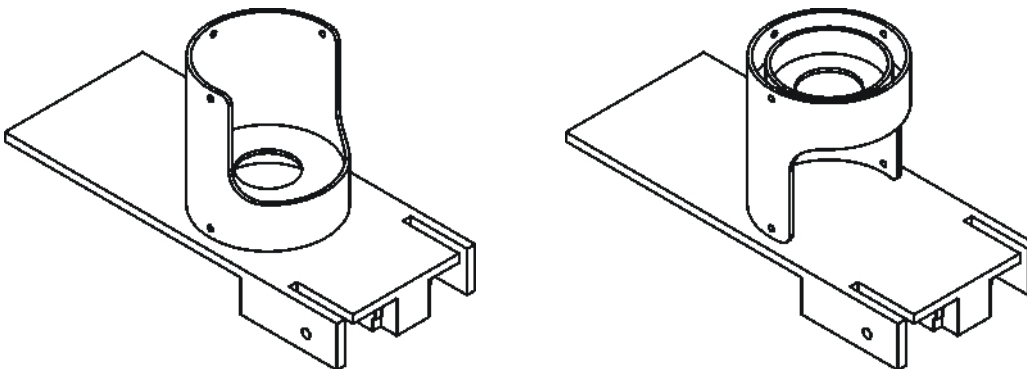


3.5.2. Receptáculo de carga

Las dos posibilidades que se desarrollaron se diferencian en la capacidad de mantener cargados solo uno o los dos objetos transportados a la vez. En la alternativa que solo tiene capacidad para cargar un objeto, el segundo objeto se transporta elevado y prensado en la pinza.

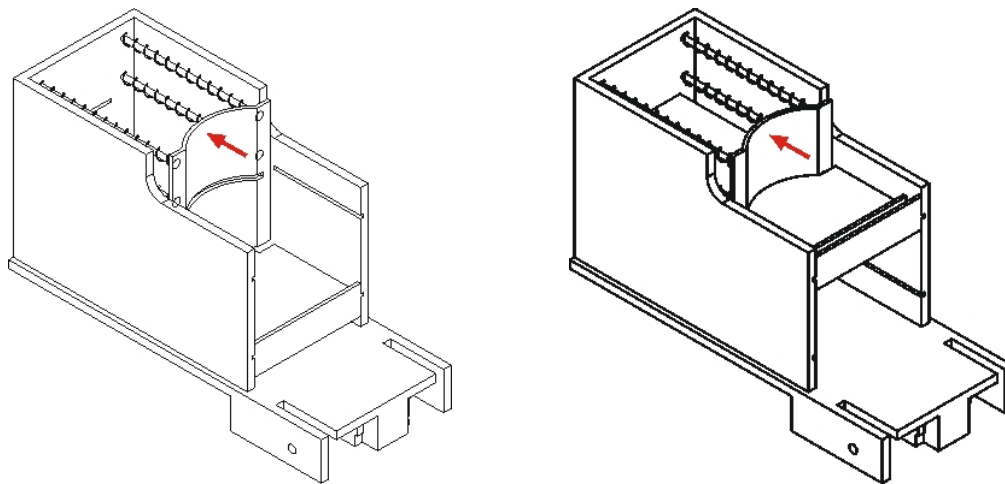
El receptáculo que solo tiene capacidad para cargar uno de los objetos es muy versátil ya que solo está compuesto por una pieza que al girarla se puede utilizar para recibir la pelota o la lata. Ver figura 51.

Figura 51. Alternativa de receptáculo con capacidad para una lata (izquierda) o una pelota (derecha)



La alternativa que tiene la capacidad para cargar los dos objetos está compuesta por una superficie curva y vertical soportada por resortes que en el momento de ubicar el segundo objeto a cargar, se comprimen desplazando la superficie y aumentando el espacio disponible para la carga, la graduación de la altura dependiendo si es para la pelota o la lata se hace cambiando la posición de otra superficie horizontal. Ver figura 52.

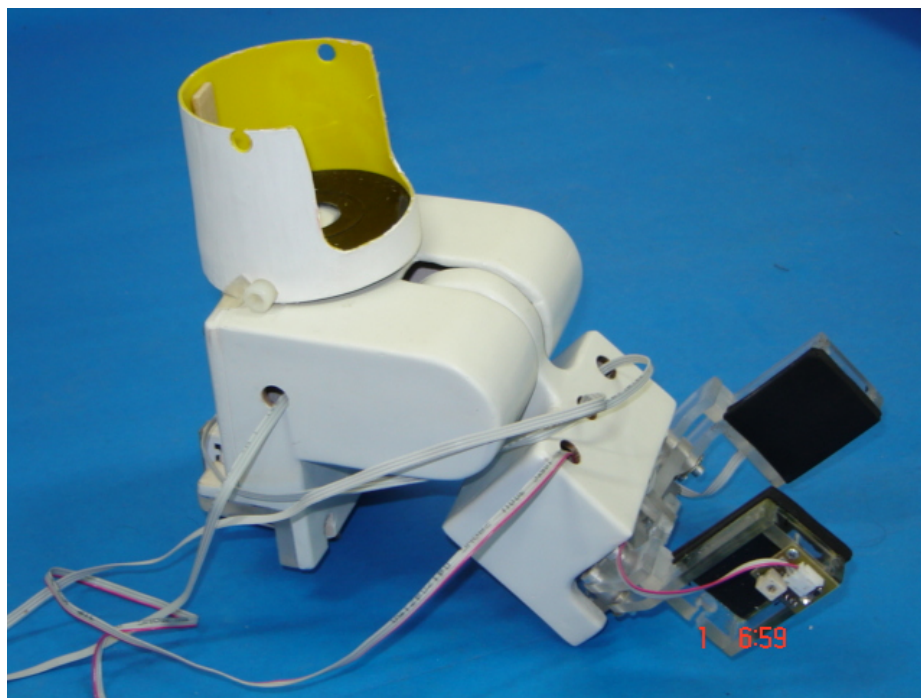
Figura 52. Alternativa de receptáculo con capacidad para dos latas (izquierda) o dos pelotas (derecha)



A pesar de no cargar los dos objetos a la vez, fue seleccionada la primera alternativa por simplicidad de su fabricación y por la facilidad que brinda al usarla, además se cumple con el requerimiento de transportar los dos objetos a la vez ya que la pinza supe la carga del segundo.

El modelo para comprobar el funcionamiento del receptáculo de carga junto con el manipulador fue construido en polietileno y se muestra en la figura 53

Figura 53. Modelo del subsistema de manipulación para comprobaciones



3.6. SUBSISTEMA DE LOCOMOCIÓN

Está formado por los componentes necesarios para efectuar el desplazamiento del robot:

- Tarjeta de acondicionamiento de las señales para el control de actuadores.
- Actuadores.
- Medios de locomoción.

La tarjeta de acondicionamiento de señales para el control de actuadores brinda la posibilidad al subsistema de control de accionar los motores y hacerlos girar en sentido horario o anti-horario, además de controlar su velocidad. Entre los actuadores se pueden encontrar motores DC, de paso y servomotores. Los medios de locomoción que se deben implementar de acuerdo con los requerimientos del proyecto son: 1. *Tipo Triciclo*: dos llantas con tracción diferencial con una rueda libre que proporciona estabilidad. 2. *Tipo Oruga*: Cuatro ruedas con una banda tipo oruga, dos de estas ruedas tienen tracción.

Requerimientos

- Debe tener la capacidad de soportar los esfuerzos generados por la manipulación de objetos y los generados por el desplazamiento del sistema.
- Tener en cuenta el peso de todo el sistema robótico, para diseñar un subsistema de locomoción que sea capaz de moverlo.
- Debe tener la posibilidad de implementar dos medios de locomoción: 1. *Tipo Triciclo*: dos llantas con tracción diferencial con una rueda libre que proporciona estabilidad. 2. *Tipo Oruga*: Cuatro ruedas con una banda tipo oruga, dos de estas ruedas tienen tracción diferencial.

- Debe quedar claro cuál es la ubicación que deben tener sus componentes, dependiendo si se quiere utilizar la configuración tipo oruga o tipo triciclo.
- Tamaño de tarjeta de acondicionamiento de las señales para el control de actuadores no superior a 4.5cm x 3.5 cm.
- Permitir el control del sentido de giro y la velocidad de dos actuadores
- Proporcionar los niveles de tensión y corriente necesarios para el control de los motores
- Permitir el control de los motores por medio de señales TTL.

3.6.1. Módulo de motores

El módulo de motores determina el ancho mínimo que puede tener la estructura principal, por tal razón se diseñó lo más pequeño posible, para que así, el sistema pueda desplazarse por espacios angostos.

Diseño Electrónico

Selección de los actuadores

Con base en la investigación realizada, se tenían varias opciones sobre el tipo de actuadores a utilizar para la locomoción del móvil.

Las opciones eran:

Motores de paso, motores DC, y servomotores. En la tabla 14 se hace una comparación entre ellos.

Tabla 14. Comparación de los actuadores

Tipo de motor	Torque a 4.8V	Velocidad a 4,8V	Forma de control	Posicionamiento
Servomotores	Intermedio	Intermedia	Modulación por ancho de pulso	Si
Motores DC	Menor	Mayor	Voltaje proporcional	No
Motores de Paso	Mayor	Menor	Pulsos por bobinas	Si

Luego de analizar la información recopilada se decidió que los actuadores para el sistema de locomoción, serían los servomotores, ya que los motores DC fueron descartados por su bajo torque, mientras que la poca velocidad y el necesitar más líneas de control fueron la causa del descarte de los motores de paso.

Ahora se debe seleccionar el tipo de servomotor y para esto se consideraron dos alternativas:

- El servomotor Futaba S3003
- El servomotor Hitec HS 322HD

La comparación de las características de estos dispositivos se puede apreciar en la tabla 15:

Tabla 15. Comparación entre los servomotores

Referencia	Futaba S3003	Hitec HS 322HD
Velocidad	0.23sec/60° a 4.8V 0.19sec/60° a 6V	0.19sec/60° a 4.8V 0.15sec/60° a 6V
Torque	3.2Kg.cm a 4.8V 4.1Kg.cm a 6V	3Kg.cm a 4.8V 3.7Kg.cm a 6V
Medidas	1.6x0.8x1.4 in	1.57x0.78x1.43 in
Material de los engranajes	Nylon	Carbonita

Las dos alternativas ofrecían torques adecuados para nuestra aplicación, sin embargo se eligió el servomotor HITEC, por la mayor velocidad que le puede otorgar al móvil, otra de las razones de la elección, es la vida útil más

prolongada, debido a que sus engranajes esta hechos de carbonita, que es más resistente que el nylon de los engranajes del Futaba.

Para permitir que los servomotores giren 360° hubo que truquearlos, es decir, remover la circuitería interna, dejando sólo el motor DC con la caja reductora, al cual se le invierte el sentido de giro con ayuda de un controlador.

El controlador utilizado es un circuito integrado conocido como puente H, se hace necesario el uso de éste dispositivo debido a que los puertos de salida del microcontrolador no pueden manejar la corriente demandada por los motores, además por ser cargas inductivas, la inversión de giro de un motor provoca una alteración de tensión la cual puede dañar el microcontrolador parcial o totalmente.

El funcionamiento de los puentes H es fácil de entender, estos dispositivos poseen dos terminales de control donde, dependiendo de los niveles de voltaje que allí se presenten, invierten el sentido en el que circula la corriente entre otro par de terminales donde son conectados los bornes del motor. Algunos puentes H tienen además un terminal de habilitación, el cual como su nombre lo indica sirve para habilitar o deshabilitar el controlador, estado donde su salida presenta una alta impedancia.

Luego de la investigación se tenían varias alternativas sobre el tipo de puente H a utilizar, en la tabla 16 se puede apreciar las características eléctricas de algunos de ellos.

Tabla 16. Características puentes H

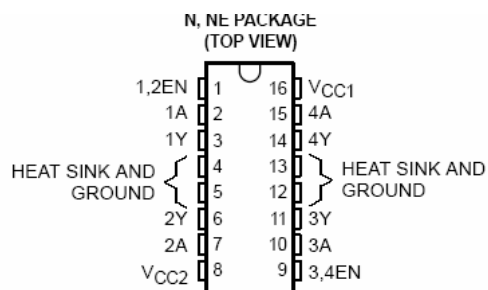
Referencia	Rango V	Rango I	Potencia	Costo	Disponibilidad
LB1649 – Controlador Dual	5 – 25 V	+/-1A	1.9W	\$ 5.000	- Fácil consecución en Bucaramanga
L293 – Controlador Dual	5 – 36 V	+/-1A	5W*	US\$2.13	-Difícil consecución a nivel nacional.
SN754410 – Controlador Dual	5 – 36 V	+/-1.1A	2075mW	US\$1.88	-Difícil consecución a nivel nacional.
L6234 – Controlador Trifásico	7 – 42 V	+/-2.8A	2600mW	US\$10.3	-Difícil consecución a nivel nacional.

El controlador seleccionado fue el puente H L293¹ considerando:

- El rango de voltaje de alimentación esta entre los niveles utilizados por el sistema de locomoción.
- Es la alternativa que maneja mayor potencia
- La corriente que maneja está en el rango de consumo de los motores.

L293 – Controlador Dual

Figura 54. Distribución de pines puente H L293



¹ Texas Instruments, Quadruple Half-H Driver (L293), www.ti.com.

En la tabla 17, se observa el comportamiento que tiene las salidas del controlador con los diversos niveles de tensión aplicados a los pines de control, donde

- 1=nivel de tensión 5v,
- x=nivel lógico de tensión indiferente
- 0=nivel bajo de tensión 0v
- Z=Estado de alta impedancia

Tabla 17. Comportamiento de las salidas del L293.

ENTRADAS		SALIDA
A	HAB	Y
1	1	0
0	1	1
X	0	Z

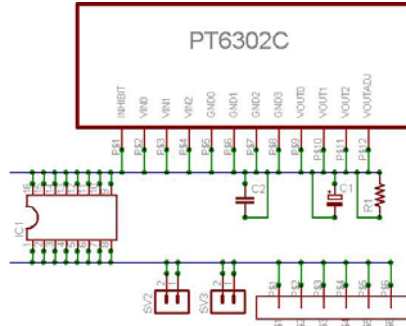
Queriendo aumentar la velocidad y el torque que ofrecen los servomotores se hacía necesario alimentarlos con una tensión mayor a la especificada; 7V es un voltaje seguro, ya que luego de múltiples pruebas se ha confirmado el correcto funcionamiento de estos actuadores, para esto se implementó una etapa de regulación donde se utilizó el regulador conmutado PT6302C. En la tabla 18 se pueden apreciar sus principales características:

Tabla 18. Características del regulador conmutado PT6302C

Eficiencia (%)	90
Voltaje ajustable de salida (v)	2.2 a 8.5
Corriente de salida(A)	1 a 3
Voltaje de entrada(V)	9 a 26

Diseño de la tarjeta impresa del modulo de locomoción

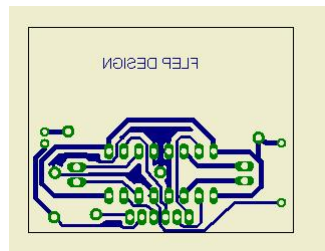
Figura 55. Esquemático del circuito del modulo de locomoción



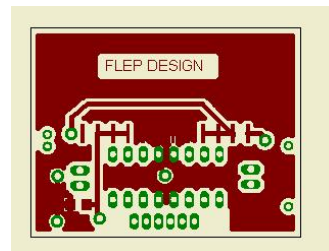
En esta tarjeta se encuentran los componentes electrónicos encargados de recibir y brindar los niveles requeridos de tensión y corriente a las señales de control provenientes de la tarjeta principal para controlar el movimiento de los servomotores que hacen parte del sistema de locomoción.

Entre los componentes se encuentran el regulador conmutado PT6302C¹ encargado de proporcionar la corriente y tensión a toda la tarjeta, configurado para proporcionar un voltaje de salida de 7.8V, el circuito controlador (puente H) y los conectores encargados de comunicar a la tarjeta con los motores y con el módulo que lleva su nombre. La figura 56 muestra el diseño en tarjeta de circuito impreso.

Figura 56. Diseño tarjeta de circuito impreso para subsistema de locomoción



a) Cara inferior



b) cara superior

¹ Texas Instruments, 3 Amp Adjustable Positive Step-down Integrated Switching Regulators (PT6300 Series), www.ti.com.

Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico

1. Tensión de alimentación de entre 9V y 18V
2. Tensión de salida del regulador conmutado 8V
3. Seis pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y los restantes a las señales de control del puente H.
4. Dos conectores mol macho de dos pines para comunicar la tarjeta con los motores.
5. Resistencia de ajuste (39K) para la tensión de salida del regulador conmutado.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 44x35x15mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S6B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Dos conectores mol macho de dos pines usados para comunicar la tarjeta con los motores.
4. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9406 hecho por la compañía Molex.
5. El plano de tierra va alrededor del circuito.

Características de uso

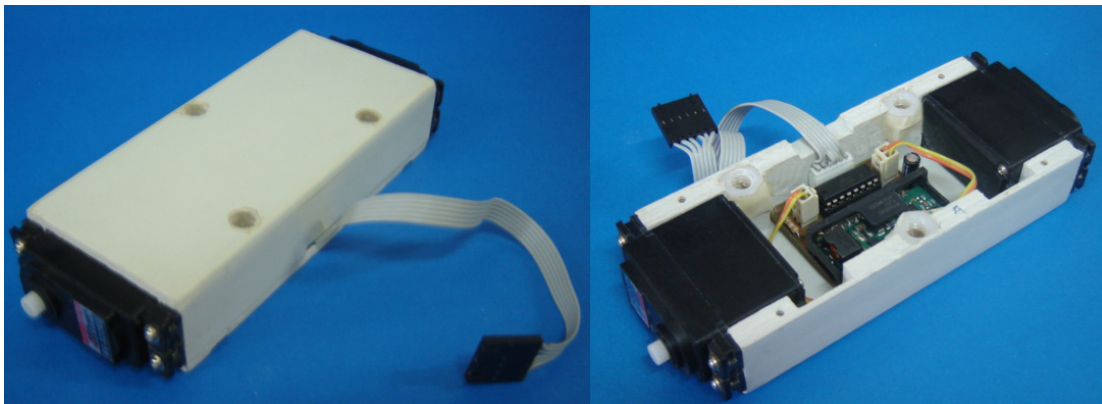
1. El módulo posee seis entradas una es la tensión de alimentación (11.5V aprox) otro es para la señal de tierra, los cuatro restantes son las señales de control para el puente H.
2. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control

Características de Mantenimiento

1. Revisar el estado de los conectores y cables de comunicación de la tarjeta.
2. Mantener limpios los ejes de rotación de los motores y verificar el estado de los mismos.
3. Verificar que la tensión de alimentación de la tarjeta al igual que los niveles de las señales de control sean proporcionados adecuadamente por el módulo de conectores.

El modelo para comprobar el funcionamiento del modulo de motores fue construido en balsa y masilla. El cual se muestra en la figura 57.

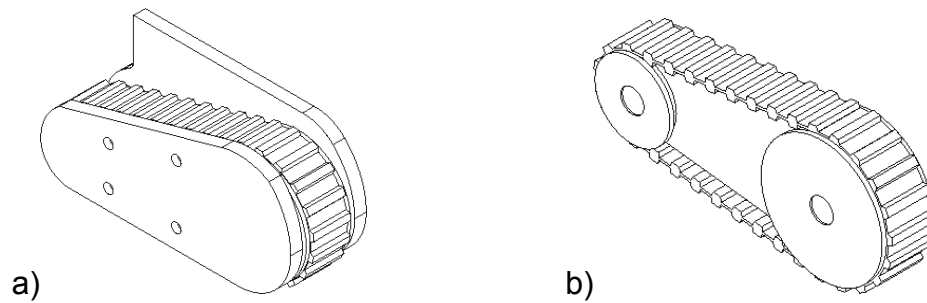
Figura 57. Módulo de motores para comprobaciones



3.6.2. Módulos de locomoción.

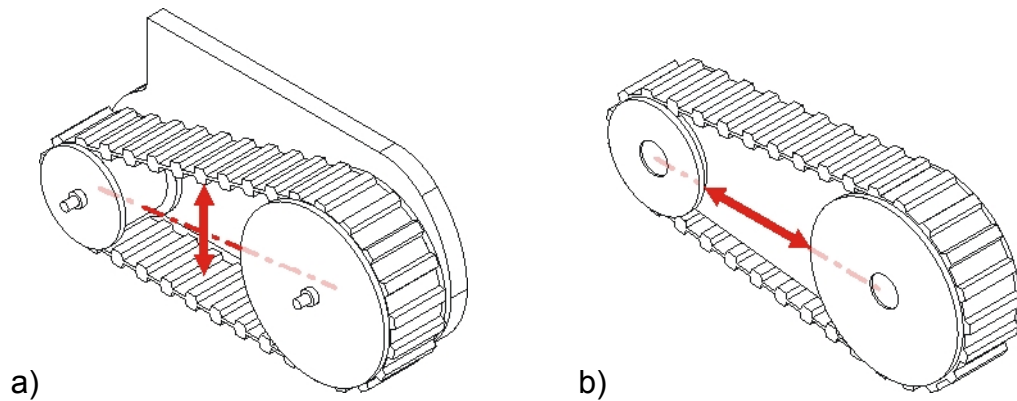
Oruga. Las dos ideas iniciales que surgieron para dar solución a esta parte del móvil se diferencian principalmente en la forma en que están fijos los ejes de las poleas. En la primera alternativa, los ejes están apoyados desde sus extremos a dos paredes laterales que los sostienen, mientras que en la segunda, los ejes de las poleas están sostenidos desde su punto medio a una sola pared central. En ambas propuestas se plantea que la polea delantera sea mayor que la trasera para que el móvil pueda sobrepasar obstáculos de una mayor altura (Ver figura 58).

Figura 58. Ideas iniciales de orugas. a) ejes de las poleas apoyados en sus extremos. b) ejes de las poleas apoyados en el centro.



Un aspecto clave en el diseño de la oruga es garantizar una tensión adecuada a la correa para que se transmita el movimiento correctamente; en la alternativa *a* se puede lograr dicha tensión con otra rueda o rodillo que empuje la correa en dirección perpendicular a la línea de los ejes, mientras que en la alternativa *b* se puede tensionar la correa desplazando una de las poleas alejándola de la otra (Ver figura 59).

Figura 59. Dirección para tensionar la correa en cada una de las alternativas.

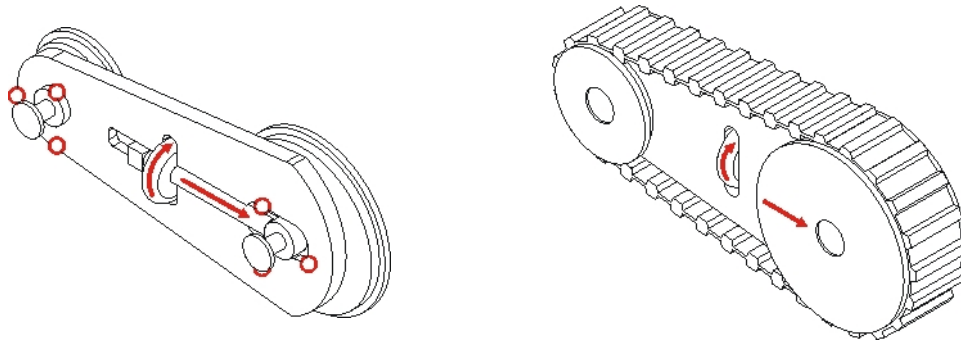


La cantidad de materiales necesaria para la construcción de las dos alternativas se diferencia notablemente en el número de rodamientos: mientras la alternativa *a* necesita cuatro rodamientos, por estar cada polea apoyada en sus dos extremos, la alternativa *b* sólo necesita dos ya que cada polea rota desde la mitad de su eje. En la alternativa *a* se necesita más material para fabricar las dos caras laterales, además de necesitar una mayor área en una de las caras para poder fijar la oruga al subsistema estructural. Por estas razones anteriormente enunciadas, se decidió continuar trabajando con la alternativa *b* para llevarla a un mayor nivel de detalle y posteriormente construirla y realizar las pruebas respectivas.

Pensando en un mecanismo simple que permitiera tensionar la correa después de montarla en las poleas, se utilizó un tornillo ubicado dentro de la parte central de la oruga, en medio de una ranura que evitara su rotación, y el cual se deslizaría longitudinalmente al momento de girar su tuerca, empujando así el rodamiento sobre el cual estaba montado el eje de la polea, dicho rodamiento se encuentra ubicado también sobre una ranura, la cual le permite un desplazamiento lineal.

Para disminuir el rozamiento entre la pared central y la cara interna de cada una de las poleas se ubicó entre estas superficies una serie de balines, que además mantenían las poleas en su posición.

Figura 60. Desplazamiento de la polea y ubicación de los balines.



El modelo preliminar para comprobar el funcionamiento de la oruga se fabricó con los siguientes materiales:

- Lámina de acrílico transparente de 5 mm de espesor.
- Tornillo Bristol inoxidable M5 x 50 mm
- Balines de acero de 5/32"
- Correa sincrónica de Neopreno.
- Rodamientos de bolas de 5 mm

Figura 61. Partes de la oruga.

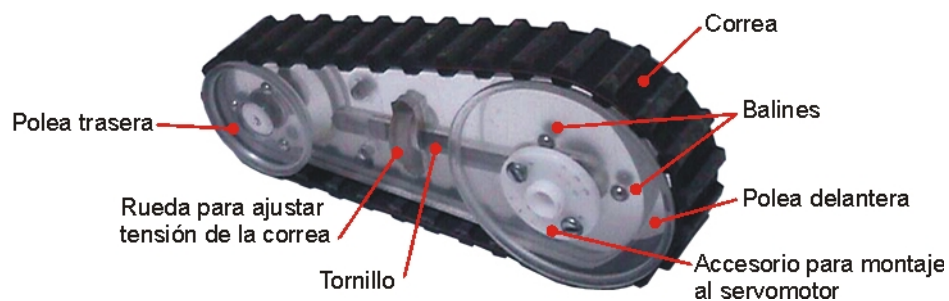
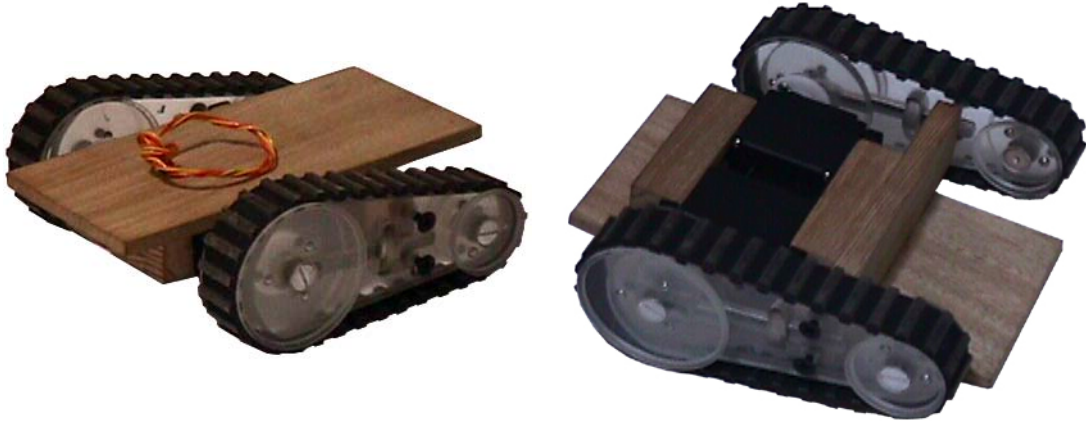


Figura 62. Subsistema de locomoción tipo oruga para comprobaciones preliminares. Vista superior e inferior.



Al construir las orugas y comprobar su funcionamiento se pudo concluir que:

- La cara interna de las poleas debe tener bordes redondeados para facilitar la entrada de la correa durante el movimiento.
- El canal de la polea debe ser un poco más ancho (2 mm aprox.) para que la correa no entre tan forzada al girar.
- Es necesario cambiar la forma de fijar la oruga a la estructura, para que sea posible cambiar la tensión de la correa estando ésta montada.
- Las poleas deben tener dientes tallados para que la correa se mueva incrustada en éstos, ya que por simple rozamiento presentaron problemas de tracción (en algunos momentos no se transmitía movimiento a la correa)
- La oruga puede sobrepasar obstáculos de hasta 30 mm. hacia delante, y de 19 mm hacia atrás, es decir hasta la mitad del diámetro de la polea que comienza el contacto con el obstáculo.
- La rueda con la que se ajusta la tensión de la correa debe tener textura para facilitar su manipulación.

- El montaje del accesorio del servomotor sobre la polea debe quedar paralelo a la polea, para que al rotar, la correa no se salga de la polea.
- Los tornillos que se utilizaron como ejes se soltaron debido a la rotación de la oruga, es por esto que se debe garantizar su ajuste o utilizar una alternativa diferente a los tornillos.
- Las dos correas deben tener la misma tensión para garantizar un movimiento uniforme en las dos orugas, y así poder determinar el centro de rotación de este subsistema.

Implementando estos cambios para mejorar el desempeño de la oruga, la alternativa resultaría como aparece en la figura 63.

Figura 63. Alternativa de la oruga optimizada.

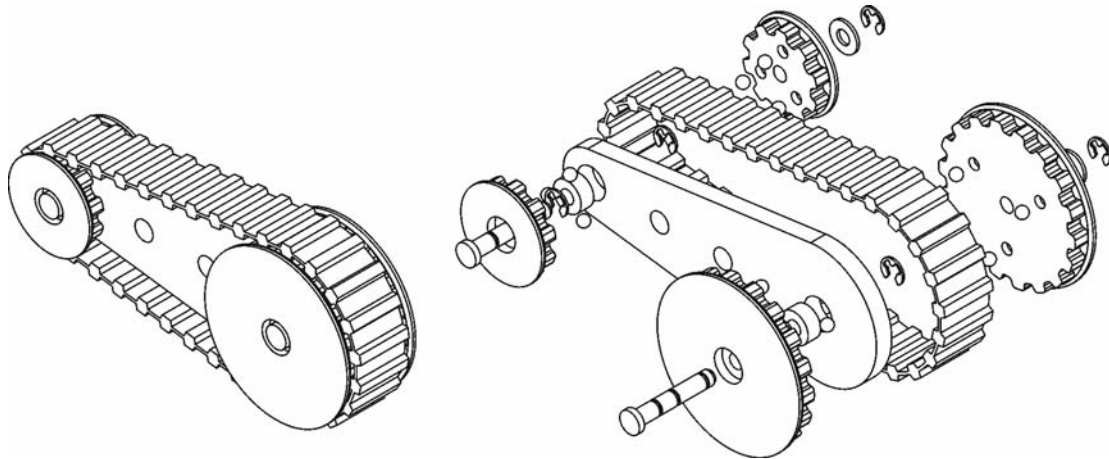
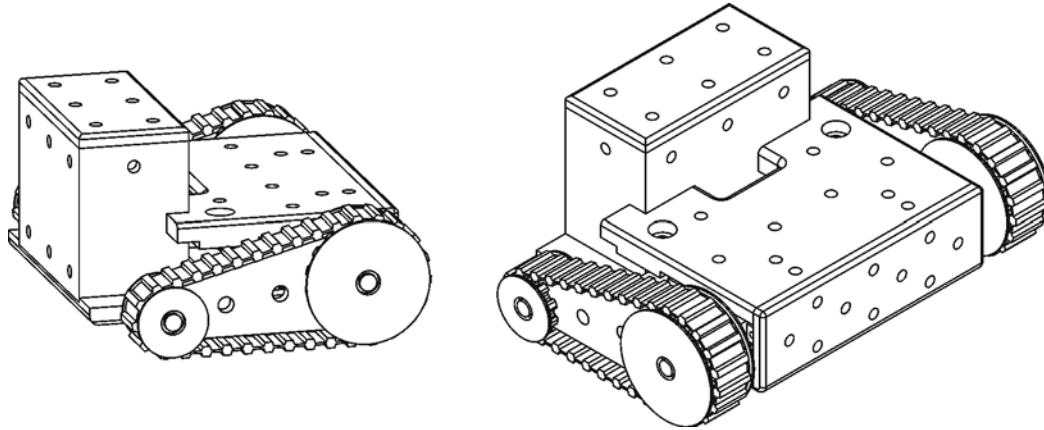


Figura 64. Subsistema de Locomoción en modo oruga.



Triciclo. Este medio de locomoción está conformado por dos ruedas con tracción diferencial y una rueda libre que proporciona estabilidad. Las ruedas motrices de este medio tienen un diámetro mayor que la polea motriz de la oruga con el propósito de ser utilizadas en aplicaciones que requieran mayor velocidad.

El diámetro de las ruedas fue determinado de acuerdo con los siguientes factores:

- Tamaño necesario del encoder¹.
- Ubicación más cercana posible del sensor de encoder al eje de la rueda.
- Tamaños comerciales de empaques de caucho, para utilizarlos como llantas que aumenten la fricción con el piso.

A diferencia de los otros módulos, estas ruedas no se pueden instalar al sistema con los tornillos de nylon de $\frac{1}{4}$ ", debido a que el montaje se debe hacer directamente sobre el motor con uno de sus accesorios convencionales y el tornillo metálico que viene para esto.

¹ Las características del encoder están documentadas en el numeral 3.7.2. *Sensor de encoder*.

Figura 65. Rueda con encoder y accesorio de montaje.



La rueda libre a utilizarse en el sistema debe proporcionar buena estabilidad al triciclo y no puede provocar desviaciones indeseadas al momento de girar.

Las ruedas libres disponibles en el mercado que podrían utilizarse para el sistema son las mostradas en la tabla 18.

Fue seleccionada la alternativa de la esfera metálica ya que ofrecía más ventajas por su altura variable y por su montaje sencillo; a esta pieza se le adaptó un accesorio que permitiera hacer el montaje usando un tornillo de nylon de $\frac{1}{4}$ ".

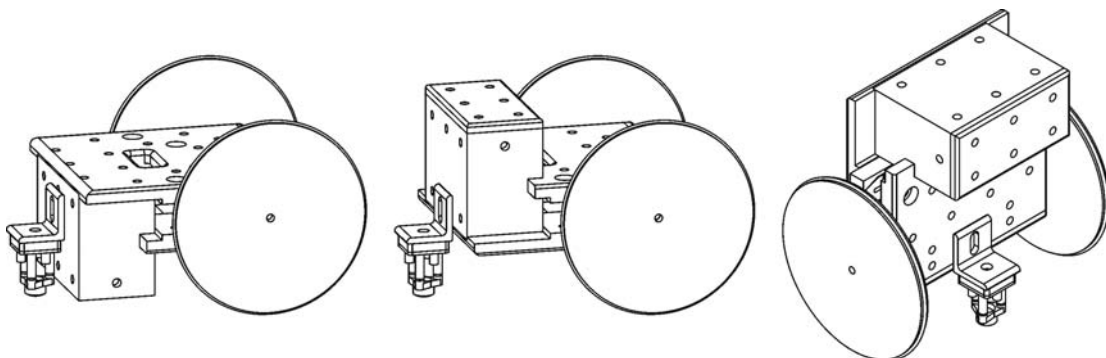
Figura 66. Rueda libre con accesorio de montaje.



Tabla 19. Ruedas libres disponibles en el mercado.

Ruedas omnidireccionales	Esfera metálica con montaje graduable	Esfera plástica con montaje fijo
		
Son ruedas bastante costosas (aprox. US\$12.00) y requieren de un eje para su montaje; diámetro 40 mm.	Costo aprox. de US\$3.00; se puede armar de dos formas obteniéndose alturas de 25mm o 35mm, el montaje se hace con tornillos que trae incluidos.	Costo aprox. de US\$2.00, el montaje se hace a presión, la altura de la rueda es de 10 mm

Figura 67. Posibles configuraciones del Subsistema de Locomoción en modo Triciclo.



3.7. SUBSISTEMA DE SENSORES

El subsistema de sensores consta de todos los dispositivos y sus respectivas configuraciones que tienen la capacidad de recibir las variaciones físicas del entorno convirtiéndolas en señales eléctricas con los niveles adecuados de tensión y corriente para ser interpretadas por el subsistema de control.

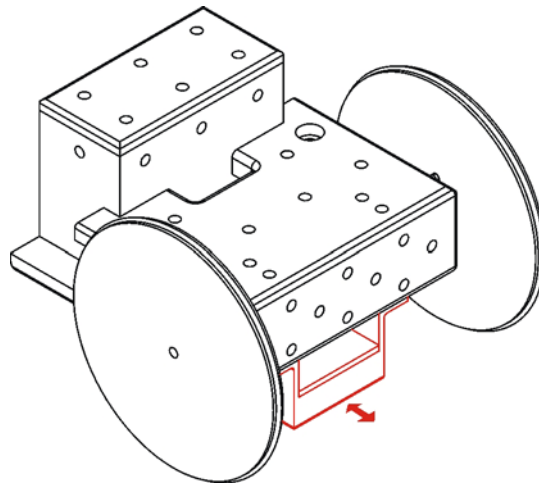
En el área de diseño industrial, las alternativas propuestas en esta fase estuvieron enfocadas hacia el diseño y construcción de modelos funcionales con los cuales quedara claro la dimensión mínima de cada módulo y las posibilidades de ubicar el punto de fijación con la estructura principal, además de comprobar el desempeño de algunos módulos a los cuales les puede afectar la carcasa que los cubre.

3.7.1. Módulo seguidor de línea.

Es el encargado de darle al robot la capacidad de reconocer las variaciones de colores contrastados que se encuentren en una superficie lisa. El diseño de este sistema busca otorgar al móvil la facilidad de desplazarse por líneas que describan diferentes rutas, tales como circuitos o laberintos. Las características de la línea se tomaron de las competencias que se llevan a cabo a nivel nacional, las cuales en su mayoría manejan un estándar de 1.8cm de ancho y acabado mate para el color oscuro.

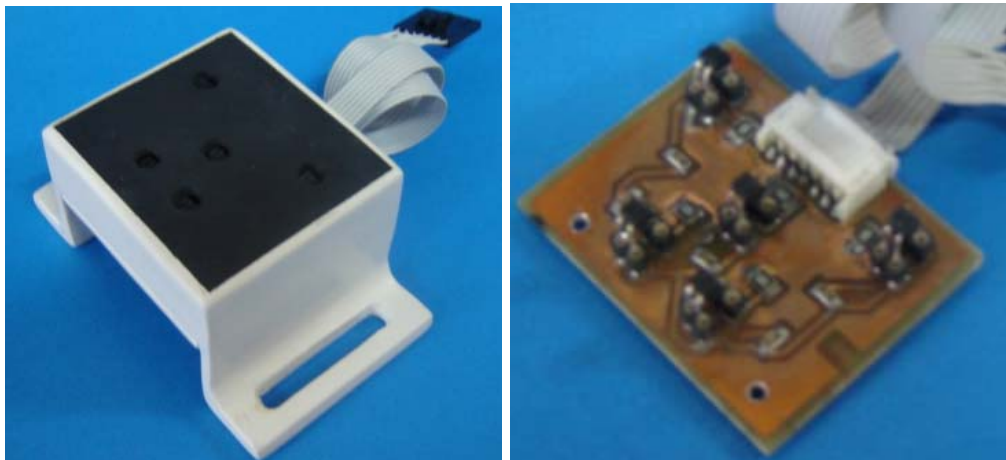
Este módulo se ubica en la parte inferior de la estructura en medio de las ruedas cuando está en modo triciclo, y las ranuras que tiene para el montaje permiten deslizarlo para graduar su ubicación dependiendo de las condiciones a las que se mueva el sistema. Ver figura 68.

Figura 68. Ubicación del módulo seguidor de línea.



Para evitar reflejos indeseados o exceso de luminosidad sobre los sensores, la superficie que está alrededor de éstos y que queda frente al piso se dejó de color negro mate; y se dejó abierto el espacio entre la estructura y el módulo para que se pueda utilizar otros sensores atrás de éste y orientados hacia delante.

Figura 69. Módulo seguidor de línea y tarjeta electrónica.



Requerimientos:

Para los dispositivos detectores de línea se necesita:

- Distancia de reflexión menor de 0.5cm.
- Preferiblemente con cubierta aisladora de iluminación externa.
- Tamaño de la tarjeta 7x6cm.
- Ubicación en la parte inferior del móvil.
- La tarjeta podrá deslizarse para que el usuario pueda elegir su ubicación.
- Los sensores podrán ser extraídos para ser reemplazados en caso de daño.

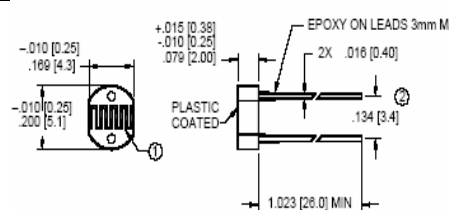
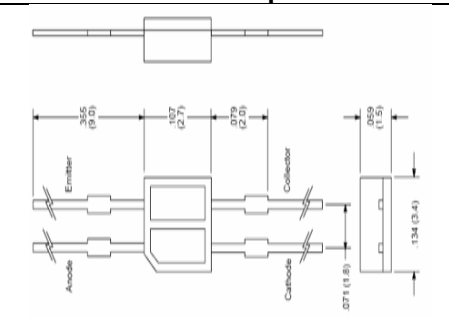
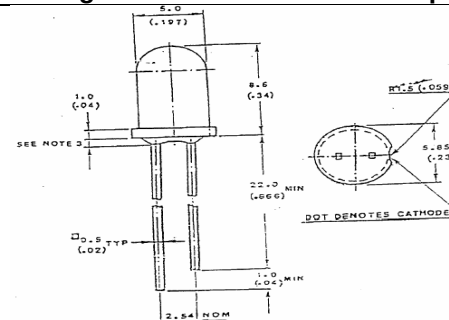
Diseño Electrónico

El fenómeno físico mas usado para la implementación de este sistema, es la luz del espectro Infrarrojo (IR), ya que los costos y el procesamiento de estas señales son muy reducidos en comparación con técnicas de procesamiento de imágenes. Por este motivo la investigación y desarrollo de este sistema se concentró en dispositivos o configuraciones que manejen este principio físico. El uso de sensores de infrarrojos posee la ventaja de detectar la variación de color sin tener contacto físico con el suelo; esto se logra utilizando la configuración tipo reflex. La información detallada del funcionamiento y polarización de esta configuración se encuentra documentada en el Anexo C.

Elaboración y selección de alternativas

Como resultado de la fase de investigación se elaboró un cuadro comparativo de todos los sensores que posiblemente pueden hacer parte de este sistema, allí se muestran las características más importantes. (Ver tabla 20).

Tabla 20. Cuadro comparativo de sensores que aplican la configuración tipo reflex.

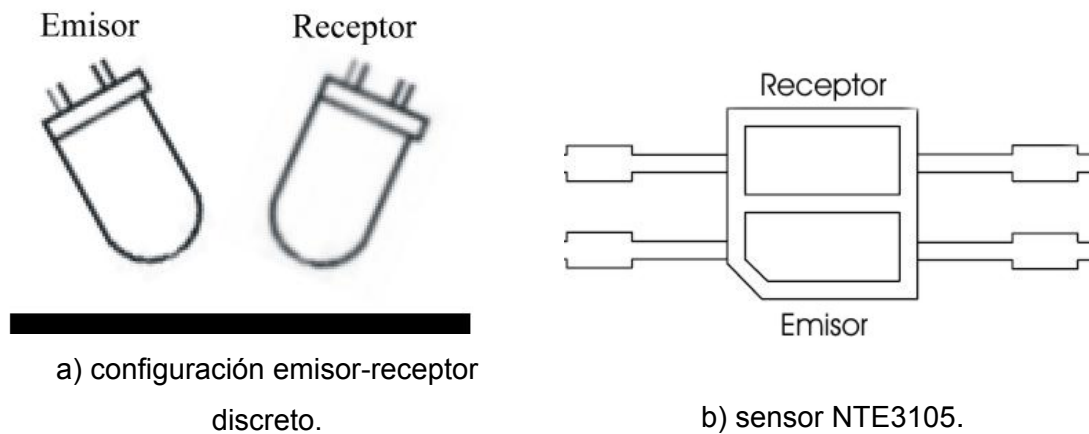
Fotocelda						
	Voltaje Max	Corriente Max	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	50V	-----	-----	0.3 – 0.8cm	\$700-1.500	Muy Alta
	Las fotoceldas se pueden encontrar de dos tamaños en el comercio local, sin embargo es necesario caracterizarlas para obtener un óptimo funcionamiento. Para implementar este dispositivo en configuración reflex se debe instalar un emisor infrarrojo. Las fotoceldas son también sensibles a la luz visible por lo que su inmunidad al ruido es muy baja.					
NTE3105 – Sensor óptico reflexivo						
	Voltaje Max	Corriente Max	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	6 V	Emisor 50mA Receptor 20mA	Emisor 75mW Receptor 50mW	0.3 – 0.7cm	\$2.500	Muy Alta
	Este sensor se caracteriza por su reducido tamaño, lo que permitiría implementar un dispositivo pequeño. Es uno de los más usados a nivel local para desarrollar móviles seguidores de línea.					
Configuración reflex emisor-receptor infrarrojo discreto						
	Voltaje Max	Corriente Max	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	Emisor 7V Receptor 7V	Emisor 100mA Receptor 50mA	Emisor 200mW Receptor 70mW	0.3-1.5cm	\$3.500	Muy Alta
	Esta configuración es un arreglo de emisor y receptor infrarrojo que ocupa mayor espacio por estar compuesto por elementos discretos, sin embargo brinda un alcance mayor ya que sus componentes soportan mayor potencia.					

Continuación Tabla 20.

OPB704 – Sensor óptico reflexivo						
	Voltaje Max	Corriente Max	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	6 V	Emisor 40mA Receptor 25mA	Emisor 100mW Receptor 100mW	4mm	\$13000	Media
Este sensor posee un gran tamaño, sin embargo tiene una cubierta que lo aísla del exterior y unos lentes especiales que impiden el paso de partículas de polvo, lo que aumenta considerablemente su inmunidad a la iluminación del ambiente.						
IS471F – Modulador Receptor de Infrarrojo						
	Voltaje Max	Corriente Max	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	16 V	100mA	250mW	0.3-10cm	\$7.000	Media
Este sensor tiene la característica de ser un generador de señal de 8KHz que sirve para alimentar al emisor infrarrojo y al mismo tiempo recibe y se activa únicamente cuando detecta una señal con la misma frecuencia que la emitida. Esto permite gran inmunidad al ruido y al usarse un emisor de alta potencia se tiene la capacidad de medir distancias de hasta 7 cm.						
GP1UD28YK – Receptor Modulado de Infrarrojo						
	Voltaje Max	Corriente Max	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	5.5 V	400uA	-----	-----	\$5000	Baja
Receptor modulado de infrarrojo diseñado para aplicaciones de control remoto sintonizado a 40Khz. Incluye amplificador de entrada, limitador, filtro pasa-banda, demodulador, integrador y comparador. Requiere de circuito independiente para generar la señal del emisor por lo que ocupa un mayor espacio.						

De acuerdo a los requerimientos se hace necesario un dispositivo de baja potencia que tenga el menor tamaño posible, ya que el módulo final estará dispuesto en la parte inferior del móvil donde no se tiene suficiente espacio entre suelo y sensor. Por lo tanto se escogieron solo dos elementos que cumplieran con estos parámetros y que al mismo tiempo fueran de bajo costo (Ver tabla 20). Los sensores escogidos para desarrollar este sistema se muestran en la figura 70.

Figura 70. Ideas iniciales de sensores seguidores de línea.



El principio de funcionamiento de los dos sensores es el mismo, así como sus características eléctricas similares; Los factores mas importantes para tomar una decisión respecto a cual dispositivo utilizar se centran en el tamaño y la facilidad con que pueden ser extraídos cuando ocurre una avería en el sistema.

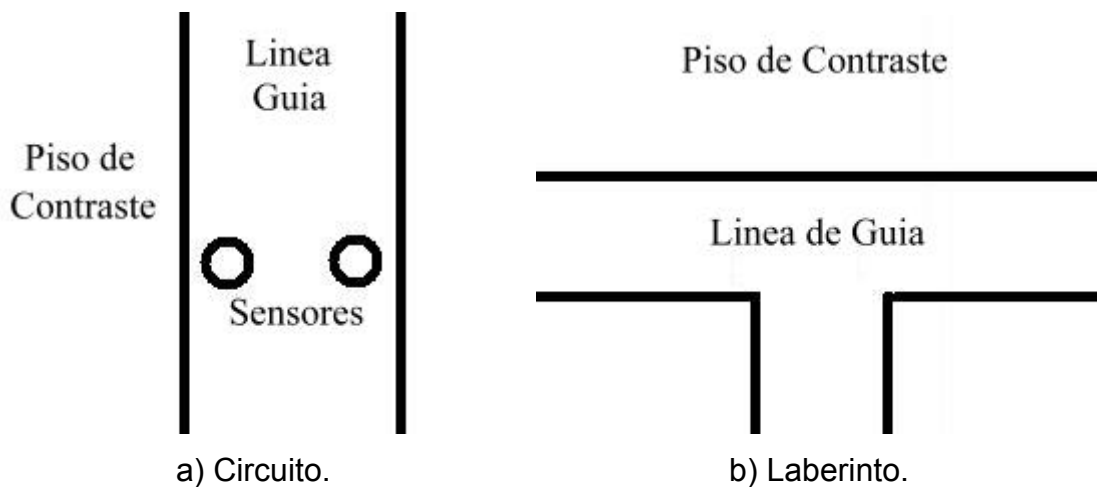
Para la *alternativa a* se tiene un emisor con mayor potencia, lo que permite tener el dispositivo completo a una mayor altura del piso y así evitar posibles choques con objetos que se encuentren sobresaliendo, sin embargo la forma como se instalan estos sensores (aproximadamente 120° respecto a la baquelita), resulta critica a la hora de reemplazarlos ya que requieren de una

posición específica para que funcionen bien; lo que no pasa con la *alternativa b* que tiene un alcance un poco menor, su dimensión le da la ventaja de reducir considerablemente el tamaño final del sistema y su reemplazo se hace fácil gracias a su forma compacta que no requiere un posicionamiento especial. Por las razones anteriormente enunciadas, se decidió trabajar con la *alternativa b* y a continuación se definirá la cantidad y la posición del mismo.

Diseño electrónico e implementación

Para otorgar al móvil la facilidad de desplazarse por líneas que describan diferentes rutas, tales como circuitos o laberintos (Ver figura 71), se hace necesaria la implementación de varios sensores en el mismo sistema.

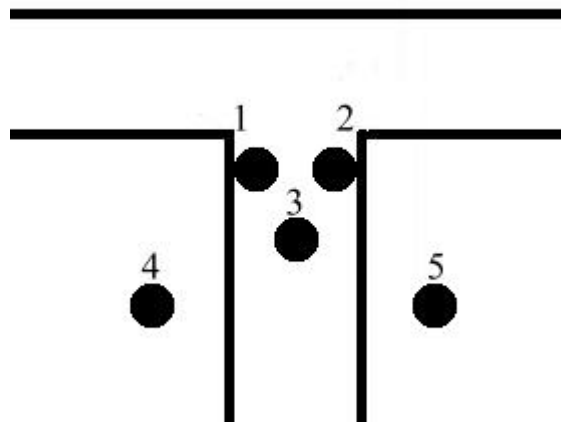
Figura 71. Posibles configuraciones de la línea guía.



Para rutas que tengan la forma de circuito, solo es necesario utilizar dos sensores para el seguimiento de la línea guía, sin embargo para rutas que tengan forma de laberinto se hace importante el poder detectar las variaciones que la línea guía pueda tener tales como cruces, intersecciones o discontinuidades, lo que requiere de un mayor número de sensores.

La propuesta para implementar el sistema con las dos posibilidades de ruta nace de la experiencia adquirida durante todas las competencias en las que se ha participado, y consta de cinco sensores, los cuales estarán distribuidos de la siguiente forma (Ver Figura 72):

Figura 72. Número y Ubicación de Sensores

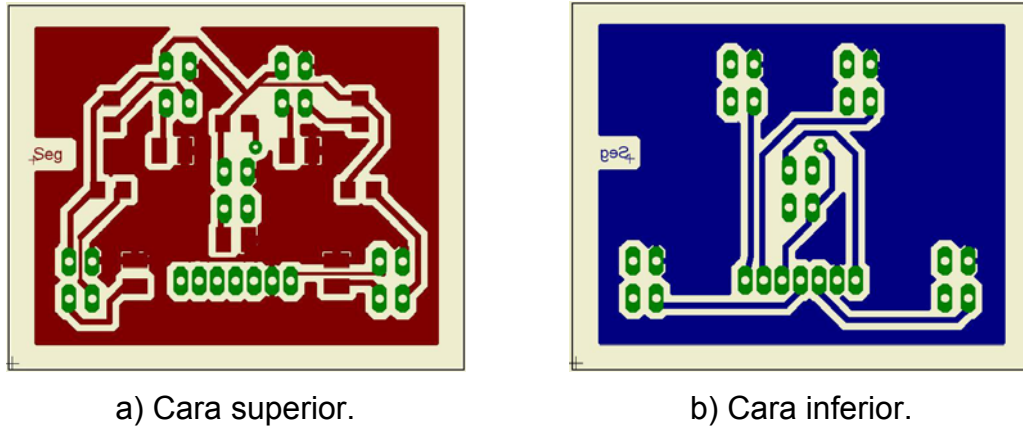


Los sensores 1 y 2 son los encargados del seguimiento de la línea guía, de la detección de discontinuidades en asocio con el sensor 3 y de la detección de cruces o intersecciones en asocio con los sensores 4 y 5. Esta configuración es la que durante todas las competencias ha entregado los mejores resultados en términos de confiabilidad.

El diagrama esquemático de la polarización de los sensores se encuentra en el Anexo C.

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta los parámetros de diseño electrónico establecidos al comienzo de esta fase del proyecto. La figura 73 representa los enrutados del sistema seguidor de línea.

Figura 73. Enrutado sistema seguidor de línea.



Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Cinco sensores NTE3105 ubicados según la figura 72.
3. Siete pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y los restantes a la salida analógica de cada uno de los sensores (Ver anexo C)
4. Los sensores tendrán una base donde podrán encajar y ser cambiados cuantas veces sea necesario.
5. Las resistencias de polarización para el diodo emisor y para el fototransistor se definirán a continuación:

-Resistencia de polarizado del LED de IR=100Ω para corriente de 37mA.

$$R_{LED} = \frac{V_{CC} - 1.25}{37 \times 10^{-3}} = 101.35\Omega \approx 100\Omega$$

-La resistencia de polarizado del transistor se ajusto experimentalmente tratando de obtener la mayor variación de voltaje entre colores

contrastados (en este caso el blanco y el negro). El valor se ajusto a 100k Ω .

6. Para obtener la mayor variación de voltaje entre colores contrastados se recomienda que la distancia entre el sensor y la superficie este en un rango de 3 a 4 milímetros.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 50x40x15mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S7B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9407 hecho por la compañía Molex.
4. El plano de tierra va alrededor del circuito.
5. Se instaló una base para cada uno de los sensores, lo que permite su fácil reemplazo en caso de daño o deterioro.

Características de Uso

1. El modulo posee cinco salidas analógicas procedentes de cada uno de los sensores, las cuales pueden ser usadas independientemente cuando se desee realizar una practica diferente a las mencionadas anteriormente.
2. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.

Características de Mantenimiento

1. Revisar los dispositivos de emisión y de recepción de los sensores ya que pueden estar sucios u obstruidos. El sistema puede presentar fallas en la lectura si no se tiene presente esta recomendación.

3.7.2. Módulo sensor de encoder

Es el encargado de darle al robot la capacidad de reconocer las variaciones de colores contrastados que se encuentren en un encoder. En este caso el encoder está construido con variaciones uniformes del color blanco y negro¹ a lo largo de un disco de aproximadamente 12 centímetros de diámetro que esta instalado en una de las llantas del sistema de locomoción en modo triciclo. El diseño de este sistema busca otorgar al móvil la capacidad de realizar movimientos controlados de la velocidad, la dirección y el espacio, con esto se consigue realizar tareas específicas determinadas anteriormente por el usuario.

Este módulo se puede ubicar junto a cualquiera de las ruedas, derecha o izquierda, dependiendo de cual sea la rueda que tiene el encoder. De igual forma que con el módulo seguidor de línea, este módulo se pintó de negro mate en la superficie que rodea el sensor.

Debido a que este módulo solo se puede utilizar en modo triciclo, el espacio que éste deja libre en la estructura cuando se ensambla el sistema en modo oruga, se aprovecha para utilizarlo como espacio de ensamble con este medio de locomoción.

¹ Como se mencionó en el módulo seguidor de línea, los colores oscuros de contraste deben tener acabado mate.

Figura 74. Ubicación del módulo sensor de encoder

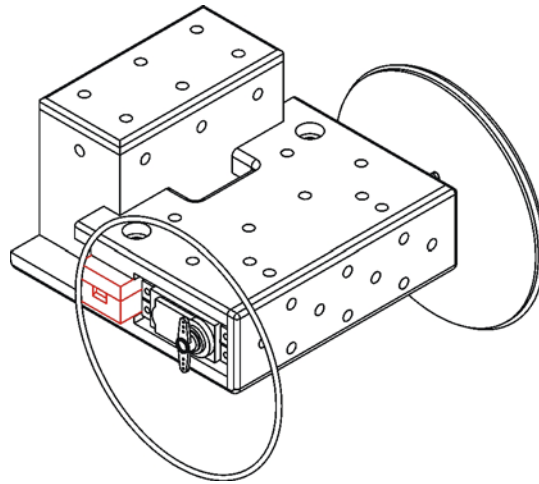
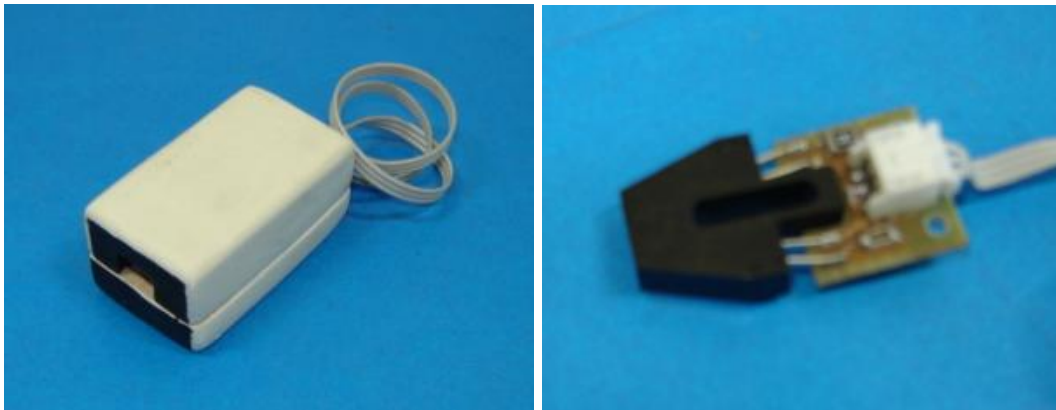


Figura 75. Módulo sensor de encoder y tarjeta electrónica.



Requerimientos

Para los dispositivos sensores de encoder se necesita:

- Preferiblemente con cubierta aisladora de iluminación ya que este dispositivo estará situado en un lugar donde incide más la iluminación del entorno.
- Tamaño de la tarjeta 32x18mm.

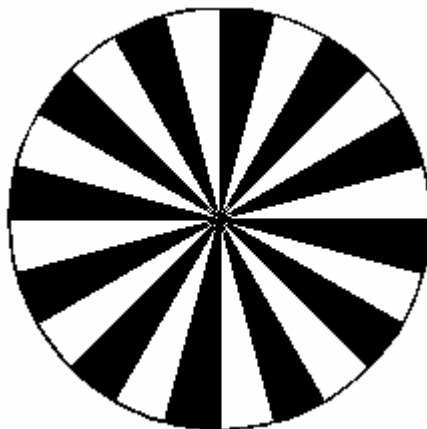
Diseño Electrónico

Al igual que el seguidor de línea, la mayoría de los sensores de encoder utiliza el principio físico de la luz infrarroja (IR), por lo tanto para este sistema se utiliza también la configuración tipo reflex debido a la naturaleza del encoder. La información detallada del funcionamiento y polarización de esta configuración se encuentra documentada en el Anexo C.

Elaboración y selección de alternativas

Para determinar cuales serán las alternativas iniciales para la construcción del sistema, se utiliza el mismo cuadro comparativo mostrado en la tabla 20, sin embargo se utilizan diferentes parámetros de escogencia ya que la aplicación varía considerablemente. Uno de estos parámetros es la característica física del encoder, ya que como se mencionó anteriormente es un disco que posee variaciones uniformes del color blanco y del color negro mate. (Ver figura 76).

Figura 76. Diseño de un encoder.



El ancho de cada franja de color determina la cantidad de divisiones que tiene el encoder y directamente esta cantidad de divisiones define la precisión con la que el móvil puede calcular las variables de velocidad, dirección y espacio recorrido. Se han realizado diferentes pruebas para encontrar un número de divisiones que brinden una resolución satisfactoria para realizar movimientos, en este caso el numero de divisiones depende directamente del perímetro de la circunferencia, que en este caso es de 40cm por lo tanto si se quiere alcanzar una precisión de 1cm se hace necesario tener un disco con 40 divisiones y si se quiere aumentar la precisión se deben aumentar el numero de divisiones teniendo en cuenta la siguiente formula

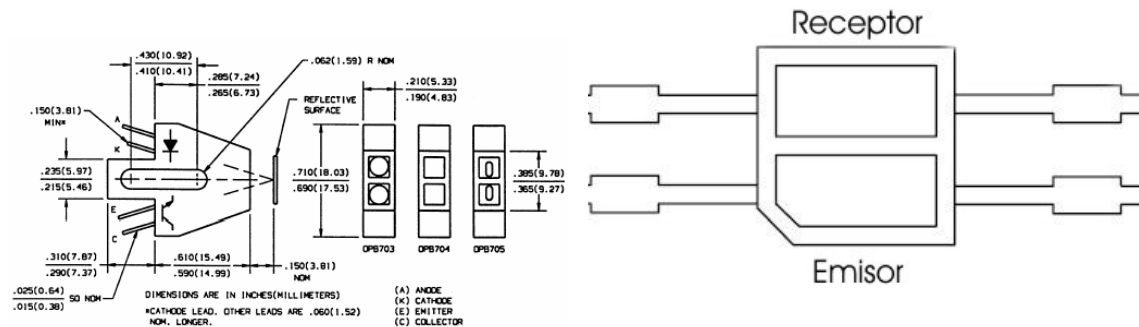
Precisión en avance = $\text{Perímetro (40cm)} / \text{N}^\circ \text{ de divisiones}$

Precisión Angular= $360^\circ / (\text{Perímetro móvil (56cm)} / \text{precisión en avance})$

Por lo tanto se estimo usar un encoder de 57 divisiones, que implica tener una precisión de avance de 0.7cm y una precisión angular de 4.5° en una de las llantas, y en la otra un encoder de 40 divisiones para tener precisión de avance de 1cm, y angular de 6.4° .

De acuerdo a los requerimientos se hace necesario un dispositivo de baja potencia que tenga una cubierta aisladora y que cumpla con el tamaño limitado por la dimensión de la franja. Por lo tanto se escogieron solo dos elementos que cumplieran mayoritariamente con estos parámetros (Ver tabla 20). De esta forma los sensores escogidos para desarrollar este sistema se muestran en la figura 77.

Figura 77. Ideas iniciales de sensores de encoder.



a) sensor OPB704.

b) sensor NTE3105.

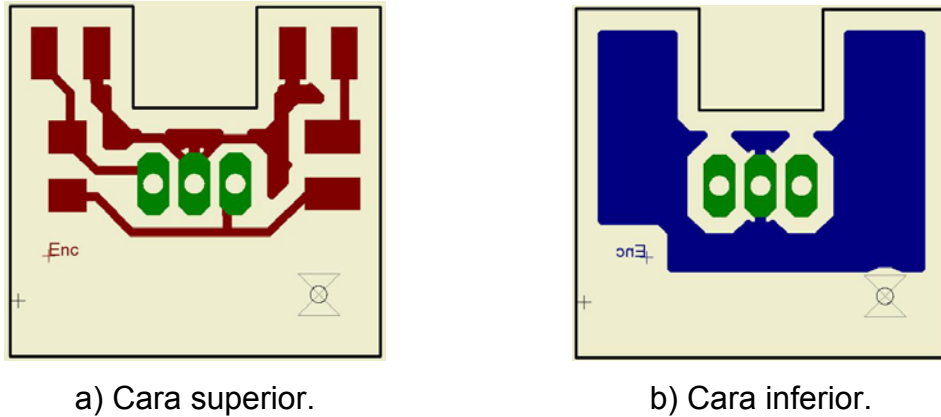
La *alternativa a* posee un gran tamaño, sin embargo tiene una cubierta que lo aísla del exterior y unos lentes especiales que impiden el paso de partículas de polvo, lo que aumenta considerablemente su inmunidad a la iluminación del ambiente. El ancho de este sensor es de 5.33mm. La *alternativa b* posee características similares en cuanto a consumo de potencia y tamaño (4mm). Sin embargo posee una desventaja que lo elimina por completo del diseño y es el bajo aislamiento del medio externo, ya que presentaría problemas de medición cuando una fuente de luz sea lo suficientemente fuerte como para saturar el transistor y eliminar por completo cualquier posibilidad de medida.

Diseño electrónico e implementación

El diagrama esquemático de la polarización del sensor se encuentra en el anexo C.

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta los parámetros de diseño electrónico.

Figura 78. Enrutado sistema sensor de encoder.



Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Un sensor OPB704.
3. Tres pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y uno a la salida analógica del sensor (Ver anexo C).
4. Las resistencias de polarización para el diodo emisor y para el fototransistor se definirán a continuación:
 - Resistencia de polarizado del LED de IR=100Ω para corriente de 37mA.

$$R_{LED} = \frac{V_{CC} - 1.25}{37 \times 10^{-3}} = 101.35\Omega \approx 100\Omega$$

- La resistencia de polarizado del transistor se ajusto experimentalmente tratando de obtener la mayor variación de voltaje entre el blanco y el

negro a una distancia de 4mm según lo recomienda el fabricante¹. El valor se ajusto a 10k Ω .

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 35x18x7mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S3B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9403 hecho por la compañía Molex.

Características de Uso

1. Se recomienda implementar un algoritmo en el sistema de control que ajuste automáticamente el valor que determina la variación de color una vez se enciende el dispositivo y así disminuir el ruido de la iluminación exterior.
2. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.
3. El sensor debe estar alineado paralelamente a la franja del encoder para evitar mediciones erróneas.

Características de Mantenimiento

1. Revisar los dispositivos de emisión y de recepción de los sensores ya que pueden estar sucios u obstruidos. El sistema puede presentar fallas en la lectura si no se tiene presente esta recomendación.

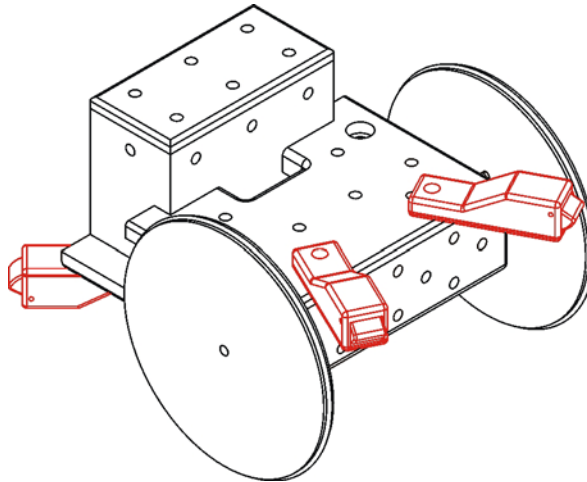
¹ OPTEK Technology Inc., Reflective Object Sensors, Product Bulletin OPB703

3.7.3. Módulo sensor de contacto.

Este subsistema le brinda la capacidad al móvil de detectar la presencia de un obstáculo mediante el contacto físico que tenga con éste.

La posición más usual de estos módulos está orientada en la dirección del movimiento del sistema, hacia delante o atrás, y para facilitar la detección de objetos al momento de girar, se ubican en forma diagonal; de igual forma, de acuerdo a la aplicación que se desee configurar, es posible ubicarlo en cualquier otra posición en la estructura.

Figura 79. Ubicación del módulo sensor de contacto.



En el diseño de este módulo se buscó las dimensiones mínimas posibles pero que permitiera ser utilizado en la parte frontal de la estructura sin necesidad de usar los accesorios de montaje. También fue necesario garantizar que la pieza que activa el sensor al tocar algún objeto tuviera poco rozamiento en su montaje para lograr una adecuada sensibilidad del módulo de acuerdo con la fuerza con que se mueve el sistema.

Figura 80. Sensor de contacto y su módulo.



Requerimientos

- Sensibilidad al contacto con objetos rígidos
- Tamaño reducido
- Bajo costo

Diseño Electrónico

Para la implementación de este sistema se utilizaron bumpers de dos estados los cuales son de fácil consecución a nivel local, éstos cumplen con los requerimientos de tamaño y costo, además poseen un sistema de accionamiento que permite saber de una manera sencilla cuando se ha entrado en contacto con un objeto.

Los bumpers seleccionados poseen tres pines de conexión, NO (normalmente abierto), NC (Normalmente cerrado) y un terminal llamado común. En condiciones normales el terminal común se encuentra unido al terminal NC, cuando se ejerce una fuerza física sobre una lámina ubicada en la parte superior del bumper, ésta acciona el dispositivo haciendo que el terminal común pierda el contacto con el terminal NC y se una al terminal NO.

En la implementación de este sistema se optó por conectar el terminal NO un nivel de tensión alto (5V), mientras que el terminal NC es conectado a tierra, el terminal común tiene un contacto a través del módulo de conectores con uno de los puertos del microcontrolador el cual gracias a su característica de alta impedancia permite realizar ésta conexión. De esta forma, en estado normal el puerto del microcontrolador recibe una tensión aproximada de 0V, cambiando a 5V cuando un obstáculo acciona el interruptor.

No se hizo necesario elaborar la tarjeta de circuito impreso debido al funcionamiento sencillo del interruptor.

Características generales de implementación final

Se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Un bumper de dos estados
3. Tres pines de conexión, uno para la tensión de alimentación, otro para la tierra y el restante es para el envío del dato de estado del interruptor.
4. Sensibilidad al contacto con objetos rígidos.
5. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9403 hecho por la compañía Molex.

Características de Uso

1. Se implementaron dos módulos de contacto, estos se deben ubicar en la periferia del móvil para su correcto uso

2. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.

Características de Mantenimiento

1. Si el modulo no presenta un normal funcionamiento revisar el estado de los interruptores verificando el cambio de estado que presenta el terminal común, por medio de una prueba de continuidad.
2. Garantizar el buen estado de los conectores y cables que hacen parte del módulo.

3.7.4. Módulo sensor de distancia por infrarrojo.

Este módulo tiene la capacidad de detectar objetos y determinar la distancia a la que se encuentra. El principio físico de funcionamiento es la luz en el rango del infrarrojo lo que implica desarrollar o implementar una configuración tipo reflex (Ver anexo C) para evitar el contacto físico con el objeto a detectar.

Para determinar las dimensiones de este módulo y su punto de fijación con la estructura se tuvo en cuenta la forma particular del emisor y receptor que tiene el sensor utilizado, y la condición de poder utilizarse en la parte inferior de la estructura, ubicado detrás del módulo seguidor de línea y enfocado hacia delante para detectar los objetos a manipular y dirigir el sistema hacia éstos.

Figura 81. Ubicación del módulo sensor de distancia por infrarrojo.

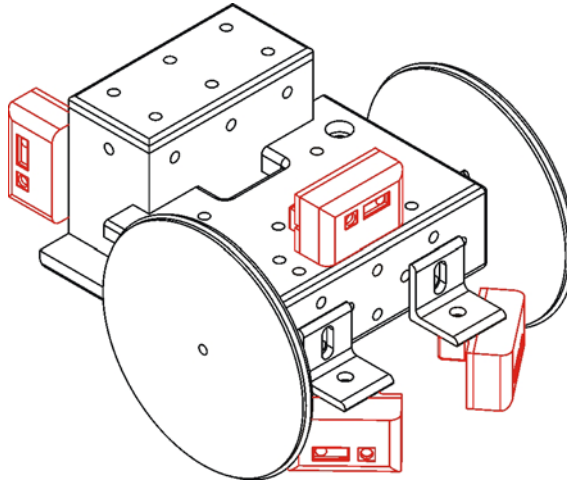


Figura 82. Sensor de distancia por infrarrojo y su módulo.



Requerimientos

Para los dispositivos sensores de distancia por infrarrojos se necesita:

- Distancia de medida de por lo menos 50cm.
- Preferiblemente con cubierta aisladora de iluminación ya que este dispositivo estará situado en un lugar donde incide más la iluminación del entorno.
- Tamaño de la tarjeta 45x15mm.
- Bajo costo.

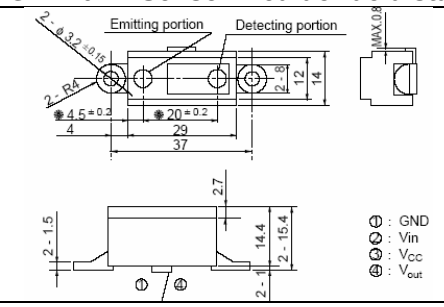
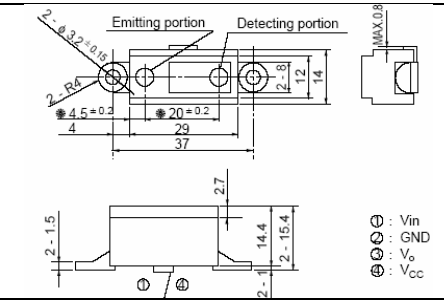
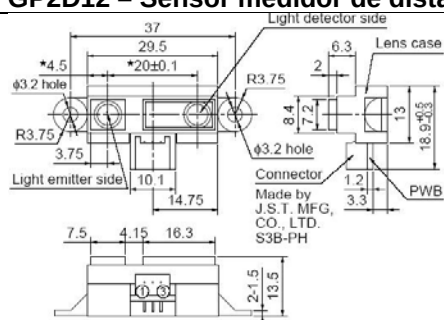
Diseño Electrónico

Elaboración y selección de alternativas

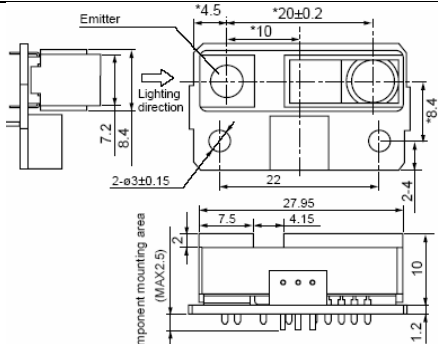
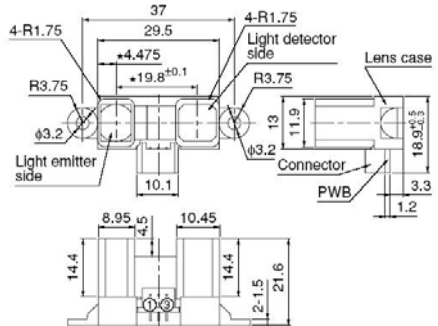
De acuerdo a la investigación hecha y al trabajo desarrollado durante las competencias a nivel nacional a las que se ha asistido se tienen dos alternativas para la escogencia de la configuración de medición de distancia por infrarrojo. La primera es implementar una configuración emisor-receptor infrarrojo discreto donde el emisor se encuentra modulado por un tren de pulsos a una determinada frecuencia y el receptor posee un circuito adicional (filtrado y amplificación) para detectar únicamente la frecuencia específica de emisión. Sin embargo durante la práctica se observó que esta configuración presenta grandes problemas de saturación en el receptor cuando se trabaja bajo la luz del sol, lo que hace imposible su correcto funcionamiento. La segunda alternativa se encuentra en una familia de sensores de la compañía SHARP que posee diferentes dispositivos medidores de distancia que tienen resuelto en gran manera el problema de interferencia de la luz exterior. Se decidió trabajar con los sensores de distancia SHARP y se construyó un cuadro comparativo con los dispositivos que pueden hacer parte del sistema medidor de distancia (Ver tabla 21).

Todos los dispositivos de SHARP se basan en el principio de triangulación para realizar las medidas. El elemento a la izquierda de cada sensor es un led infrarrojo que emite un haz que será rebotado por el objeto y posteriormente recogido por el elemento situado a la derecha. Este último se conoce como PSD (*Position Sensing Device*, Dispositivo de Percepción de Posición) y puede entenderse como una lente situada sobre un arreglo de células sensibles a la luz infrarroja. Dependiendo del ángulo de incidencia del haz rebotado en la lente, se activa una u otra célula del arreglo lo que permite estimar la distancia a la que se encuentra el objeto.

Tabla 21. Cuadro comparativo de sensores medidores de distancia por infrarrojo.

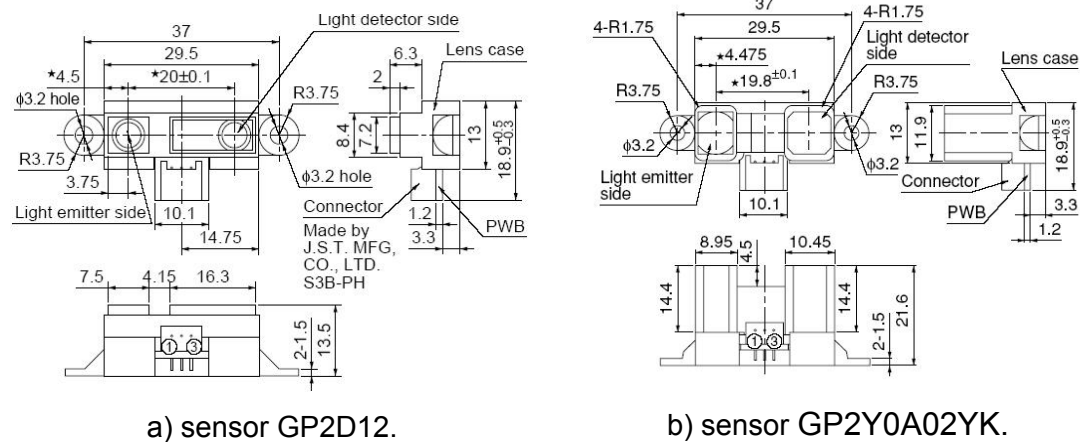
GP2D02 – Sensor medidor de distancia digital						
	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	4.4 – 7 V	35 mA	-----	10-80cm	\$50.000	Muy Baja
	La salida de este sensor es un dato de 8 bits proporcional a la distancia medida. Es necesario un pin de entrada al sensor para estimular la salida. (Microcontrolador). Posee 4 pines de conexión.					
GP2D05 – Sensor medidor de distancia de 1 bit						
	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	4.4 – 7 V	25 mA	-----	10-80cm	\$50.000	Muy Baja
	Indica mediante una salida lógica (0 o 1) si hay algún objeto dentro del alcance preestablecido. El rango se ajusta entre 10 y 80 cm. con la ayuda de una resistencia variable fácil de regular. Posee 4 pines de conexión.					
GP2D12 – Sensor medidor de distancia analógico						
	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	4.5 – 5.5 V	35 mA	-----	10-80cm	\$32.000	Media
	Salida analógica entre 0 y 3 voltios dependiendo de la distancia a la que se encuentre el objeto. La salida analógica no es lineal sino que sigue una curva. En aplicaciones de robótica móvil es común la utilización de un conversor analógico-digital con el que adaptar esa tensión para su tratamiento digital.					

Continuación Tabla 21.

GP2D15 – Sensor medidor de distancia de 1 bit						
	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	4.5 – 5.5 V	35 mA	-----	24cm	\$32.000	Muy Baja
	Indica mediante una salida digital si hay un objeto a menos de 24 cm. De forma continua, esto significa que no es necesario ningún tipo de circuito de control ni temporización externo.					
GP2Y0A02YK – Sensor medidor de distancia analógico						
	Voltaje	Corriente	Potencia Eléctrica	Distancia de Medida	Costo	Disponibilidad
	4.5 – 5.5 V	35 mA	-----	20-150cm	\$50.000	Baja
	Proporciona una lectura continua de la distancia medida como una tensión analógica dentro de un rango de 20 a 150 cm. El encapsulado es similar a otros sensores sharp, pero presenta una mayor distancia entre la lente y el sensor con el fin de aumentar el rango de trabajo.					

Por lo tanto se escogieron dos elementos que cumplieran mayoritariamente con los requerimientos (Ver tabla 21). De esta forma los sensores escogidos para desarrollar este sistema se muestran en la figura 83.

Figura 83. Ideas iniciales de sensores medidores de distancia infrarrojo.

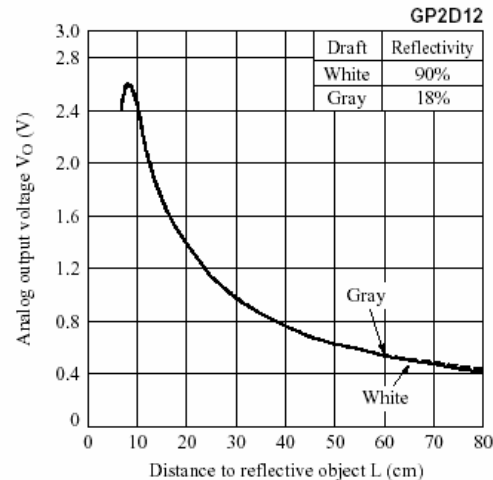


Las dos alternativas presentan características similares en cuanto a número de pines, polarización y forma de la señal de salida. Su inmunidad a la iluminación exterior es elevada y su consumo de potencia es reducido. Pero se hace necesario elegir solo uno y en este caso el factor decisivo para implementar este sistema es el precio de los dispositivos, ya que se necesitan por lo menos tres y la *alternativa b* resulta muy costosa. A pesar que la *alternativa b* presenta una medida de distancia muy superior a los requerimientos, la *alternativa a* satisface los parámetros de costo y distancia de medición por lo que es la elegida para desarrollar el módulo medidor de distancia por infrarrojo.

La salida analógica del GP2D12 no es lineal sino que sigue una curva como la que se muestra en la Figura 84. En aplicaciones de robótica móvil es común la utilización de un conversor analógico-digital con el que adaptar esa

tensión para su tratamiento digital. Cuando además interese conocer la medida con exactitud y no un valor aproximado de la cercanía de los objetos, se debe realizar una calibración del dispositivo que permita dar una magnitud de la distancia junto con una medida del error cometido.

Figura 84. Curva característica de la señal de salida del GP2D12.



Diseño electrónico e implementación

El modelo preliminar para comprobar el funcionamiento del sistema medidor de distancia por infrarrojo no requiere implementación en circuito impreso, ya que el sensor posee todos los elementos necesarios para funcionar correctamente y solo tiene tres pines de conexión para la respectiva alimentación y señal de salida.

Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Un sensor GP2D12.

3. Tres pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y uno a la salida analógica del sensor.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 45x15x20mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S3B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9403 hecho por la compañía Molex.

Características de Uso

1. Rango de medida 10 a 80 centímetros.
2. Si se necesitan mediciones exactas de la distancia es necesario desarrollar un programa que tenga en cuenta la curva característica de la señal de salida y que corrija el dato adquirido.
3. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.
4. El sensor posee una zona muerta entre los 0 y 10cm de distancia por lo tanto se recomienda instalar el sistema en un lugar donde nunca se puedan presentar objetos en esta zona.
5. El tiempo de actualización de los datos de las medidas realizadas es de 40ms, este dato es necesario tenerlo en cuenta para aplicaciones de alta velocidad.

Características de Mantenimiento

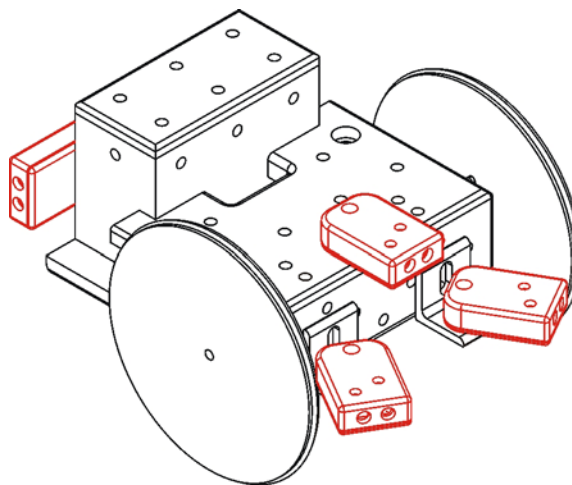
1. Revisar los dispositivos de emisión y de recepción de los sensores ya que pueden estar sucios u obstruidos. El sistema puede presentar fallas en la lectura si no se tiene presente esta recomendación.

3.7.5. Módulo sensor detector de objetos por infrarrojo.

Este sistema tiene la capacidad de detectar objetos cercanos, lo que permitirá al móvil desplazarse por lugares desconocidos sin colisionar con los elementos. El principio físico de funcionamiento es la luz en el rango del infrarrojo lo que implica desarrollar o implementar una vez más la configuración tipo reflex (Ver anexo C) para evitar el contacto físico con el objeto a detectar.

La ubicación de este módulo comúnmente se orienta hacia al frente, los costados, y en forma diagonal, pero al igual que todos los demás módulos, esto depende de la intención de la aplicación y de la creatividad del usuario.

Figura 85. Ubicación del módulo sensor detector de objetos por infrarrojo.



En este módulo fue necesario garantizar la funcionalidad del emisor y el receptor dándole un espacio lo suficientemente amplio para que los rayos infrarrojos puedan hacer su recorrido normal. También se requería dejar acceso al potenciómetro con el cual se gradúa el alcance del sensor y visibilidad del LED que indica cuando un objeto está siendo detectado.

Figura 86. Módulo sensor detector de objetos por infrarrojo y tarjeta electrónica.



Requerimientos

Para los dispositivos sensor detector de objetos por infrarrojos se necesita:

- Salida digital.
- Se debe tener la opción de calibrar la distancia de detección.
- Distancia de detección de por lo menos 5cm.
- Preferiblemente con cubierta aisladora de iluminación ya que este dispositivo estará situado en un lugar donde incide más la iluminación del entorno.
- Tamaño de la tarjeta 25x20mm.

Diseño Electrónico

Elaboración y selección de alternativas

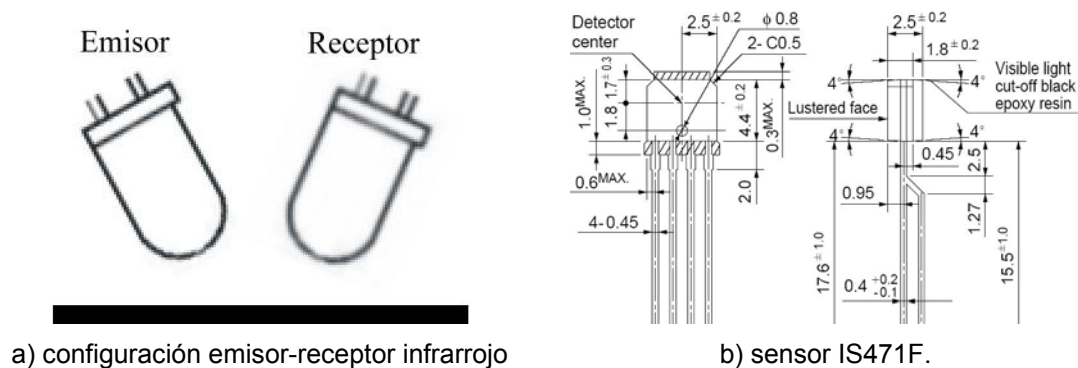
Para determinar cuales serán las alternativas iniciales para la construcción del sistema, se utilizara el mismo cuadro comparativo citado en el numeral 3.7.1 (Ver Tabla 19), sin embargo se aplicaran diferentes parámetros de escogencia ya que la aplicación varía considerablemente.

De acuerdo a la investigación hecha y a la experiencia adquirida en el trabajo desarrollado en el grupo ERA para competencias a nivel nacional, se proponen dos alternativas para la selección de la configuración de detección

de objetos por infrarrojo. Los sensores que se escogieron para desarrollar este sistema se muestran en la figura 87.

La primera alternativa es implementar una configuración emisor-receptor infrarrojo discreto donde el emisor se encuentra modulado por un tren de pulsos a una determinada frecuencia y el receptor posee un circuito adicional (filtrado y amplificación) para detectar únicamente la frecuencia específica de emisión. Sin embargo como se menciona en el numeral 3.7.3 se observó que esta configuración presenta grandes problemas de saturación en el receptor cuando se trabaja bajo la luz del sol lo que hace imposible su correcto funcionamiento. La segunda alternativa se encuentra en un sensor de la compañía SHARP que tiene la característica de ser un generador de señal de 8KHz que sirve para alimentar al emisor infrarrojo y al mismo tiempo recibe y se activa únicamente cuando detecta una señal con la misma frecuencia que la emitida. Esto permite gran inmunidad al ruido y al usarse un emisor de alta potencia se tiene la capacidad de detectar distancias de hasta 7cm. También si se pone en serie con el diodo emisor un potenciómetro, se puede controlar la intensidad del haz emitido y en consecuencia la distancia de detección. Por las razones anteriormente expuestas se decidió implementar el modulo detector de objetos por infrarrojo con la *alternativa b*.

Figura 87. Ideas iniciales de sensores detectores de objetos por infrarrojo.



Diseño electrónico e implementación

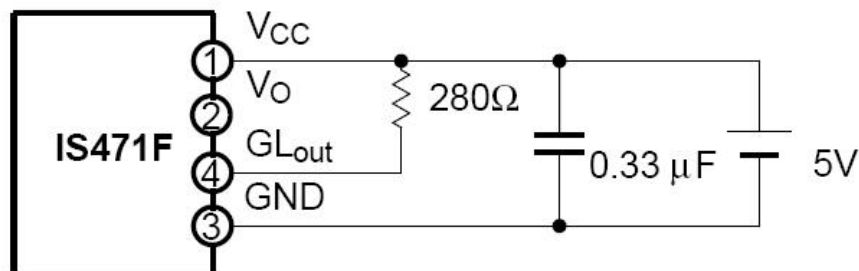
El sensor IS471F posee cuatro pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación, uno a la salida digital y por último, el encargado de enviar una señal modulada a 8KHz la cual se conecta a uno de los pines de un emisor con el fin de generar el haz infrarrojo. Con esto se crea un sensor detector de distancia tipo reflex, el cual se activa únicamente cuando detecta la señal modulada producida por el mismo.

La confiabilidad de este dispositivo en ambientes de alta iluminación se debe a las diferentes etapas internas que permiten un tratamiento especial para eliminar las señales que no son emitidas por el dispositivo.

Las más destacables son:

- Oscilador interno
- Circuito demodulador
- Circuito detector de sincronía.
- Regulador de voltaje.
- Comparador.
- Amplificador.

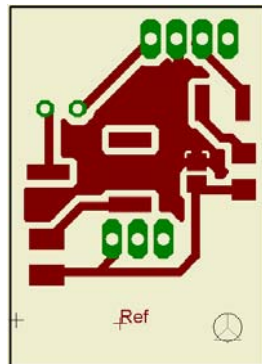
Figura 88. Diagrama esquemático del sensor IS471F.



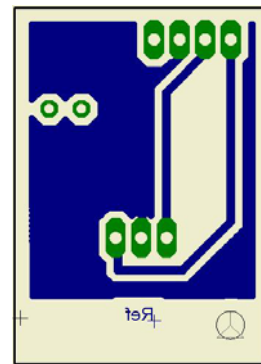
Para permitir la variación de la distancia de detección se adiciono un potenciómetro en serie con el emisor infrarrojo, para ajustar la intensidad del haz emitido. También se adiciono un led rojo para informar al usuario cuando se detecta un objeto y al mismo tiempo para calibrar la distancia de detección.

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta los parámetros de diseño electrónico. La figura 89 representa los enrutados del sistema sensor de encoder.

Figura 89. Enrutado sistema detector de objetos por infrarrojos.



a) Cara superior.



b) Cara inferior.

Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Un sensor IS471F.
3. Tres pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y uno a la salida digital del sensor.

4. El potenciómetro de ajuste de intensidad será de 500Ω y tendrá otra resistencia de 47Ω en serie para evitar que el diodo emisor quede conectado directamente a la alimentación cuando el potenciómetro este en 0Ω .
5. El dispositivo tendrá un led indicador que permitirá al usuario calibrar la distancia de detección dependiendo de la experiencia que intente realizar.
6. La cubierta de este sistema debe garantizar que exista un completo aislamiento entre el led emisor y el dispositivo receptor, ya que se presentaron problemas de medición cuando el aislamiento era pobre.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 28x20x8mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S3B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9403 hecho por la compañía Molex.

Características de Uso

1. El dispositivo cumple con los requerimientos iniciales, su rango de medida oscila entre 0.5cm y 8cm para el color blanco. Cabe resaltar que la distancia de medida varia para diferentes colores y una misma posición del potenciómetro, debido a que los colores diferentes del blanco absorben una parte de la intensidad del haz emitido lo que disminuye la distancia de detección.
2. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.
3. La salida del sensor es un uno lógico cuando no existe objeto y un cero lógico cuando se detecta un objeto.

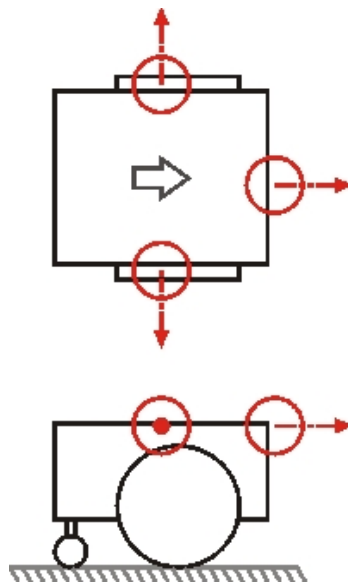
Características de Mantenimiento

1. Revisar los dispositivos de emisión y de recepción de los sensores ya que pueden estar sucios u obstruidos. El sistema puede presentar fallas en la lectura si no se tiene presente esta recomendación.

3.7.6. Módulo sensor de distancia por ultrasonido.

Este sistema le brinda al móvil la capacidad de identificar y medir la distancia a la cual se encuentra un objeto de superficie plana.

Figura 90. Ubicación del módulo sensor detector de objetos por ultrasonido.



Requerimientos

- Voltaje de alimentación 5VDC.
- Tamaño reducido.
- Poca interferencia causada por el medio.
- Alcance entre 20cm y 2m

Diseño Electrónico

Elaboración y selección de alternativas

El principio físico usado para la implementación de este sistema, es el sonido emitido a altas frecuencias más conocido como ultrasonido, este tipo de ondas posee características que las hacen muy adecuadas para nuestra aplicación, tales son la alta directividad, el largo alcance, y la poca influencia que tiene el tipo de superficie del objeto a sensor en la reflexión de las mismas.

En el desarrollo del sistema se debe considerar las características físicas y eléctricas del sensor, la naturaleza de las ondas transmitidas, al igual que la ubicación que tendrá en el móvil el sistema completo.

Con base en la investigación realizada se tenían dos alternativas:

1. *Sensor (40TR12B).*
2. *Sensor (TR40-16).*

Los dos cumplen con los requerimientos de alimentación, tamaño reducido. En la tabla 21 se puede apreciar la comparación de las dos opciones que se consideraron en la selección de los sensores a utilizar en este sistema.

Tabla 22. Características sensor ultrasónico 40TR12B y TR40-16

Especificaciones	40TR12B	TR40-16
Frecuencia de resonancia	40Khz	40Khz
Presión del sonido (Db)	115<	112<
Sensibilidad (Db)	-64 <	-67 <
Diámetro (mm)	16.2mm	12.7mm
Peso (gr)	12.2gr	9.4gr

Los factores más importantes para tomar una decisión respecto a cual dispositivo utilizar se centran en el tamaño y el alcance que se puede obtener con ellos.

La primer *alternativa*, el sensor (40TR12B) aunque tiene un menor tamaño, presenta una menor sensibilidad comparado con la segunda alternativa (TR40-16); concluyéndose que la ultima opción brinda un alcance mayor al sistema. Debido a la poca disponibilidad de estos últimos se optó por utilizar la referencia 40TR12B los cuales presentaron un buen desempeño, haciendo que el sistema cumpliera con los requisitos propuestos.

Cada sistema posee una pareja de sensores emisor-receptor separados por una distancia de aproximadamente 1cm, garantizando que el receptor sea excitado solo por la señal reflejada y no sea afectado por la señal emitida.

Características generales de implementación final

El funcionamiento del sensor de distancia ultrasónico se basa en la emisión de un tren de pulsos con frecuencia 40Khz durante un breve periodo de tiempo, esta onda generada viaja por el aire hasta chocar con el objeto y reflejarse, después de esto la onda retorna al sistema donde se acondiciona y se mide el tiempo que tardó en llegar para de esta forma obtener la información de la distancia a la cual se encuentra el objeto. La explicación detallada sobre el funcionamiento de este sistema se dividió en dos etapas una de emisión y otra de recepción que se explican a continuación

Etapas de emisión

Esta etapa se encarga de generar las ondas necesarias para el correcto funcionamiento del sistema, una de estas ondas es un tren de pulsos con ciclo de trabajo del 50% y frecuencia 40Khz, emitido durante un tiempo de 0.44 milisegundos y repitiéndose cada 65 milisegundos, llamada onda de

emisión, dicha onda se puede apreciar en la figura 91. y se implementó con el microcontrolador MC908QT4 fabricado por freescale.

Figura 91. Forma de onda señal de emisión.



La segunda onda es un pulso con duración igual a 0.44 milisegundos que se repite cada 65 milisegundos, esta onda puede ser llamada pulso de transmisión ya que precisamente el tiempo que dura el pulso es igual al tiempo en que se emite la onda ultrasónica de 40Khz, en la figura 92 se puede apreciar dicha forma de onda.

Figura 92. Forma de onda pulso de transmisión.



Para aumentar la efectividad del emisor ultrasónico se optó por aplicar en uno de sus terminales la onda de emisión, mientras que en su otro extremo la versión invertida de la misma, para esto se utilizó el amplificador operacional TLV2462A²³ configurado como inversor, además de esto se hacía necesario aumentar la amplitud de los pulsos generados por el microcontrolador ya que a la hora de sensar objetos pequeños, la amplitud

²³ Texas instrument. Family of low-power rail-to-rail input/output operational amplifiers with shutdown. www.ti.com.

Etapas de filtrado y amplificación

La onda ultrasónica luego de ser emitida por el circuito transmisor viaja por el aire hasta chocar con la superficie del objeto a sensor, allí es reflejada y regresa al sistema ultrasónico.

Esta etapa del circuito receptor se encarga de captar esta onda, filtrarla y amplificarla.

Inicialmente la onda es recibida por el sensor ultrasónico, luego pasa por dos sub-etapas donde es filtrada y amplificada a la vez, cada subetapa es un filtro pasa-altas de primer orden implementado con el amplificador operacional TLV2462A, Obteniendo las siguientes características

Tabla 23. Características etapas circuito receptor.

Características	Primer subetapa	Segunda subetapa
Ganancia de alta frecuencia	-100 v/v	-10 v/v
Frecuencia de corte	15.9KHz	15.9KHz

Obteniéndose una ganancia total de 1000V/V. La razón por la cual las entradas no inversoras de los operacionales se encuentran a un nivel de tensión de $V_{cc}/2$ es para poder amplificar la parte tanto positiva como negativa de la onda recibida.

Etapas de rectificación

Esta etapa como su nombre lo indica, se encarga de rectificar la onda proveniente de la etapa anterior, a su entrada se encuentra un condensador que elimina el nivel DC que tiene la onda, luego se realiza la rectificación mediante un rectificador de media onda utilizando diodos 1N4448 los cuales

son usados en aplicaciones de alta frecuencia debido a su corto tiempo de recuperación.

Figura 94. Diagrama esquemático de la etapa de filtrado y amplificación.

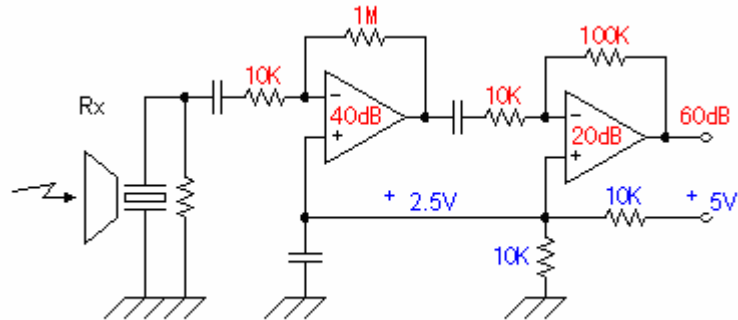
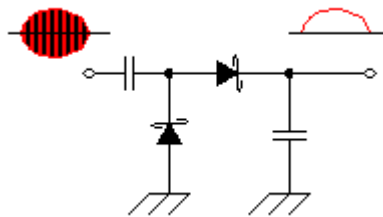


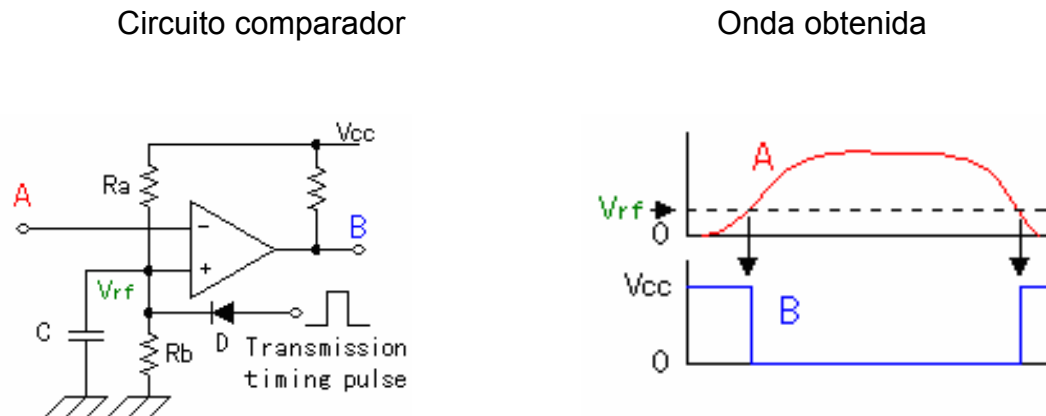
Figura 95. Diagrama esquemático de la etapa de rectificación.



Etapa de comparación

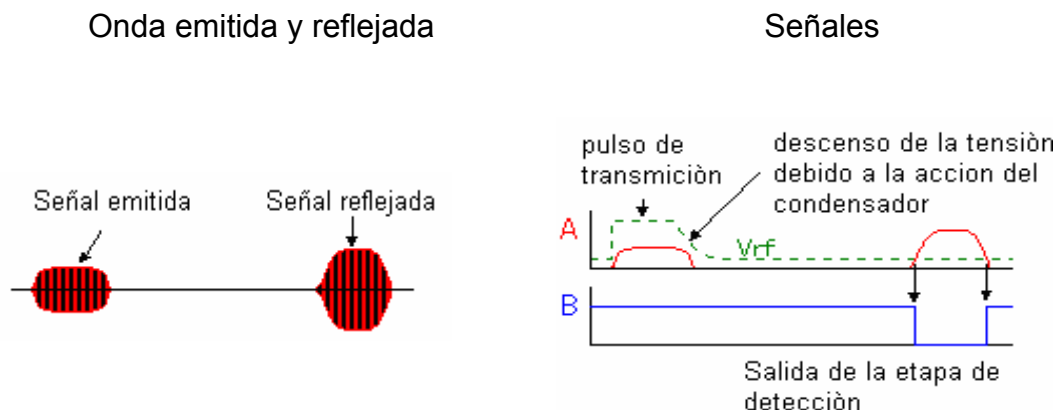
Este circuito se encarga de detectar la onda ultrasónica reflejada por el objeto. La salida del mismo se obtiene de un comparador implementado con el amplificador TLV2462, donde a su entrada inversora se aplica la onda proveniente de la etapa de rectificación, mientras que en su entrada no inversora se fija un nivel DC de aproximación 0.22V, de esta forma, cuando la onda proveniente de la etapa de rectificación supera el nivel DC fijado, la salida del circuito será un nivel lógico bajo (0V), en caso contrario la salida del comparador se mantiene en un nivel lógico alto (5V). Ver figura 96.

Figura 96. Comparación de onda



La onda proveniente de la etapa de rectificación se compone tanto de la onda emitida como de la onda reflejada, para diferenciarlas, se aplica a través de un diodo el pulso de transmisión de la onda ultrasónica a la entrada no inversora del amplificador, el cual al sumarse con el nivel DC hace que se incremente la tensión en dicho punto y gracias a la acción del condensador dicha tensión desciende en forma exponencial, esto hace que el comparador ignore la señal transmitida y realice su trabajo sólo con la señal reflejada.

Figura 97. Comparación de señales emitidas y reflejadas.



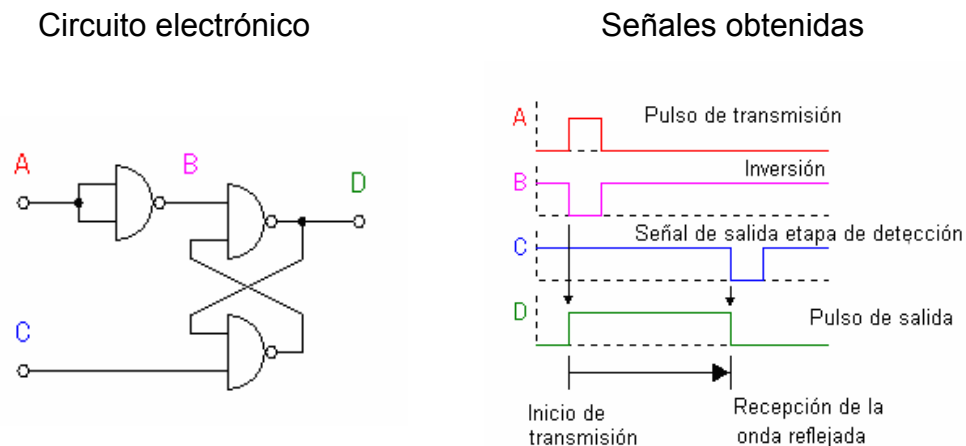
El valor del condensador, cumple un papel importante en el rango de medida que puede tener el sensor de distancia ultrasónico, ya que si éste es demasiado grande la tensión en la entrada no inversora desciende lentamente haciendo que la zona muerta del sensor aumente disminuyendo de esta forma el rango de medida del sensor.

Etapas de generación del pulso de salida

Esta etapa se encarga de generar un pulso con duración proporcional a la distancia medida por el sensor ultrasónico, para esto se implementa con un flip_flop SR, precedido por una compuerta NAND configurada como inversor el cual tiene como entrada el pulso de transmisión.

La salida del inversor es conectada directamente a la entrada S(set) del flip_flop, mientras que a su entrada R(reset) se aplica la señal proveniente de la etapa anterior, de esta manera, al iniciarse la emisión de la onda ultrasónica la salida del flip_flop pasa de un nivel lógico bajo a un nivel lógico alto, conservando su estado hasta cuando la señal reflejada es captada.

Figura 98. Diagrama esquemático y formas de onda presentes en la etapa de generación del pulso de salida.



Se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación 5V
2. Consumo de corriente 18mA
3. Alcance del sistema 3m.
4. El sistema tiene una zona muerta de 22cm aprox.
5. Tres pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y el restante es para el envío de una señal correspondiente a la distancia a la cual es detectado el objeto

Características de diseño de la tarjeta de circuito impreso

1. Conector usado para la comunicarse con la tarjeta de conectores S3BPH
2. Tamaño 4.8cm x 4.1cm x 0.7cm.
- 3 Conector usado para pines de entrada y salida S3B-PH hecho por la compañía JST LTD.
- 4 Debe existir una separación entre el emisor y el receptor para impedir que las vibraciones originadas al emitir la onda ultrasónica influyan en el comportamiento del receptor.
- 5 Se implementó el sistema en su mayoría con dispositivos de montaje superficial para disminuir tamaño y ruido en el sistema.

Características de Uso

1. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control
2. El sistema debe ubicarse a una altura mínima del piso de 4cm, para que las ondas no se reflejen con éste.

3. Para una lectura confiable de la distancia, el objeto debe situarse perpendicularmente al módulo.
4. El ancho mínimo de los cuerpos a sensor a distancias mayores de 1.5m debe ser de 15cm.
6. La señal de salida de este módulo es un pulso con duración proporcional a la distancia a la cual se encuentra el objeto.

Características de Mantenimiento

1. Revisar que el cable de comunicación no este partido, rasgado o presente alguna irregularidad.
2. Mantener los sensores ultrasónicos limpios y libres de cualquier cuerpo extraño que pueda interferir con su funcionamiento

3.7.7. Módulo rastreador de luz

Este sistema le da la propiedad al móvil de reconocer objetos luminosos y determinar el lugar de donde provienen. Esta capacidad puede ser aprovechada para que el móvil se acerque o se aleje de determinadas fuentes de luz, permitiendo desarrollar múltiples experiencias.

Dependiendo de la ubicación de la fuente de luz y del tipo de aplicación que se quiera hacer, este módulo puede ubicarse en la parte delantera o trasera de la estructura.

En este módulo es necesario que haya un aislamiento parcial de cada una de las tres fotoceldas para que pueda hacerse una diferenciación de la dirección de la cual proviene la luz (derecha, centro o izquierda). También se requería dejar acceso a los potenciómetros con los cuales se gradúa la sensibilidad de las fotoceldas y visibilidad de los LED's que indican cual de los sensores

está detectando luz. El usuario también puede variar la ubicación de los jumpers para cambiar la salida de cada sensor a modo análogo o digital.

Figura 99. Ubicación del módulo rastreador de luz.

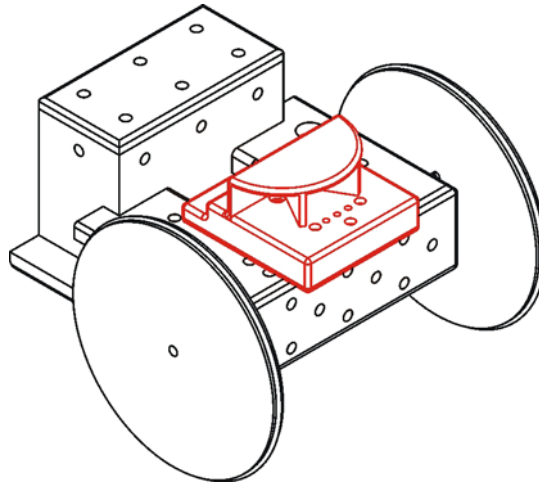


Figura 100. Módulo rastreador de luz y tarjeta electrónica.



Requerimientos

Para los dispositivos sensor rastreador de luz se necesita:

- El sistema debe tener la capacidad de detectar la dirección del objeto emisor de luz.
- Salida digital o análoga.

- Cuando el sistema esté en modo digital se dispondrá de potenciómetros para calibrar la sensibilidad del dispositivo.
- Rango de funcionalidad de por lo menos 1m, aunque esto dependerá de la intensidad del emisor de luz.
- Preferiblemente con cubierta aisladora de iluminación para cada sensor ya que este dispositivo estará situado en un lugar donde incide más la iluminación del entorno.
- Tamaño de la tarjeta 30x30mm.

Diseño Electrónico

Elaboración y selección de alternativas

Al tener presente los requerimientos en el diseño de este sistema se hace evidente que se necesita un dispositivo que sea sensible a la luz visible y que al mismo tiempo sea de reducido costo ya que se implementara más de uno para determinar la dirección de donde proviene el emisor de luz. El dispositivo que cumple con todas esas características y que al mismo tiempo necesita de un circuito simple para su funcionamiento es sin lugar a duda la fotocelda (Ver tabla 20), que al implementarla con una resistencia en serie y su respectiva polarización, se crea una variación de tensión proporcional a la iluminación que puede ser tomada como entrada analógica al conversor A/D de un microcontrolador o como entrada a un circuito comparador de voltaje si se requiere que la señal sea digital.

Diseño electrónico e implementación

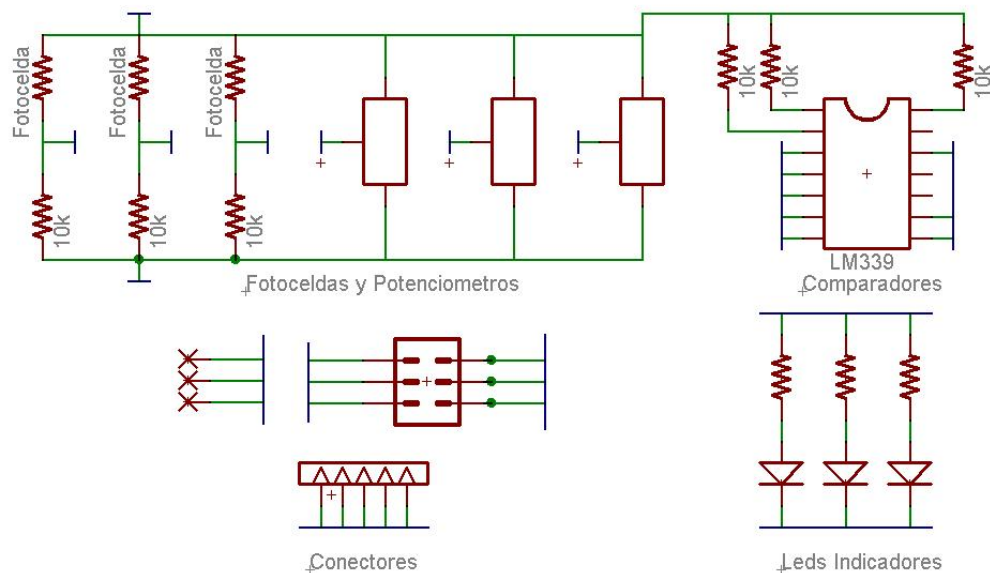
Teniendo escogido el dispositivo a usar para implementar el sistema, se busco solucionar el requerimiento de determinar la ubicación del emisor de luz. Esto se logra implementando una configuración de tres sensores dispuestos en un ángulo de 60° los unos de los otros, para lograr un ángulo

de detección total de 180°. Estos sensores deben estar cubiertos y aislados uno del otro para evitar errores en la ubicación.

Cuando el sistema este en modo analógico, la salida del dispositivo será la variación de voltaje en el divisor de tensión que se produce entre la fotocelda y la resistencia. Para dejar la opción al sistema de modo digital, se requiere adicionar comparadores de voltaje para establecer una variación digital de acuerdo a un voltaje de referencia que se puede determinar por medio de un potenciómetro. Esto se logra utilizando el circuito integrado LM339 que es un comparador de cuatro canales con compatibilidad TTL²⁵. La selección de modo digital o análogo se hace por medio de jumpers.

También se adiciona un led rojo para cada sensor cuando se encuentre en modo digital y de esta forma calibrar la sensibilidad de detección de luz.

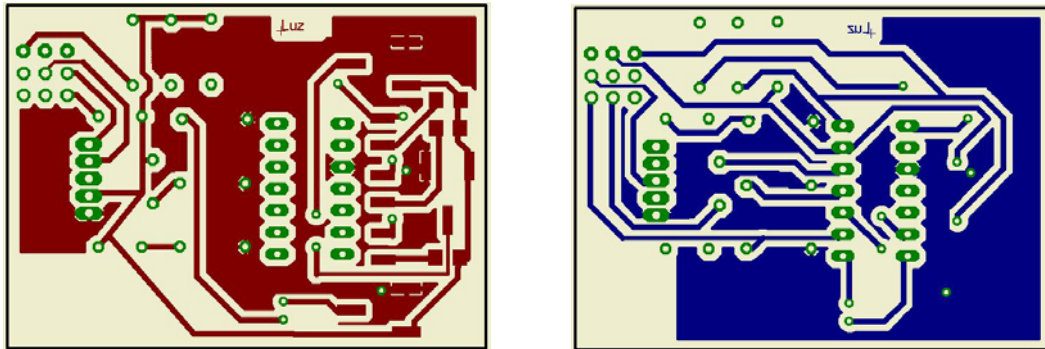
Figura 101. Diagrama esquemático del sistema rastreador de luz.



²⁵ Transistor-Transistor Logic o Lógica Transistor a Transistor

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta los parámetros de diseño electrónico. La figura 102 representa los enrutados del sistema rastreador de luz.

Figura 102. Enrutado sistema rastreador de luz.



a) Cara superior.

b) Cara inferior.

Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Tres fotoceldas distribuidas cada 60° para obtener un ángulo de detección de 180° frontales.
3. El modo analógico o digital se seleccionara por medio de un jumper para cada sensor.
4. El dispositivo tendrá un led indicador por cada sensor el cual permitirá al usuario calibrar la sensibilidad de detección de luz.
5. La etapa comparadora de voltaje se implementara con el circuito integrado LM339 el cual posee cuatro comparadores independientes.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 56x40x15mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S5B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9405 hecho por la compañía Molex.
4. Pines de conexión para seleccionar modo analógico o digital.

Características de Uso

1. El dispositivo tiene un rango de detección de 180°, por lo que el móvil tendrá una zona ciega que deberá eliminar al hacer giros de 180° cuando este explorando la iluminación del lugar.
2. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.
3. Se debe garantizar el aislamiento de cada uno de los sensores para que el dispositivo pueda detectar la ubicación de la fuente de luz.
4. Cinco pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y los tres restantes a la salida analógica o digital del dispositivo.

Características de Mantenimiento

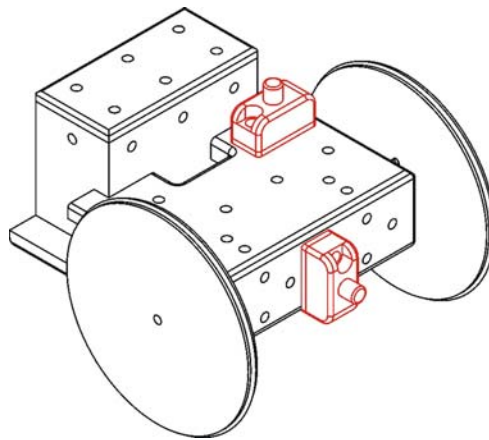
1. Revisar el área de recepción de los sensores ya que pueden estar sucios u obstruidos. El sistema puede presentar fallas en la lectura si no se tiene presente esta recomendación.
2. Revisar que la cubierta aisladora de los sensores este en buen estado antes de realizar cada una de las practicas.

3.7.8. Módulo sensor de temperatura.

Este módulo le da la capacidad al móvil de reconocer la temperatura ambiente del lugar donde se encuentre.

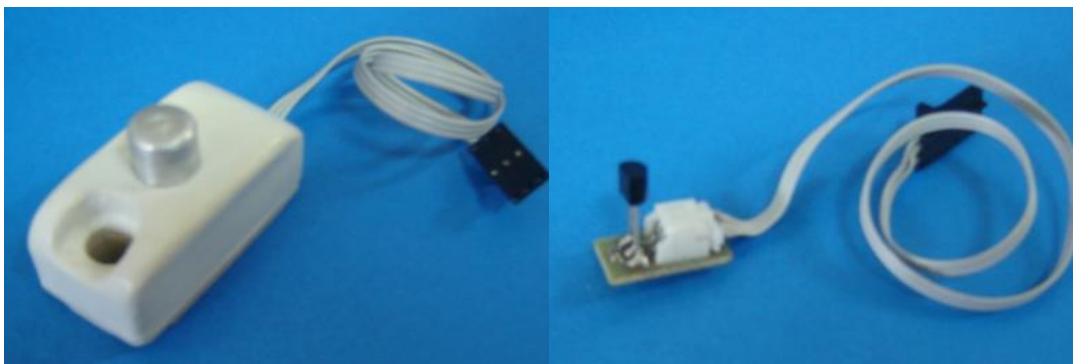
La ubicación de este módulo depende de la aplicación que se le vaya a dar al sistema, usualmente se ubica en la parte delantera o superior del móvil.

Figura 103. Ubicación del módulo sensor de temperatura.



La principal característica que debe tener este módulo es que el sensor no puede quedar aislado del ambiente, debe haber contacto directo entre el aire y el sensor, para que haya una correcta medición de la temperatura

Figura 104. Módulo sensor de temperatura y tarjeta electrónica.



Requerimientos

Para los dispositivos sensor de temperatura se necesita:

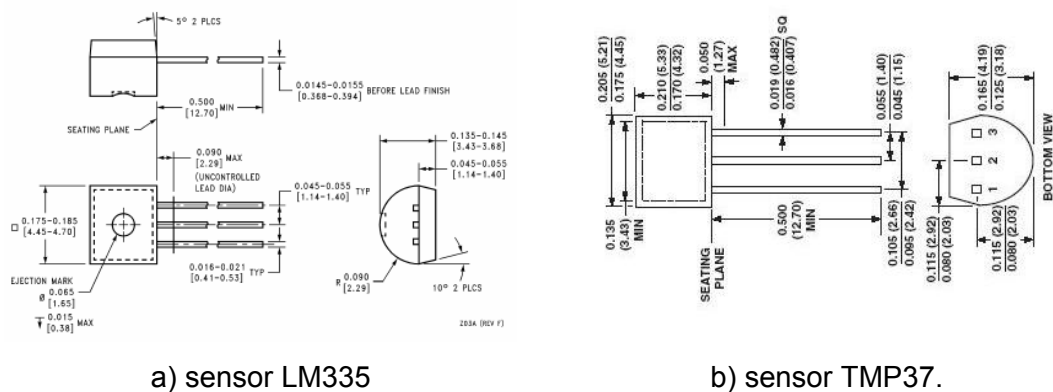
- Consumo reducido de potencia.
- Rango de medida de por lo menos 10°C a 100°C
- Tamaño de la tarjeta 15x10mm.
- Bajo costo.

Diseño Electrónico

Elaboración y selección de alternativas

Por ser un sistema tan sencillo de implementar, solo se investigaron dos alternativas que cumplieran con los requerimientos enunciados anteriormente. Los sensores escogidos para desarrollar este sistema se muestran en la figura 105.

Figura 105. Ideas iniciales de sensores de temperatura.



Las características más importantes de la *alternativa a* son:

- Salida de voltaje linealmente proporcional a la temperatura 10mV/°K.
- Rango de medida -40°C a 100°C.
- Para su polarización se hace necesario incluir una resistencia.
- El sensor necesita calibración.

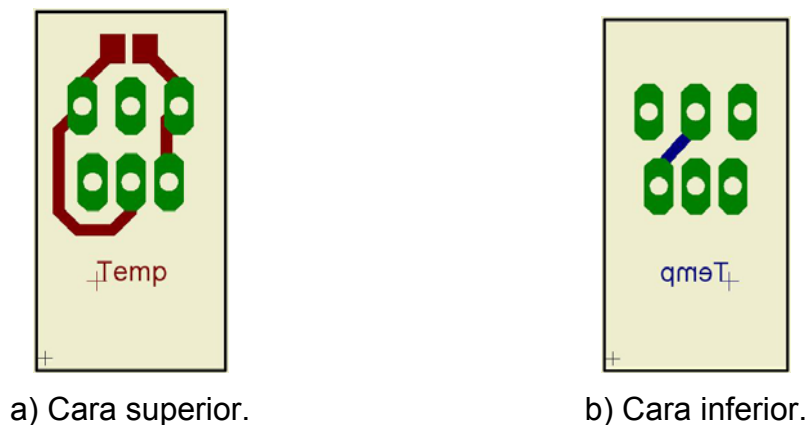
Las características más importantes de la *alternativa b* son:

- Salida de voltaje linealmente proporcional a la temperatura $20\text{mV}/^{\circ}\text{C}$.
- Rango de medida 5°C a 100°C .
- No requiere resistencia de polarización.
- Cuando el sensor tiene en su salida un voltaje de 500mV la temperatura es de 25°C .

Se busca un dispositivo que cumpla con los requerimientos establecidos y que al mismo tiempo tenga confiabilidad en los datos entregados. Por esta razón se elige la *alternativa b* ya que no requiere calibración, aumentado considerablemente la confiabilidad y por que el valor de temperatura representado en la tensión de salida, no requiere conversión a grados centígrados.

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta los parámetros de diseño electrónico. La figura 106 representa los enrutados del sistema rastreador de luz.

Figura 106. Enrutado sistema sensor de temperatura.



Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Un sensor TMP37.
3. Se adiciono un condensador de 0.1uF para evitar el posible rizado de la tensión de alimentación.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 20x10x16mm
2. Conector usado para pines de entrada y salida S3B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9403 hecho por la compañía Molex.

Características de Uso

1. El dispositivo tiene un rango de medida de 5°C a 100°C.
2. Para determinar la temperatura del ambiente se debe tener presente la salida lineal de 20mV/°C y que la temperatura de referencia 25°C equivalen a 500mV en la salida.
3. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.
4. Tres pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y uno a la salida analógica del sensor.

3.7.9. Módulo detector de sonido.

Es el encargado de darle al robot la capacidad de reconocer las variaciones significativas de los sonidos que se produzcan en el lugar de la aplicación y de esta forma reaccionar como el usuario determine. Con este sistema se hace posible realizar una aplicación con un grado mayor de interacción por parte del usuario al utilizar un estímulo tan común como una palmada o un grito.

La ubicación de este módulo es indiferente de la aplicación a realizar, pero lo recomendado es ubicarlo en la dirección de la cual proviene el sonido.

Figura 107. Ubicación del módulo detector de sonido.

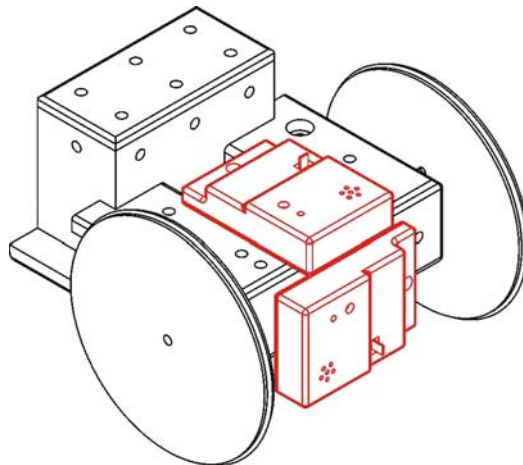
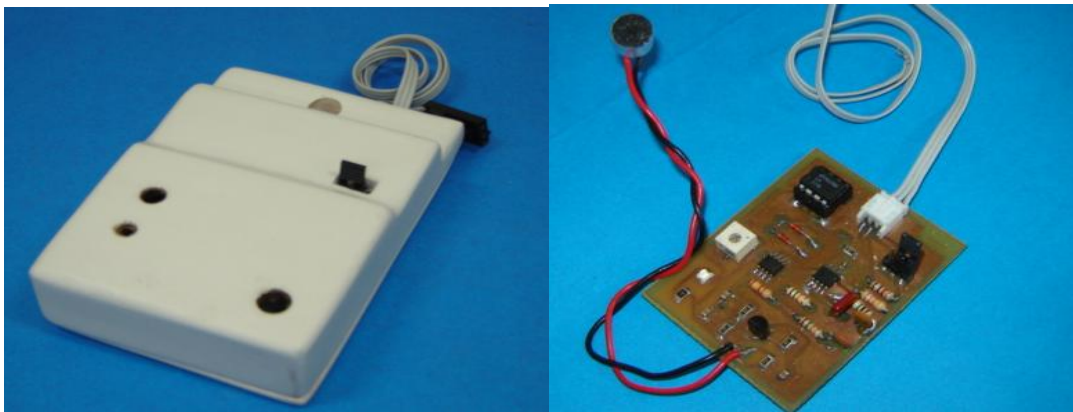


Figura 108. Módulo detector de sonido y tarjeta electrónica.



En el diseño de este módulo es necesario dejar perforaciones en la carcasa para que el micrófono pueda detectar los sonidos con facilidad. También se requiere dejar acceso al potenciómetro con el cual se gradúa la sensibilidad del micrófono y visibilidad del LED que indica que el sensor está detectando sonido. El usuario también puede variar la ubicación del jumper para cambiar la salida del sensor a modo análogo o digital.

Requerimientos

Para los dispositivos sensor detector de sonido se necesita:

- Salida digital o análoga.
- Cuando el sistema este en modo digital se dispondrá de un potenciómetro para calibrar la sensibilidad del dispositivo.
- Consumo reducido de potencia.
- Rango de funcionalidad de por lo menos 2 metros.
- Tamaño de la tarjeta 60x60mm.

Diseño Electrónico

Elaboración y selección de alternativas

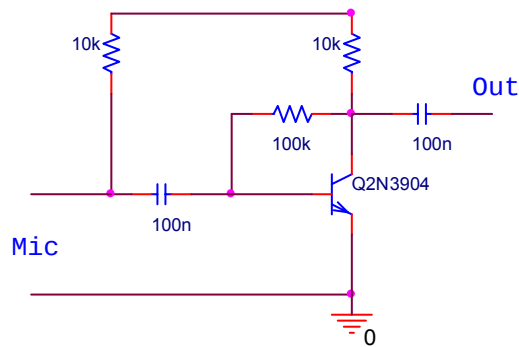
Como resultado de la investigación realizada, se determino que este sistema necesita de etapas internas que permitan acondicionar la señal procedente del sensor (que en este caso es un micrófono estándar), ya que el buen funcionamiento de estas determina el grado de confiabilidad del sistema.

Por lo tanto el circuito a desarrollar consta de cinco secciones: la etapa preamplificadora, la etapa de filtrado, la etapa de ganancia, la etapa de rectificación y por ultimo la etapa de selección digital o análoga.

Etapa preamplificadora

La etapa de preamplificación es una etapa de emisor común que proporciona una buena ganancia para señales débiles de audio. Dicha etapa está formada por el transistor 2N3904 y los componentes de su circuito de polarización. Ver figura 109.

Figura 109. Diagrama esquemático de la etapa preamplificadora de audio.



La resistencia de 10K sobre el terminal positivo del micrófono le provee a este la tensión necesaria para su funcionamiento. El capacitor de 100nF sobre la misma conexión bloquea la componente DC de la señal permitiendo a la AC perteneciente al audio ingresar al transistor amplificador por su base. La resistencia de 10K conectada al transistor por su colector permite la polarización de ese elemento, mientras que la de 100K efectúa la realimentación de la señal. El capacitor de salida bloquea la componente DC dejando ir hacia la siguiente etapa sólo la señal de audio. En este caso el capacitor se elimina ya que la siguiente etapa también tiene un capacitor de acople.

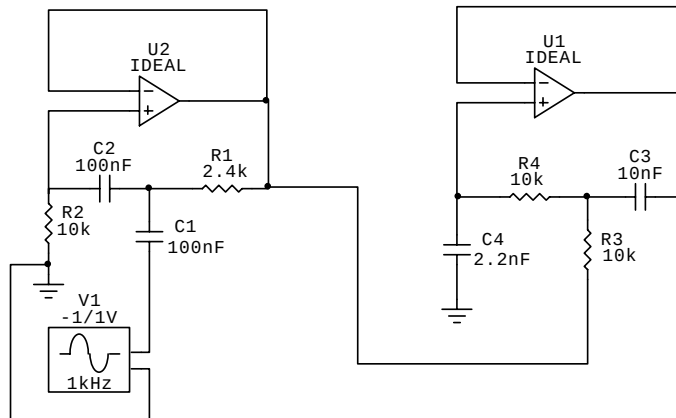
El circuito puede ser alimentado con cualquier tensión comprendida entre 3 y 9 voltios sin necesariamente estar estabilizada.

Etapas de filtrado

Esta etapa tiene como fin eliminar las componentes de frecuencia que para este diseño se pueden denominar ruido. El filtro estará implementado como filtro de banda pasante y sus límites corresponden a los rangos de frecuencia donde se encuentra la voz humana. En este caso los límites se establecieron entre 300Hz y 3.5KHz.

El circuito del filtro se implementará con una configuración Sallen y Key²⁶, el cual permite configuraciones de filtro de segundo orden con un solo amplificador, lo cual es ideal para mejorar el corte de frecuencias y al mismo tiempo el tamaño del dispositivo final. Para implementar el filtro pasabanda se construyó un filtro pasa altos y uno pasabajos en cascada. El diagrama esquemático del filtro se muestra en la figura 110.

Figura 110. Diagrama esquemático de la etapa de filtrado.



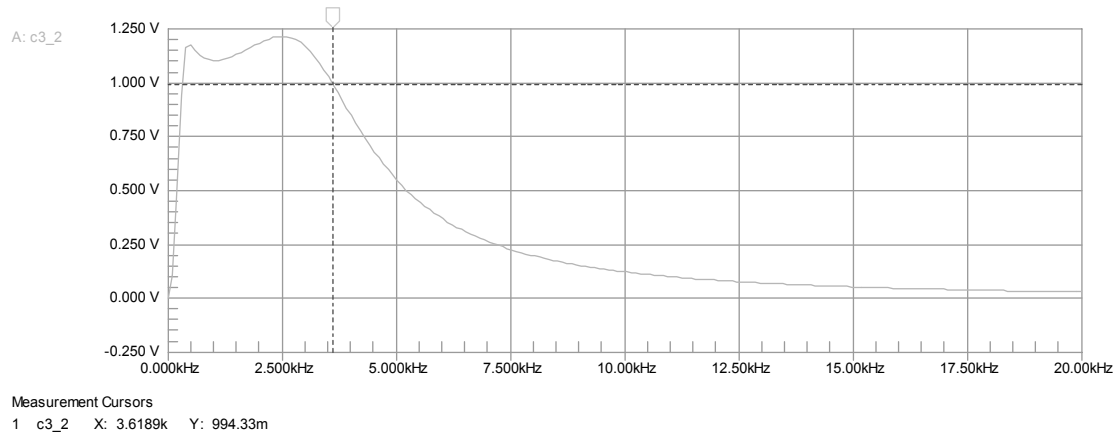
El amplificador usado para implementar esta etapa tiene como referencia TLV2462A y consta de dos amplificadores operacionales en un empaquetado SOIC²⁷ de 8 pines. La respuesta en frecuencia del filtro mencionado

²⁶ Creadores de esta configuración

²⁷ Small-Outline Integrated Circuit

anteriormente con los componentes observados en la figura 110, se muestra en la figura 111.

Figura 111. Respuesta en frecuencia del filtro implementado.



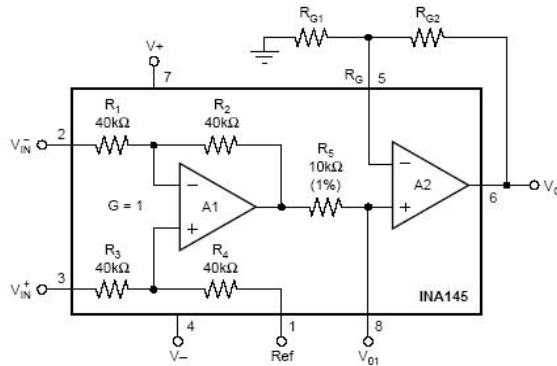
Etapas de ganancia

Esta etapa se encarga de aumentar el voltaje de la señal que proviene del filtro para mejorar la resolución de la señal de audio que será medida por el conversor análogo digital o por el comparador de voltaje para el modo digital. Se implementó con el circuito integrado INA145 que es un amplificador diferencial de ganancia variable. Esta ganancia se controla por medio de dos resistencias que se definen por medio de la fórmula:

$$V_O = (V_{IN}^+ - V_{IN}^-)(1 + R_{G2}/R_{G1})$$

La ganancia se ajustó en 8.33 para una resistencia $R_{G2}=100\text{k}\Omega$ y una resistencia $R_{G1}=12\text{k}$. El diagrama esquemático del amplificador se muestra en la figura 112.

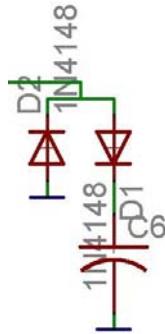
Figura 112. Diagrama esquemático del amplificador INA145.



Etapas de rectificación

Esta etapa se implementó para eliminar las tensiones negativas de la señal de audio y reducir las variaciones bruscas en voltaje. El diagrama esquemático del circuito rectificador se muestra en la figura 113.

Figura 113. Diagrama esquemático del circuito rectificador.



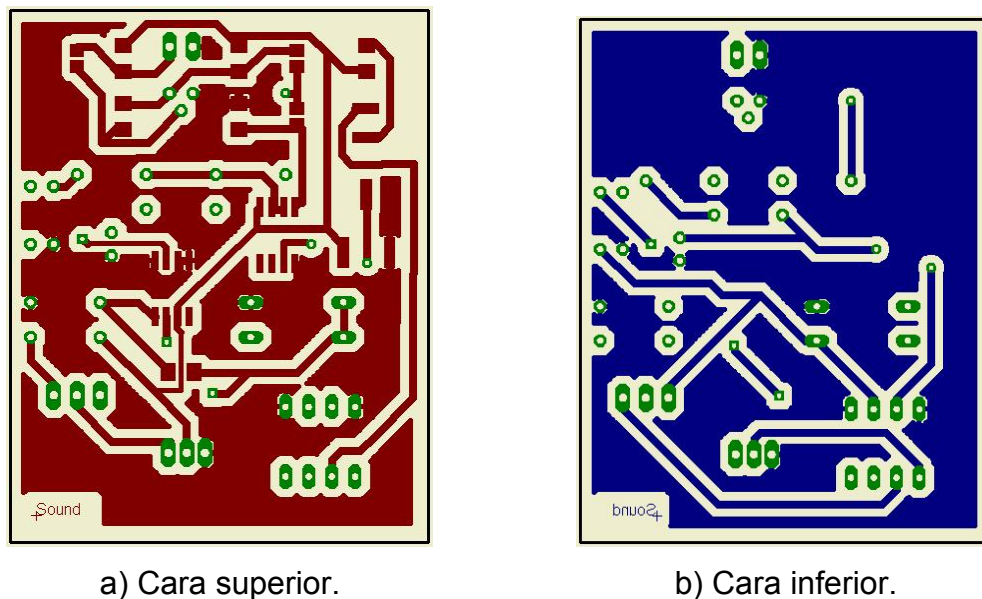
Etapas de selección digital o analógica

Esta etapa le permite al usuario definir el tipo de salida del sistema utilizando un jumper. Cuando la selección es analógica la salida del dispositivo se obtiene de la etapa de rectificación y cuando la selección es digital la salida viene del comparador de voltaje implementado con el circuito integrado LM311, el cual tiene un potenciómetro para el ajuste del nivel de comparación y en consecuencia el ajuste de la sensibilidad del dispositivo.

Esta etapa posee un led indicador el cual permitirá al usuario calibrar la sensibilidad de intensidad de sonido.

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta los parámetros de diseño electrónico. La figura 114 representa los enrutados del sistema detector de sonido.

Figura 114. Enrutado sistema detector de sonido.



Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de 5 voltios.
2. Un micrófono.
3. El dispositivo tendrá un led indicador el cual permitirá al usuario calibrar la sensibilidad de intensidad de sonido.

4. La etapa comparadora de voltaje se implementara con el circuito integrado LM311.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 46x60x10mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S3B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9403 hecho por la compañía Molex.
4. Pines de conexión para seleccionar modo analógico o digital.

Características de Uso

1. El dispositivo tiene un rango de funcionalidad de por lo menos 2 metros.
2. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.
3. Cuando se realiza la experiencia se recomienda ajustar la sensibilidad del dispositivo a más de dos metros de la distancia de emisor de sonido. Si se ajusta muy cerca la sensibilidad puede ser muy alta.
4. Tres pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y uno a la salida analógica o digital del dispositivo.

Características de Mantenimiento

1. Revisar el estado del microfono ya que pueden estar sucios u obstruidos. El sistema puede presentar fallas en la lectura si no se tiene presente esta recomendación.

3.8. SUBSISTEMA DE COMUNICACIÓN

Este subsistema consta de todos los dispositivos electrónicos que permitirán un intercambio de datos entre el sistema robótico modular y un computador. La comunicación podrá hacerse por medio de líneas físicas o inalámbricas y será unidireccional y/o bidireccional de acuerdo al dispositivo que se utilice. Esto permitirá realizar monitoreo y control de variables o de acciones, lo cual amplia considerablemente el número de experiencias a realizar por parte del usuario.

Requerimientos

Para los dispositivos de comunicación se necesita:

- El subsistema debe estar en capacidad de realizar una comunicación unidireccional o bidireccional utilizando líneas físicas o inalámbricas.
- Para la comunicación inalámbrica el alcance del enlace debe ser de al menos 30 metros.
- Preferiblemente la comunicación inalámbrica debe implementarse con el puerto serie del computador utilizando la herramienta Hyper terminal del sistema operativo Windows.
- Consumo reducido de potencia.
- Tamaño de las tarjetas (si hay) 60x50mm.

3.8.1. Comunicación Cableada

Esta comunicación se puede realizar por medio de los diferentes puertos de comunicación que tiene el sistema de control el cual fue explicado anteriormente. Al tener tipos de comunicación extras garantiza expansibilidad y compatibilidad para el sistema robótico modular.

Interfase SCI: La interfase de comunicación serial (SCI) permite a la UCP comunicación con otros periféricos, como son sensores, memorias, otras UCP, etc. Ya que es un protocolo de comunicación de comunicación asíncrona estándar

Interfase CAN: Controlador de área local (CAN) es un protocolo diseñado e implementado por freescale para ser conectado a un bus de datos y tener la capacidad de hacer procesamiento en tiempo real.

Interfase SPI: Interfase de periféricos seriales permiten al sistema una comunicación full duplex sincronía con dispositivos seriales, este canal esta conectado en los cuatro puertos menos significativos de la comunicación inalámbrica

3.8.2. Módulos de Comunicación Inalámbrica

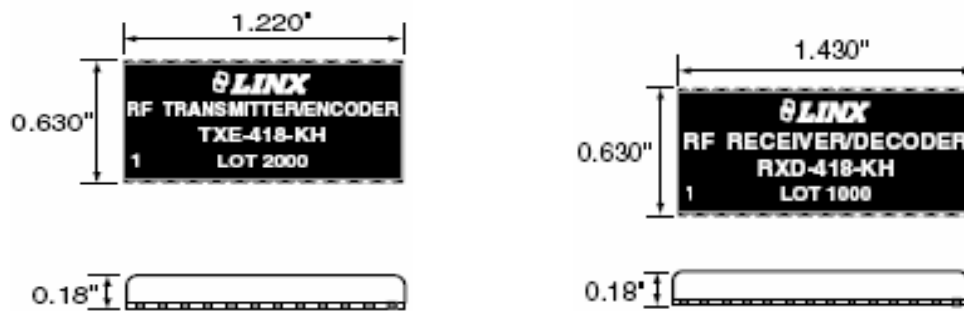
Para la comunicación inalámbrica se buscaron dispositivos que cumplieran con los requerimientos de distancia y de consumo de potencia, pero que al mismo tiempo permitiera al usuario manejar diferentes dispositivos inalámbricos con diferentes datos sin que hubiera interferencia entre ellos. Esto debido a que existe la posibilidad de tener diferentes móviles controlados remotamente con este sistema de comunicación.

Como resultado de la investigación realizada, se encontró que los dispositivos que realizan este tipo de comunicación de forma bidireccional tiene un costo muy elevado por lo que se dispuso implementar un sistema unidireccional para controlar el sistema robótico modular desde un computador.

La mayoría de las alternativas investigadas permitían comunicación unidireccional serial, pero pocos incluían un dispositivo que evitara la

interferencia cuando se usaba la misma frecuencia de transmisión. Sin embargo se encontró un dispositivo que cumple satisfactoriamente con los requerimientos establecidos y al mismo tiempo presenta configuraciones que evita las interferencias y que simplifica la recepción del dato a transmitir. Por lo tanto se determino trabajar con estos dispositivos para implementar la comunicación inalámbrica. La grafica de los dispositivos usados se muestra en la figura 115.

Figura 115. Dispositivos de emisión y recepción inalámbrica.



a) Transmisor TXE-315-KH

b) Receptor RXD-315-KH

La serie KH de la compañía LINX Technologies es ideal para aplicaciones de propósito general ya que realiza comunicaciones de radio frecuencia (RF) combinadas con un circuito codificador de diez líneas triestado²⁸ lo que permite la formación de 59.049 líneas de transmisión (3^{10}) sin ningún tipo de interferencia utilizando una sola frecuencia. En este caso la frecuencia de transmisión es de 315MHz. Estos dispositivos poseen un circuito capaz de transmitir datos paralelos de 8 bits a distancias que según el fabricante pueden llegar a los 90 metros lo que simplifica considerablemente la interpretación del dato transmitido al no implementar algoritmos que

²⁸ Los tres estados en que puede estar una línea de dirección. Alto, bajo o como pin al aire.

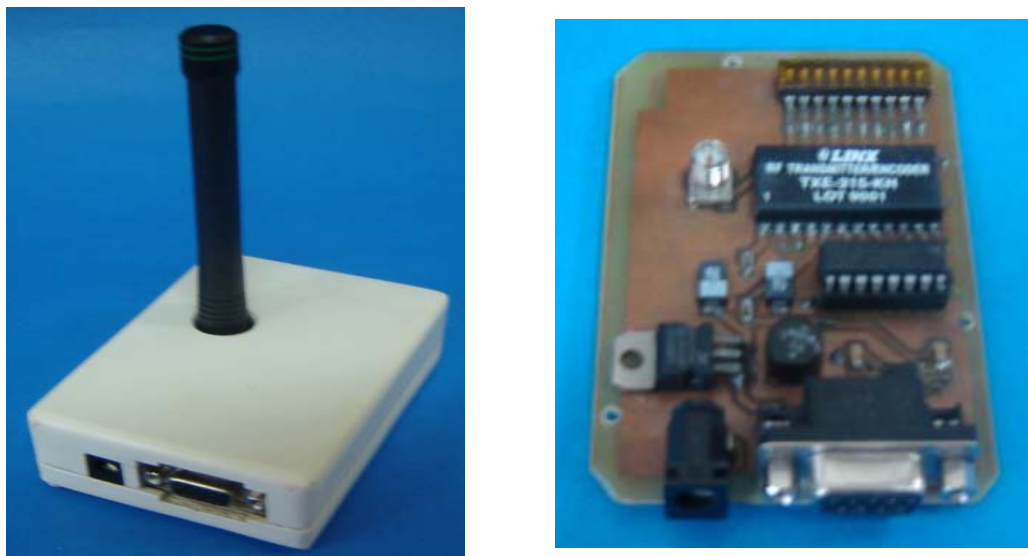
decodifiquen la trama de los datos seriales. Todo esto está incluido en un circuito integrado de montaje superficial y reducido tamaño²⁹.

A continuación se presentan los diseños desarrollados para implementar el módulo emisor y el módulo receptor inalámbrico.

Módulo Emisor de Comunicación Inalámbrica

En el diseño de este módulo fue necesario tener presente la conexión para el puerto serial y la conexión de alimentación, además de la abertura necesaria en la carcasa para la antena falta el de los switch este módulo no requiere perforaciones para su ensamble a la estructura, ya que se ubica sobre la misma superficie donde esté ubicado el computador.

Figura 116. Módulo emisor de comunicación inalámbrica y su tarjeta electrónica.

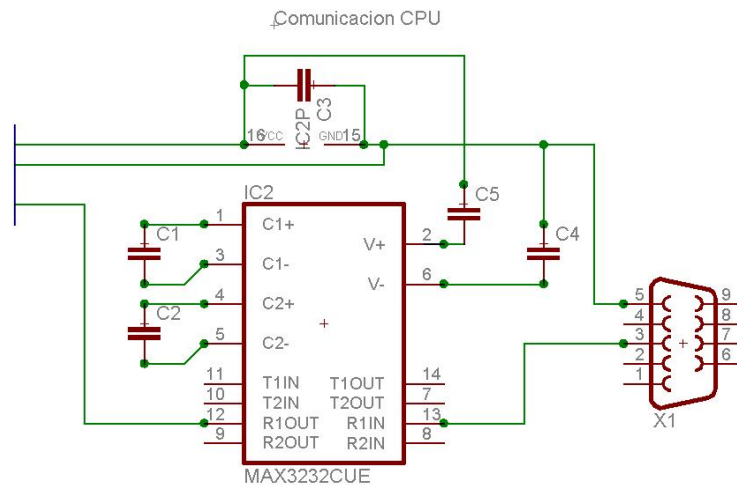


²⁹ Linx Technologies. KH Series Transmitter/Encoder and Receiver/Encoder Data Guide.
www.linxtechnologies.com

Diseño electrónico

Como los datos a transmitir vienen de un computador, el dispositivo emisor debe estar en capacidad de recibir y acondicionar los datos que provienen del puerto serie al estándar TTL³⁰, decodificarlos y enviarlos en paralelo al transmisor inalámbrico. La etapa de recepción y acondicionamiento se implemento con el circuito integrado MAX3232CDWR el cual permite la conversión de datos al estándar TTL. El diagrama esquemático de la implementación de este dispositivo se muestra en la grafica 117.

Figura 117. Diagrama esquemático de la etapa recepción.



La conexión física con el computador se hace a través de un cable serial, el cual encaja en el conector DB-9 hembra implementado en el circuito.

La etapa de decodificación se implemento con el microcontrolador MC68HLC908QY4 de Freescale el cual posee los pines necesarios para la recepción en serie y el envío de 8 bits en paralelo hacia el transmisor inalámbrico. El programa implementado en el microcontrolador permite recibir

³⁰ Transistor-Transistor Logic o Lógica Transistor a Transistor

la trama del dato y decodificarla a una velocidad de 9600 baudios/s, para luego enviar al transmisor inalámbrico el dato de 8 bits que representa el código ASCII de la tecla oprimida en la interfase de hyperterminal de Windows.

La implementación del transmisor inalámbrico solo requiere de componentes discretos y un microswitch de diez posiciones, estos elementos controlan las condiciones de voltaje del sistema, potencia y codificación de la señal emitida. La figura 118 muestra la asignación de pines para el transmisor inalámbrico, y la descripción de cada uno de éstos se muestra en la tabla 23.

Figura 118. Asignación de pines transmisor inalámbrico TXE-315-KH.

1	LADJ/GND ANT	24
2	D0 GND	23
3	D1 A9	22
4	GND A8	21
5	VCC A7	20
6	TE A6	19
7	D2 A5	18
8	D3 A4	17
9	D4 A3	16
10	D5 A2	15
11	D6 A1	14
12	D7 A0	13

El circuito se implementó con base en las recomendaciones del fabricante en cuanto a rizado del voltaje de alimentación y planos de tierra para eliminar ruido. Se uso una resistencia de ajuste de nivel de 100Ω y el microswitch posee una variación de bajo a alto cuando se cambia de estado alguna de sus posiciones. La antena escogida quedo en posición perpendicular al plano del circuito.

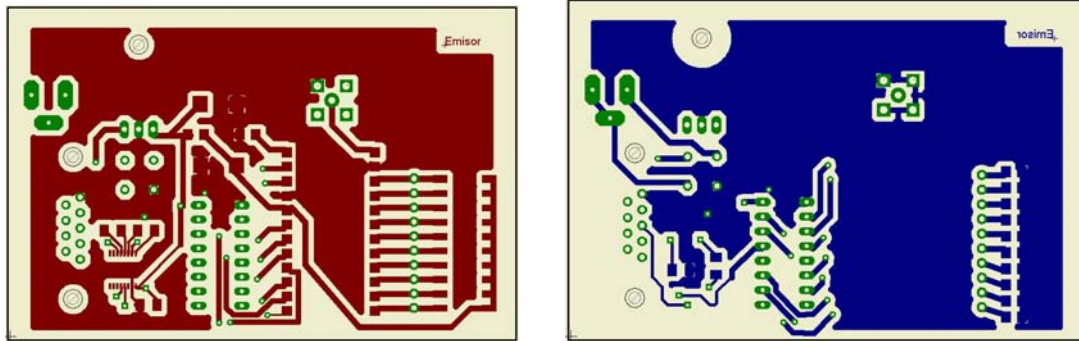
Tabla 24. Descripción de pines TXE-315-KH.

Pin #	Nombre	Descripción
1	GND/LADJ	Ajuste de nivel. Esta línea es usada para ajustar el nivel de potencia de transmisor. Conectándola a GND la salida es máxima y adicionando una resistencia se reduce.
2,3 & 7-12	D0-D7	Líneas de datos. Cuando TE esta en alto, el modulo codifica y envía la señal que se encuentra en las líneas de entrada.
4	GND	Tierra análoga
5	VCC	Voltaje de alimentación
6	TE	Línea habilitadora de transmisión. Cuando esta línea esta en alto el modulo codifica el estado de las líneas de entrada y las de dirección en un solo paquete y lo envía tres veces
13-22	A0-A9	Líneas de dirección. El estado de estas líneas determina el código que debe poseer el receptor para que una transmisión sea aceptada.
23	GND	Tierra análoga
24	ANT	Salida antena radiofrecuencia de 50-ohm

Para la alimentación de cada uno de los componentes se uso el regulador de referencia 7805 con una protección de puente de diodos para evitar conexiones inversas. El sistema debe ser alimentado por un adaptador de 9 a 12 voltios y mínimo 200mA.

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta los parámetros de diseño electrónico. La figura 119 representa los enrutados del emisor inalámbrico.

Figura 119. Enrutado emisor inalámbrico.



a) Cara superior.

b) Cara inferior.

Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de 9 voltios.
2. Un conector DB-9 hembra para el cable serial.
3. Alimentación por medio de adaptador de mínimo 100mA.
4. Protección contra polarizaciones inversas.
5. Etapa de acondicionamiento de datos implementado con el MAX2323CDWR.
6. Etapa de decodificación y envío de datos al transmisor con el microcontrolador MC68HLC908QY4 de Freescale.
7. Microswitch de 10 posiciones para introducción de código codificador.
8. Modulo transmisor inalámbrico TXE-315-KH.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 90x60x15mm.
2. Un conector DB-9 hembra para el cable serial.
3. Plano de tierra para eliminar ruido.

Características de Uso

1. El dispositivo tiene un rango de funcionalidad de 30 metros sin barreras.
2. Para su funcionamiento se requiere insertar el cable serial y el adaptador de voltaje, ingresar a la interfase de hyperterminal y seleccionar la velocidad de transmisión a 9600 sin ningún control de hardware.

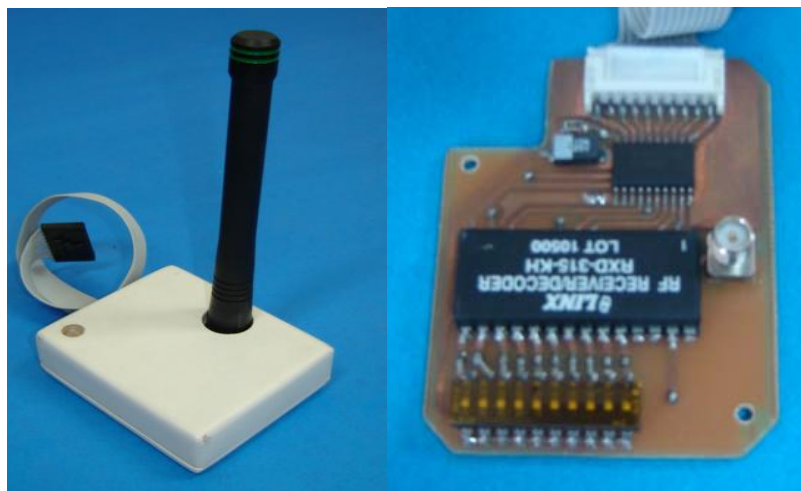
Características de Mantenimiento

1. Revisar que la antena se encuentre ajustada al modulo emisor para evitar errores en la comunicación.

Módulo Receptor de Comunicación Inalámbrica

En el diseño de este módulo fue necesario tener presente la ubicación de la antena para dejar el espacio de salida en la carcasa y la necesidad de tener un punto de fijación con la estructura principal del sistema.

Figura 120. Módulo receptor de comunicación inalámbrica y su tarjeta electrónica.



Diseño Electrónico

Los datos enviados deben ser decodificados y transmitidos al modulo de control del sistema robótico modular para la respectiva aplicación. Esto se logra usando el receptor de radiofrecuencia y una etapa de acondicionamiento de señal para llevarla al estándar TTL³¹.

La implementación del receptor inalámbrico solo requiere de componentes discretos y un microswitch de diez posiciones, estos elementos controlan las condiciones de voltaje del sistema y la decodificación de la señal recibida. La figura 121 muestra la asignación de pines para el receptor inalámbrico, y su descripción se da en la tabla 24.

Figura 121. Asignación de pines receptor inalámbrico RXD-315-KH.

1	NC	ANT	28
2	D0	GND	27
3	D1	NC	26
4	GND	NC	25
5	VCC	A9	24
6	PDN	A8	23
7	D2	A7	22
8	D3	A6	21
9	D4	A5	20
10	DATA	A4	19
11	VT	A3	18
12	D5	A2	17
13	D6	A1	16
14	D7	A0	15

El circuito se implemento con base en las recomendaciones del fabricante en cuanto a rizado del voltaje de alimentación y planos de tierra para eliminar ruido. Se uso una resistencia de 200 Ω en serie con la alimentación para disminuir el voltaje en la alimentación en 3,5 voltios y el microswtch posee una variación de bajo a alto cuando se cambia de estado alguna de sus

³¹ Transistor-Transistor Logic o Lógica Transistor a Transistor

posiciones. La antena escogida quedo en posición perpendicular al plano del circuito.

Tabla 25. Descripción de pines RXD-315-KH.

Pin #	Nombre	Descripción
1,25,26	NC	No se conecta. Solo para soporte físico.
2,3,7,8,9, 12,13,14	D0-D7	Salida de datos. Cuando una transmisión es valida se muestran los datos enviados.
4	GND	Tierra análoga
5	VCC	Voltaje de alimentación
6	PDN	Sistema apagado. Poner esta línea en un nivel bajo introduce al modulo en un estado de bajo consumo de potencia. Cuando se encuentra en este estado el sistema no puede recibir datos.
10	DATA	Datos recibidos que se dirigen a ser decodificados
11	VT	Transmisión Valida. Esta línea se pone en alto cuando una transmisión valida es recibida.
15-24	A0-A9	Líneas de dirección. El estado de estas líneas determina el código que debe poseer el receptor para que una transmisión sea aceptada.
27	GND	Tierra análoga
28	RF IN	Entrada antena radiofrecuencia de 50-ohm

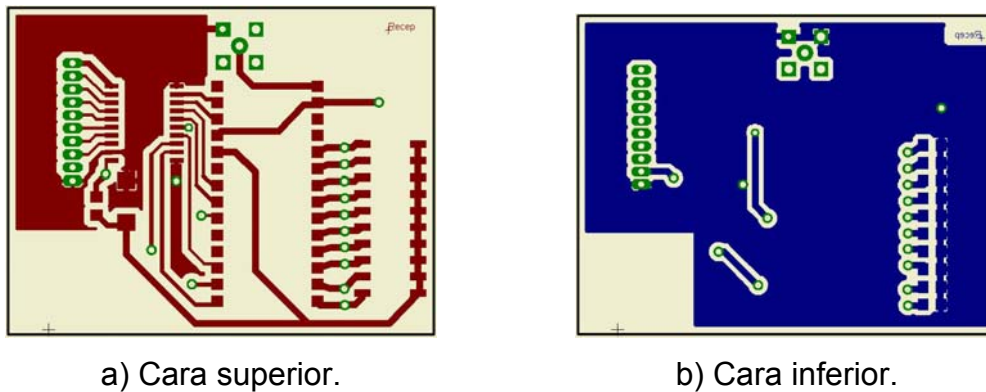
Como el receptor inalámbrico se encuentra alimentado a 3,5 voltios, la salida alta de los datos no cumple con los estándares TTL³². Por esta razón se implemento el circuito integrado de referencia SN74AHC541 que no es más que un buffer de 8 bits que eleva la tensión de entrada a 5 voltios cuando se encuentra fuera del estado de alta impedancia. Los datos acondicionados se

³² Transistor-Transistor Logic o Lógica Transistor a Transistor

envían al conector del circuito. El pin de transmisión valida no se encuentra habilitado para este diseño.

El diseño de las tarjetas de circuitos impresos se hizo teniendo en cuenta lo parámetros de diseño electrónico establecidos con anterioridad.

Figura 122. Enrutado receptor inalámbrico.



Características generales de implementación final

Una vez construido el modelo físico se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Modulo receptor inalámbrico RXD-315-KH.
3. Se implemento una etapa para acondicionamiento de voltaje de los datos recibidos.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso.

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 65x50x15mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S10B-PH hecho por la compañía JST LTD.

3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9410 hecho por la compañía Molex.
4. Planos de tierra para eliminar ruido.

Características de Uso

1. El dispositivo tiene un rango de funcionalidad de por lo menos 30 metros sin barreras.
2. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.
3. Los datos transmitidos se reciben de forma paralela.
4. Diez pines de conexión, dos de los cuales corresponden a la alimentación y ocho al dato transmitido.

Características de Mantenimiento

1. Revisar que la antena se encuentre ajustada al modulo emisor para evitar errores en la comunicación.

3.9. MEDIOS DE VISUALIZACIÓN Y SONOROS

La existencia de un medio de visualización y sonoros en la robótica se hace muchas veces imprescindible, debido a que es una de las formas de ir supervisando el estado de un programa, del procesamiento que se está llevando a cabo o simplemente si se necesita que el robot de algún aviso visual o alerta.

3.9.1. Medios Visuales.

Requerimientos

1. Tamaño: No debe superar las dimensiones de la tarjeta de control
2. Distancia de visualización: Es necesario tener medios de visualización entre distancias de 1 a 4 metros.
3. Numero de puertos requeridos: debe ser el menor número posible con relación a la cantidad de datos que pueda visualizar.

Elección del sistema de visualización:

Los posibles medios de visualización estudiados fueron LCD, Displays 7-segmentos y de cada uno de ellos se evaluaron los requerimientos del sistema.

Tabla 26. Comparación dispositivos de visualización.

	Numero de puertos	Cantidad de datos	distancia visualización
LCD 16 x 2	7	32 caracteres ASCII	<1m
7 Segmentos	7	1 carácter	>4m
Led	1	1 estado	>4m

En el caso del display el número de puertos con relación a la cantidad de datos es alto, es decir requiere varios puertos con relación al número de datos que puede desplegar, por lo tanto fue descartado de la selección, la LCD presenta un número de puertos bajos con relación a la cantidad de datos que puede desplegar pero la distancia de funcionamiento es baja, por ultimo el LED tiene una distancia alta y la cantidad de datos es baja. Debido a esto se optó por integrar dos medios, uno es la LCD en el caso de necesitar una cantidad alta de datos para desplegar y el otro es el LED para desplegar pocos datos pero que se requiera una visualización a una distancia mayor que la LCD.

Analizando las posibles configuraciones y tareas de un robot móvil es posible pensar que éste en algún momento no tenga una línea de visión directa, por lo tanto se busco otro medio de aviso para los procesos que realiza el robot, por tanto se implementara un medio auditivo que pueda suplir esta necesidad.

Diseño electrónico y construcción

Entre las posibles pantallas de cristal liquido del mercado, se determino usar una que tenga 2 filas por al menos 16 columnas, y que use el controlador HITACHI HD44780³³, esto con el fin de controlar la LCD con 7 puertos de los cuales 3 son de control, y 4 de datos, por lo general las pantallas genéricas cumplen con estas características debido a que este controlador es universal.

La configuración de la pantalla se hizo de acuerdo a las referencias encontradas en la hoja de datos del controlador y los puertos usados y la posición de estos en la tarjeta se explica en el diseño y construcción del sistema de control en la fase de interfase.

³³ HITACHI ,Controller LCD HD44780, Japan <http://semiconductor.hitachi.com/> P33

En el caso de los leds por cuestiones de tamaño y posición en la tarjeta se usaron Leds de dos estados, los cuales tienen un pin común a tierra y dos de control correspondientes a cada uno de los estados.

La implementación final de la LCD y los Leds se puede ver en la figura 123

Figura 123. Pantalla de cristal líquido y Leds usados.

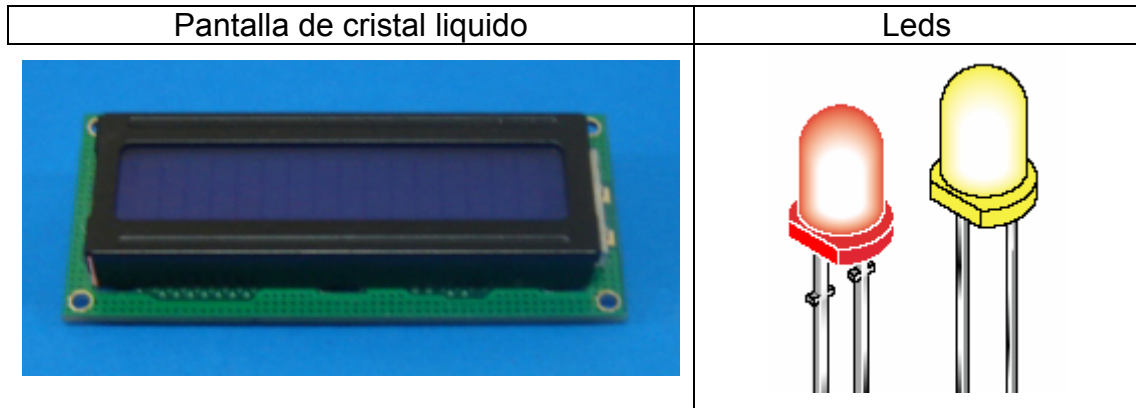


Figura 124. Implementación final de la Pantalla y los Leds



Características generales de implementación final

Después de ensamblar los respectivos medios de visualización a las tarjetas de control y de conectores se obtuvieron los siguientes resultados.

Características del diseño electrónico.

1. La pantalla se puede habilitar o deshabilitar por medio de un switch
2. El consumo de potencia de la pantalla es de 350mW
3. El consumo de potencia de los leds es de 50mW por color encendido

Características de uso.

1. La pantalla nos permite visualizar caracteres alfanuméricos en una extensión de 32 casillas distribuidas en 2 filas y 16 columnas
2. La pantalla posee iluminación, facilitando en algunos ambientes la visualización de los datos
3. Los leds nos permiten visualizar dos estados de encendido en cada uno y al mismo tiempo.
4. La pantalla se puede habilitar o deshabilitar por medio de un switch

Características del mantenimiento.

1. Si los leds fallan se harán primero pruebas de continuidad en las tarjetas si no se encuentra algún daño se puede deducir que el led esta dañado y se procede a su cambio
2. Si la pantalla presenta algún fallo este tendrá que identificarse de acuerdo a lo que este sucediendo, pero se pueden realizar pruebas de continuidad en la tarjeta y si no se encuentra ningún daño se puede deducir que la pantalla esta dañada y se procede a su cambio que tan solo se limita a extraer de forma manual la pantalla y colocar la nueva.

3.9.2. Medios sonoros.

Con este sistema el móvil adquiere la capacidad de emitir una señal sonora de diferente frecuencia para indicar algún proceso o variable.

Requerimientos

- Tensión de entrada de 5VDC.
- La señal sonora emitida debe ser la suficiente intensidad para ser escuchada a una distancia de 6m del móvil.
- El tamaño del sistema debe ser reducido, al igual que su costo.
- Capacidad de emitir sonidos de diferentes frecuencias.

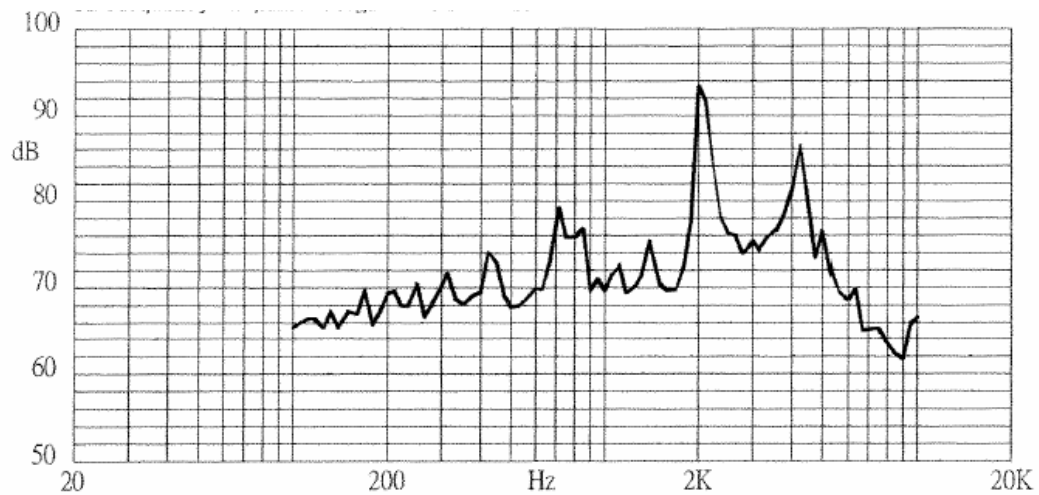
Elaboración y selección de alternativas

De acuerdo con los requerimientos hechos para este sistema se debe elegir un indicador sonoro de tamaño reducido capaz de emitir una señal audible que se perciba a una distancia de hasta 6m; luego de la tarea de investigación se selecciono el buzzer magnético CEM 1601 el cual cumple con los requerimientos descritos anteriormente.

Algunas de las características de este dispositivo son:

- Requiere ser excitado por un tren de pulsos.
- La tensión pico de la señal de excitación puede variar entre 1 y 3 VDC
- Tiene un consumo máximo de corriente de 20mA .
- La señal emitida tiene una intensidad de 88 dBA.
- Presenta una respuesta mayor a señales con frecuencias cercanas a los 2kHz. (ver figura 125).

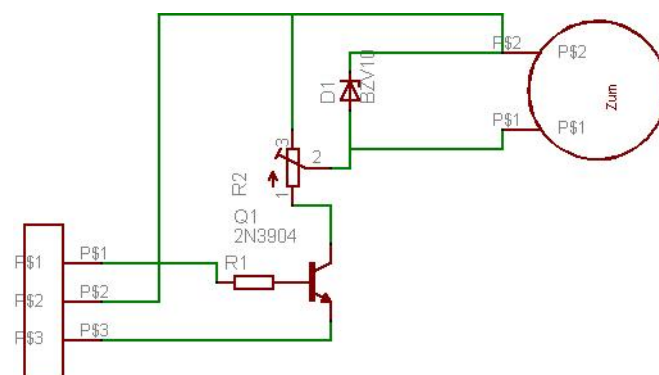
Figura 125. Curva Típica de respuesta en frecuencia



Diseño electrónico e implementación

El modelo preliminar para comprobar el funcionamiento de este transductor, requiere de un circuito de polarización basado en un transistor en configuración de emisor común, encargado de aplicar la señal de excitación con el nivel de tensión adecuado proveniente de la tarjeta de control, en la figura 126 se muestra el esquema del circuito eléctrico implementado

Figura 126. Esquema de circuito electrónico zumbador

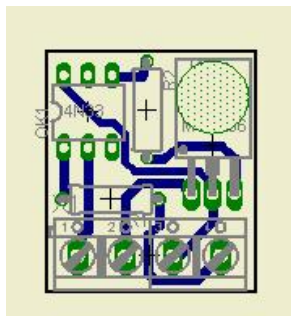


Características generales de implementación final

Una diseñada la tarjeta impresa como se muestra en la figura 127, se realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento para determinar las características del sistema.

Figura 127. Esquema final tarjeta impresa e implementada

Tarjeta de circuito impreso



Montaje final



Características del diseño electrónico.

1. Tensión de alimentación de cinco voltios.
2. Un buzzer CEM 1601.
3. Tres pines de conexión, uno para la tensión de alimentación del sistema (5VDC), otro para la señal de tierra, y un último para la señal de excitación del buzzer.

Características del diseño de las tarjetas de circuito impreso

1. Tamaño definitivo de la tarjeta 25x25x15mm.
2. Conector usado para pines de entrada y salida S3B-PH hecho por la compañía JST LTD.
3. Conector hembra para conexión con modulo de conectores 50-57-9403 hecho por la compañía Molex.

Características de Uso

1. La señal audible generada tiene un radio de percepción de 12mts.
2. El consumo máximo de corriente del sistema es 38mA.
3. Para su funcionamiento se requiere insertar el conector en el modulo de conectores del sistema de control.
4. La intensidad de la señal audible se puede variar por medios mecánicos (ajustando un potenciómetro) o por programación (variando la frecuencia de la onda emitida por la tarjeta de control).

Características de Mantenimiento

1. Revisar el estado del buzzer garantizando que su salida no se encuentre obstruida ya que esto altera el nivel de intensidad de la onda sonora emitida.

4. EXPERIMENTACIÓN

Con el propósito de optimizar la propuesta desarrollada hasta el momento, el Sistema Robótico Modular fue sometido a diferentes análisis para identificar variables o detalles que no se pueden percibir en la etapa de diseño.

Los análisis consistieron en:

- *Comprobación Técnica:* Con la cual se evalúa la eficacia de cada uno de los módulos del sistema para ejecutar las aplicaciones para las cuales fue diseñado.
- *Comprobación Electrónica:* Donde se caracteriza electrónicamente cada uno de los módulos para determinar los alcances que se tuvieron en la etapa de diseño.
- *Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE):* Para identificar y prevenir los posibles modos de fallo que el producto pueda presentar.
- *Simulación de Uso:* Con el propósito de evaluar la comprensión del sistema por parte de posibles usuarios que manipulen y ensamblen el producto diseñado.

4.1. COMPROBACIÓN TÉCNICA

En esta etapa se sometieron a prueba cada uno de los módulos que componen el Sistema Robótico Modular para comprobar su eficacia desde el punto de vista funcional con el propósito de determinar las posibles mejoras que éstos requirieran.

Módulo de Locomoción

La prueba consistió inicialmente en realizar un recorrido hacia delante, girar aproximadamente trescientos sesenta grados y culminar con un recorrido hacia atrás; luego se introdujeron obstáculos para un movimiento hacia adelante y por último se implementaron superficies con diferentes inclinaciones. Con esto se buscó evaluar el correcto funcionamiento de los modos de locomoción oruga y triciclo, y determinar las condiciones bajo las cuales se podrán realizar este tipo de experiencias.

Locomoción en modo oruga

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos de locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico. Los resultados fueron:

- La velocidad de los motores es diferente lo que provoca una desviación del móvil cuando este se encuentra desplazándose en línea recta.
- A pesar que la velocidad de desplazamiento es baja, presenta la ventaja de transitar por lugares con superficies irregulares y poco controladas.
- El móvil presenta problemas de estabilidad cuando sobrepasa objetos o transita por lugares con algún grado de elevación; se hace necesario

ubicar los módulos de control y conectores en un lugar donde se desplace el centro de masa a un punto más bajo.

- El móvil puede subir sin problemas por superficies con una inclinación de hasta 30°.
- La altura de los obstáculos que puede sobrepasar avanzando está limitada por las dimensiones de la polea mayor de las orugas (menor a 25mm), pero el ancho de los obstáculos debe ser mayor que la separación existente entre las orugas (mayor a 17cm)
- Para sobrepasar obstáculos más grandes y dar mayor estabilidad al modo oruga, se puede proponer un módulo de mayor diámetro.
- Es recomendable emplear este medio de locomoción en superficies limpias, ya que elementos pequeños se pueden filtrar dentro de las paredes de las poleas y causar problemas en el movimiento.
- El sistema con orugas se puede desplazar sobre superficies irregulares siempre y cuando dichas superficies no tengan desniveles de altura mayor que la separación existente entre la base de la oruga y la superficie inferior de la estructura (7mm).

Locomoción en modo Triciclo

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos de locomoción modo Triciclo, el módulo de control y el de conectores básico. Los resultados fueron:

- La velocidad de desplazamiento puede llegar a ser el doble de la velocidad alcanzada con el módulo oruga.
- El móvil presenta el mismo problema de desviación que el modo oruga, confirmando de esta manera la hipótesis de una diferencia de velocidad en los motores.
- En esta configuración se hace difícil la navegación por superficies irregulares, ya que la rueda de soporte podría quedar atorada en este

tipo de superficies. Por tanto se recomienda que esta configuración sea usada solo en superficies lisas.

- En esta configuración el móvil puede desplazarse sin problemas en superficies inclinadas con un ángulo menor a 15°.
- La estabilidad mejora debido a que se tienen tres puntos de apoyo.

Recomendaciones Generales

- Garantizar que los módulos se encuentren bien ajustados al sistema estructural.
- Cuando se ensamblen configuraciones diferentes a las principales se debe tener cuidado con la estabilidad del móvil.

Módulo detector de distancia por infrarrojo

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos detector de distancia por infrarrojo, de locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir la señal proveniente del sensor utilizando el conversor análogo/digital. Esta señal se usó para determinar la distancia a la cual se encuentra un objeto del móvil al utilizar la información que provee la curva característica del dispositivo.

El propósito de esta prueba era determinar la confiabilidad en la señal medida por el sensor, por lo que se señaló un valor de cuarenta centímetros como distancia limite para la cercanía de un objeto al móvil; si el objeto se acerca, el móvil debe retroceder hasta quedar en la distancia limite y si el objeto se aleja, el móvil debe avanzar hasta quedar en la distancia limite.

Los resultados fueron:

- La precisión en la distancia límite fue de 5 centímetros como mínimo; cabe aclarar que la medida puede verse afectada por la iluminación del lugar de la experiencia, por el color y las características reflectivas del objeto presente.
- Para esta experiencia se recomienda usar superficies de color blanco con alto porcentaje de reflexión y condiciones de iluminación bajo techo. De esta forma se obtendrán resultados similares a la información técnica del dispositivo.
- El sensor presenta una zona muerta entre los 0 y los 10 centímetros, si existe algún objeto en este rango, el dato adquirido es erróneo ya que el sistema puede pensar que está tomando distancias mayores a los 50 centímetros. Para evitar esta situación es necesario ubicar el módulo en un lugar del sistema estructural donde no se presenten medidas en el rango de la zona muerta.

Módulo rastreador de luz

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos detector de iluminación, de locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir los datos digitales de cada uno de los sensores del módulo detector de iluminación. Estos datos indicarían al sistema de control cuándo se ha detectado un nivel de iluminación superior al calibrado con anterioridad. Cuando se activa uno de los sensores laterales, el móvil debería girar en la dirección del sensor activado hasta que el sensor central sea el único activo y posteriormente el móvil avanzaría hasta que la fuente de iluminación desapareciera o cambiara de dirección.

Los resultados fueron:

- Las condiciones de iluminación del entorno debe ser similares durante la calibración y la ejecución.
- La cubierta del sensor limita el ángulo de incidencia del emisor de luz. Para garantizar un correcto funcionamiento del módulo y al mismo tiempo ampliar el ángulo de incidencia, la cubierta debe tener una forma cónica.
- Para obtener una buena calibración de los sensores se debe garantizar que tanto la distancia como la intensidad de la fuente de luz a detectar sean similares para cada uno de los sensores.

Módulo sensor de contacto

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos sensores de contacto, de locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir los datos digitales de cada uno de los sensores de los módulos de contacto. Cada vez que se activa un sensor se asume que existe un objeto en frente y se realiza una maniobra evasiva de acuerdo al sensor que se active.

Los resultados fueron:

- La ubicación del módulo durante la aplicación debe garantizar que la parte sensible se encuentre por fuera del perímetro del sistema estructural.
- Se debe rediseñar el módulo para que la parte sensible no tenga un área menor que la superficie frontal de éste.

Módulo detector de sonido

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos detector de sonido, de locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir el dato analógico del módulo, avanzar hacia adelante y realizar inicialmente un giro de aproximadamente noventa grados hacia la izquierda y seguir avanzando cuando se detecte una variación en el sonido mayor al establecido anteriormente. Si se vuelve a presentar una segunda variación el móvil deberá girar a la derecha y seguir avanzando, y de esta forma esperar la siguiente variación en el sonido para comenzar nuevamente con un giro a la izquierda.

Los resultados fueron:

- Las condiciones sonoras del entorno debe ser similares durante la calibración y la ejecución de la experiencia.
- Para obtener una buena calibración del módulo se debe garantizar que tanto la distancia como la intensidad del sonido a detectar sean similares.
- La ubicación del módulo debe estar preferiblemente en dirección a la fuente de sonido para mejorar la recepción.

Módulo detector de objetos por infrarrojo

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos detector de objetos por infrarrojo, de locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir el dato digital del módulo, avanzar hacia adelante y realizar un

giro de aproximadamente ciento ochenta grados cuando el módulo detecte un objeto enfrente del móvil. Se realizaron diferentes pruebas para demostrar que se puede variar la distancia de detección al manipular el potenciómetro y al mismo tiempo la orientación del módulo.

Los resultados fueron:

- Para realizar correctamente la aplicación, la ubicación y/o la calibración del módulo deben garantizar que la distancia de detección este por fuera del perímetro del sistema estructural.
- La orientación de la parte sensible del módulo puede estar ubicada tanto vertical como horizontalmente.

Módulo seguidor de línea

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos seguidor de línea, de locomoción modo triciclo, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir los datos analógicos de los sensores y controlar los motores del módulo de locomoción para permitir un seguimiento de una línea negra contrastada con una superficie blanca de acuerdo a la información suministrada por cada uno de los sensores.

Los resultados fueron:

- La separación de los sensores que permiten la detección de la línea guía debe cambiarse a 7mm entre centros ya que se observó una variación brusca en el alineamiento cuando se realizaba la aplicación.
- La altura de la superficie del módulo respecto al suelo debe cambiarse a 3mm para evitar posibles roces con las imperfecciones de éste.

Subsistema de manipulación

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos de manipulación con el receptáculo de carga, de locomoción modo triciclo, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para controlar los movimientos de los servomotores a partir de la información suministrada por los sensores. Cuando el sistema se enciende el móvil se mueve hacia delante hasta que el sensor reflex de presencia de objeto se active, en este momento la pinza se cierra hasta que el sensor de contacto detecte un objeto atrapado y posteriormente se levanta la pinza para llevar el objeto atrapado al receptáculo de carga. En este punto la pinza se abre y deja caer el objeto en el receptáculo y regresa a su posición inicial, el móvil comenzara a avanzar nuevamente hacia delante hasta encontrar un segundo objeto y se realiza la misma secuencia pero esta vez el objeto no se deposita en el receptáculo de carga, sino que se levanta a una posición determinada anteriormente.

El móvil avanza unos centímetros y deja caer los objetos recogidos anteriormente utilizando nuevamente la pinza pero con una secuencia inversa a la anteriormente descrita.

En la experiencia se usaron pelotas de tenis y latas de gaseosa, por lo tanto la orientación del receptáculo de carga variaba de acuerdo al objeto que se quería recoger. Los resultados fueron:

- Se notó que el servomotor del brazo subía con esfuerzo cuando estaba cargando una bola, por lo cual es recomendable pensar en un rediseño de la pinza con el cual se reduzca su peso.

- Se tuvo que aumentar el voltaje de alimentación del servomotor que controlaba el brazo para aumentar la fuerza que podía suministrar, por lo cual se tuvo que cambiar uno de los caminos del módulo de conectores para elevar la tensión de alimentación de cinco a doce voltios.
- Es necesario dar una superficie mayor de apoyo al receptáculo de carga ya que se alcanza a girar un poco hacia atrás cuando se eleva la pinza.
- Fue necesario hacer unas correcciones a los extremos de la pinza para hacer más sensible el sensor de contacto al momento de sujetar el objeto.
- El sensor detector de objetos por infrarrojo debe tener la posibilidad de deslizarse hacia delante o atrás para tener un mejor control de la distancia de detección del objeto a manipular.
- Se requiere prevenir el rozamiento excesivo entre las piezas móviles para mejorar el desempeño de los servomotores.
- Al receptáculo se le debe hacer una corrección para ubicar la bola en una mejor posición para su descargue.

Subsistema de Comunicación

Para realizar esta experiencia se ensamblaron el módulo receptor de comunicación, de locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico. También se instaló el módulo emisor de comunicación con su respectiva alimentación y conexión al computador vía cable serial.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir los datos transmitidos por medio del subsistema de comunicación (emisor-receptor) y usarlos para controlar los movimientos del móvil.

Los datos eran enviados al subsistema de comunicación vía serial usando la interfase del programa Hyperterminal de Windows. Se uso el teclado numérico de la siguiente forma: 8-adelante, 2-atrás, 6-giro derecha, 4-giro izquierda, 5-parar

Los resultados fueron:

- Se observo errores en el envío de datos por parte del programa que decodifica la señal serial y la convierte en paralela. Se implemento una rutina de comprobación que aumento el tiempo de respuesta en la recepción de los datos, sin embargo esto no perjudica el buen funcionamiento del sistema.
- El sistema funciona correctamente en distancias menores de 40 metros en línea de vista y menores de 20 metros cuando se encuentran paredes intermedias.
- La confiabilidad de los datos entregados es alta.
- Se comprobaron algunas de las diferentes líneas de comunicación al variar la posición de los microswitches tanto en el emisor como en el receptor.
- Se observo que el tamaño y la forma de la antena limitan considerablemente las posibles ubicaciones del módulo receptor dentro del sistema estructural, por lo tanto se plantea la posibilidad de cambiar las características y la ubicación de la antena, teniendo siempre presente que esto puede alterar de forma positiva o negativa la distancia de comunicación.

Módulo Zumbador

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos zumbador, detector de objetos por infrarrojo, de locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control que recibiera el dato del módulo detector de objetos por infrarrojo para que cuando este se activara, se produjera un sonido de 2.4kHz y cuando se desactivara el sonido se interrumpía.

Los resultados fueron:

- El módulo zumbador puede ser escuchado a mas de 6 metros de distancia.
- Es posible generar sonidos de diferentes frecuencias para cuando se quiera identificar diferentes alarmas o procesos.

Módulo de Visualización

El módulo de visualización no requirió de una prueba específica, ya que durante el desarrollo de las demás pruebas técnicas se implemento el uso de la LCD y de los LED's para informar de variables o procesos. Algunas de las pruebas donde se incluyo este módulo fueron las de comunicación inalámbrica y detección de distancia por infrarrojo.

Módulo Sensor de Encoder

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos sensor de encoder, locomoción modo triciclo, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir el dato análogo del sensor de encoder. El sistema al detectar las franjas de color blanco y negro que se encuentran en el encoder y relacionarlo con el diámetro de la llanta puede determinar la distancia que ha recorrido el móvil desde el inicio de la experiencia. El algoritmo se desarrollo para que el móvil recorra una distancia de aproximadamente diez

centímetros, hiciera una pausa, luego recorriera treinta centímetros y finalmente se detuviera.

Los resultados fueron:

- La precisión de este modulo depende de la velocidad que se maneje durante la experiencia ya que la inercia puede crear errores acumulativos cuando se realizan frenados bruscos.
- La iluminación del lugar de la experiencia puede afectar la confiabilidad de los datos entregados por el sensor. Se recomienda desarrollar una rutina para calibrar una vez encendido el sistema el voltaje de referencia para determinar si el dato entregado corresponde a un blanco o un negro en el encoder.
- Los deslizamientos indeseados de la llanta respecto al piso pueden provocar medidas erróneas, por lo tanto se propone aumentar el área de agarre de las llantas.

Módulo detector de distancia por ultrasonido

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos sensor de distancia por ultrasonido, locomoción modo oruga, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir el pulso con duración variable la cual depende de la distancia a la que se encuentra el objeto. Con esta información, se programó el móvil para que se mantuviese alejado 120cm de un objeto plano (una tabla).

Los resultados fueron:

- El dato de la distancia adquirido es estable para distancias menores a 180 cm, para distancias mayores, se presenta cierta oscilación que se hace más crítica cuando se aproxima a la distancia de 2 metros.
- Para esta experiencia se recomienda usar objetos de superficie plana, ya que superficies irregulares ocasionan una medida errónea de la distancia.
- El sensor presenta una zona muerta entre los 0 y los 20 centímetros, y un alcance máximo de 2 metros, si existe algún objeto fuera de este rango, el dato adquirido no corresponde con la distancia a la que se encuentra dicho objeto del móvil.
- Debido a la forma en que se propagan las ondas ultrasónicas, se observó que el modulo detecta cuerpos de altura mayor a 1 cm que se encuentran entre el móvil y el objeto a detectar, se recomienda ubicar el módulo lo más alto posible en la estructura para disminuir este efecto.
- La falta de equipos especializados impide la observación del comportamiento real que tienen las ondas al propagarse lo cual nos limita para la caracterización optima de la señal entregada por el sensor.

Módulo Sensor de Temperatura

Para realizar esta experiencia se ensamblaron los módulos sensor de temperatura, el módulo de control y el de conectores básico.

La prueba consistió en implementar un algoritmo en el sistema de control para recibir el dato análogo del sensor de temperatura y desplegar en la LCD el valor de la temperatura; si la temperatura sobrepasa los 35° los leds del modulo de conectores son activados indicando peligro, si la temperatura disminuye por debajo de 35° los leds se apagan.

Los resultados fueron:

- La velocidad de respuesta del sensor es baja, por lo tanto este modulo no se recomienda para experiencias con variaciones bruscas de la temperatura.
- Por ser un sistema de muy bajo costo, posee capacidades limitadas para medir variaciones de temperatura de objetos o de lugares puntuales.
- Con esta experiencia se resalta la versatilidad del sistema robótico modular ya que solo se está usando una mínima cantidad de módulos para una tarea específica, en este caso medir la temperatura.

4.2. COMPROBACIÓN ELECTRÓNICA

Una vez implementados los diferentes sistemas en sus respectivas tarjetas de circuito impreso se realizaron una serie de pruebas con el fin de verificar el correcto funcionamiento de los subsistemas y a la vez detectar posibles fallos para de esta forma establecer las mejoras que se le pueda hacer a los diseños electrónicos iniciales. Además teniendo como base los requerimientos de diseño planteados inicialmente se hace una evaluación de los alcances obtenidos con los respectivos sistemas.

Primero se verificó la continuidad de las pistas del circuito impreso y el buen estado de los puntos de soldadura, además del correcto funcionamiento de los dispositivos contenidos en cada módulo.

Módulo de Control

Se tomaron las lecturas de los voltajes y las corrientes requeridas por la tarjeta en modo tanto de aplicación como en programación obtenido los siguientes resultados:

Tabla 27. Características eléctricas módulo de control

Voltaje Salida	Voltaje Requerido en modo monitor	Corriente requerida en modo monitor	Corriente máxima en aplicación
4.8V	9V	180mA	2A

Tabla 28. Evaluación alcances subsistema de control.

Requerimientos	Alcance	Tipo de prueba
Lenguaje de Programación	100%	Se programó el sistema en Lenguaje C, y en ensamblador con el software Codewarrior, teniendo en el momento un total de X librerías para uso de los dispositivos del robot (ver anexo D).

Continuación tabla 28. Evaluación alcances subsistema de control.

Requerimientos	Alcance	Tipo de prueba
Capacidad de reprogramación	100%	Se ha reprogramado el sistema alrededor de 200 veces sin presentar ningún fallo, esta prueba se ha venido haciendo desde que el sistema fue implementado.
Fácil programación	100%	Pasar de modo aplicación a modo programación se logra simplemente conectando el cable serial al subsistema de control (Ver manual de usuario), esta es la forma como se ha venido programado el sistema, y hasta el momento no ha presentado ninguna falla
Capacidad de memoria	100%	Teóricamente el sistema cuenta con 60Kbytes, en la práctica se ha llegado a usar solamente 2Kbytes, en la programación de una aplicación avanzada que incluía el uso de varios sensores y actuadores.
Numero de entradas y salidas	100%	El sistema tiene la capacidad de manejar X entradas o salidas, se han programado y usado cada una de ellas.
CAD	100%	EL sistema tiene 15 CAD de 8 bits, los cuales se han programado y utilizado en aplicaciones de: seguimiento de línea, fototaxis, sensor de sonido, sensor de temperatura, medida de distancia por medio de infrarrojos. .
Timer	100%	Se han programado y utilizado dos señales de PWM para el control de el manipulador, también 2 canales se programaron en modo de captura de señales para medir distancia por medio de ultrasonido
Comunicación	No probado	No se ha implementado una aplicación física para módulos CAN y SPI, teóricamente la comunicación funciona, pero hay que tener en cuenta la necesidad de un controlador para el módulo CAN.
Memoria Eeprom	100%	Se ha programado y almacenado datos satisfactoriamente de la memoria EEPROM, en visualización de datos con la pantalla
LCD	100%	Se ha programado una librería especial para el uso de la LCD, la cual fue probada en todas las aplicaciones mencionadas anteriormente.
LEDs	100%	Se programó una librería exclusiva para su uso (Ver anexo D), y se probó su funcionamiento en aplicaciones como, control inalámbrico.

Módulo de Conectores

Para los módulos de conectores básico y avanzado se tomaron las lecturas de los voltajes en cada uno de los conectores. Posteriormente se programaron aplicaciones en condiciones reales y controladas y las tarjetas soportaron las corrientes y voltajes necesarios sin sufrir ningún daño.

Tabla 29. Evaluación alcances módulos de conectores.

Tarjeta	Alcance
Conectores básico	100%
Conectores avanzado	100%

Subsistema de alimentación

El sistema de alimentación implementado en el móvil, respondió satisfactoriamente a todas las pruebas realizadas, ya que no se presentaron deficiencias en la entrega de la potencia demandada por el sistema robótico.

Tabla 30. Características eléctricas subsistema de alimentación.

Voltajes de salida [V]	Corriente de salida [mA]	Alcance
Control 4.98V Locomoción 11.28V	En las pruebas realizadas alcanzó a proporcionar niveles alrededor de 800	100%

El nivel de tensión de 11.28V es proporcionado a los motores del sistema de locomoción y a uno de los servomotores del sistema de manipulación, ya que este requería una tensión superior a 5v para su correcto funcionamiento (ver pruebas sistema de manipulación).

Módulo de Locomoción

Para realizar la prueba de este módulo se alimentó el sistema con una tensión de 12V y se tomaron las medidas de consumo del mismo, se realizó

el mismo procedimiento luego de instalar las configuraciones de oruga y triciclo.

Tabla 31. Características eléctricas módulo de locomoción.

Voltaje alimentación [V]	Consumo corriente sin movimiento [mA]	Consumo de corriente con movimiento [mA]			
		Oruga		Triciclo	
		<i>Sin Rozamiento</i>	<i>Máximo Rozamiento</i>	<i>Sin Rozamiento</i>	<i>Máximo Rozamiento</i>
10 -18	31	190	470	120	470

Se aprecia en los datos tabulados que la corriente consumida por este módulo es mayor cuando se utiliza la configuración de oruga, esto se debe a la presencia de una tensión entre las poleas, la cual se transmite por medio de la correa a los motores.

Luego de realizar múltiples pruebas, se pudo comprobar que el sistema electrónico del módulo es capaz de proveer los niveles de corriente y tensión necesarias para el movimiento de los actuadores, aunque al desplazarse el móvil en su configuración triciclo, se aprecia una ligera diferencia en las velocidades de las ruedas debido a diferencias en la construcción de los motores lo que ocasiona que su desplazamiento no sea una línea recta, esto ocasionó que el sistema de locomoción obtuviese un alcance del 95%.

Módulo detector de distancia por infrarrojo

Para realizar la prueba eléctrica de este módulo, se utilizó un objeto de superficie plana reflectante, el cual se alejaba del sensor a pasos de cinco centímetros, donde se tomaba la variación de voltaje en la salida del dispositivo.

Tabla 32. Características eléctricas detector de distancia por infrarrojo.

Voltaje alimentación [V]	Consumo de corriente promedio [mA]	Alcance	Comprobación datos [Análogos]			
			<i>Dist</i> [cm]	<i>Ten</i> [V]	<i>Dist</i> [cm]	<i>Ten</i> [V]
5	25.4	95%	10	2.48	50	0.7
			15	1.81	55	0.66
			20	1.66	60	0.58
			25	1.36	65	0.5
			30	1.26	70	0.46
			35	1	75	0.4
			40	0.91	80	0.37
			45	0.73		

Con las pruebas realizadas a este módulo se pudo apreciar que el rango de detección del sensor cumplió con los requerimientos citados en la etapa de diseño electrónico, sin embargo para obtener datos confiables de la distancia medida por el mismo, se hace necesario, garantizar en lo posible, un ángulo de inclinación constante entre éste y el objeto a sensor, debido a esto, no obtuvo un alcance del 100%.

Módulo rastreador de luz

Para realizar la prueba eléctrica de este módulo se utilizó como fuente luminosa la luz del ambiente, exponiendo directamente el sensor a probar y aislando los demás.

Como este módulo posee salida tanto digital como análoga los niveles de consumo se tomaron para ambos casos.

Tabla 33. Características eléctricas rastreador de luz.

Voltaje alimentación [V]	Consumo de corriente Modo Digital [mA]		Consumo de corriente Modo Análogo [mA]		Alcance
	<i>Aislados</i>	<i>Expuestos</i>	<i>Aislados</i>	<i>Expuestos</i>	
5	2.44	28.14	2.58	28.1	90%

Tabla 33. Continuación características eléctricas rastreador de luz.

Salida Digital [V]						Salida Análoga [V]					
<i>Derecho</i>		<i>Centro</i>		<i>Izquierdo</i>		<i>Derecho</i>		<i>Centro</i>		<i>Izquierdo</i>	
<u>Aisl</u>	<u>Exp</u>	<u>Aisl</u>	<u>Exp</u>	<u>Aisl</u>	<u>Exp</u>	<u>Aisl</u>	<u>Exp</u>	<u>Aisl</u>	<u>Exp</u>	<u>Aisl</u>	<u>Exp</u>
0.419	4.99	0.454	4.99	0.408	4.99	0.4	4.74	0.7	4.72	0.8	4.69

Los niveles de tensión entregados por este módulo se ven afectados por la luz incidente, debido a esto, los datos registrados en la tabla anterior pueden variar con el entorno en el cual se realice la prueba por esto, el módulo no obtuvo un alcance del 100%.

Módulo sensor de contacto

La prueba eléctrica de este módulo se realizó midiendo la tensión entregada y la corriente consumida por el mismo cuando entraba en contacto o no con un objeto.

Tabla 34. Características eléctricas sensor de contacto.

Voltaje alimentación [V]	Consumo de corriente [mA]	Salida digital [V]		Alcance
		<i>En contacto</i>	<i>Sin contacto</i>	
		5	0	
5	0			95%

La corriente requerida es nula, debido a que no existen elementos conectados a este módulo que demanden consumo de potencia.

La sensibilidad adquirida por el módulo hace necesario que el móvil ejerza cierta fuerza sobre el objeto a detectar, que si es el caso de una lata de bebida puede llegar a desplazarla e incluso voltearla, por esta razón su alcance es inferior a 100%.

Módulo detector de sonido

Para realizar la prueba eléctrica de este módulo fueron usadas las palmas como fuente sonora. Como este módulo posee salida tanto digital como análoga los niveles de consumo se tomaron para ambos casos.

Tabla 35. Características eléctricas detector de sonido.

Voltaje alimentación [V]	Consumo de corriente modo Digital [mA]		Consumo de corriente modo Análogo [mA]	
	<i>Sin sonido</i>	<i>Max sonido</i>	<i>Sin sonido</i>	<i>Max sonido</i>
5	3.53	18.43	3.53	18.43

Tabla 35. Continuación características eléctricas detector de sonido.

Salida Digital [V]		Salida Análoga [V]		Alcance
<i>Sin sonido</i>	<i>Max sonido</i>	<i>Sin sonido</i>	<i>Max sonido</i>	
0.24	5.01	0.86	3.84	95%

Los niveles de tensión entregados por este módulo, pueden variar dependiendo de la intensidad, la distancia a la cual se encuentre la fuente sonora y el ruido que se pueda presentar en el entorno donde se realice la prueba, razón por la cual su alcance no es del 100%.

Módulo sensor detector de objetos por infrarrojo.

Para realizar la prueba de este módulo, se utilizó un objeto de superficie plana no reflectante de color claro, el cual se acercaba y alejaba del sensor.

Tabla 36. Características eléctricas detector de objetos por infrarrojo.

Voltaje Alimentación [V]	Consumo Corriente [mA]		Salida digital [V]		Distancia [cm]	
	<i>Sin Obj</i>	<i>Con Obj</i>	<i>Sin Obj</i>	<i>Con Obj</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>
5	3.45	13.64	4.81	0.073	0.5	8

Se pudo apreciar en la prueba realizada que la luz del ambiente afecta el correcto funcionamiento del sensor, por esto, debe garantizarse en lo posible, condiciones estables de luminosidad en el lugar donde se pruebe el módulo.

Mediante las pruebas que se realizaron, se apreció como el sistema logra detectar objetos en las cercanías del móvil, sin embargo se presenta una diferencia en la distancia a la cual su salida cambia de estado, dependiendo si el objeto entra o sale del rango de detección del sensor, todo esto hace que el alcance de este módulo sea del 95%.

Módulo sensor de distancia por ultrasonido.

Para realizar la prueba eléctrica de este modulo, se utilizó un objeto de superficie plana, el cual se alejaba del sensor a pasos de cinco centímetros, midiéndose la duración del pulso de tensión de salida usando un osciloscopio.

Con las pruebas realizadas a este modulo se pudo apreciar que el rango de detección del sensor cumplió con los requerimientos citados en la etapa de diseño electrónico, sin embargo para obtener datos confiables de la distancia medida por el mismo, se hace necesario, garantizar en lo posible, que la superficie a sensar este en línea recta con los sensores y que no se encuentren otros objetos entre el sensor y el objeto a detectar, debido a esto su alcance es inferior a 100%.

Tabla 37. Características eléctricas detector de objetos por ultrasonido.

Voltaje alimentación [V]	Consumo de corriente promedio [mA]	Alcance	Comprobación datos [Digitales]			
			<i>Dist [cm]</i>	<i>Duración[ms]</i>	<i>Dist [cm]</i>	<i>Duración[ms]</i>
5	13	90%	10	1.88	105	6.44
			15	1.88	115	6.96
			25	1.94	125	7.6
			35	2.24	135	8.32
			45	2.92	145	8.72
			55	3.44	155	9.4
			65	4.12	165	9.9
			75	4.56	175	10.5
			85	5.24	185	11.1
			95	5.8	195	11.7

Módulo seguidor de línea

Para realizar la prueba de este módulo, se utilizó como superficie negra papel contac mate y como superficie blanca cartulina, luego de energizar el circuito se desplazaron los diferentes sensores por las superficies antes mencionadas.

Tabla 38. Características eléctricas seguidor de línea.

Voltaje Alimentación [V]	Consumo Corriente [mA]		Alcance
5	<i>Superficie blanca</i>	<i>Superficie negra</i>	95%
	142	142	

Tabla 38. Continuación características eléctricas seguidor de línea.

Salida Análoga [V]									
Alineación derecha		Alineación Izquierda		Cruce derecha		Cruce izquierda		Centro	
<u>Blanca</u>	<u>Negra</u>	<u>Blanca</u>	<u>Negra</u>	<u>Blanca</u>	<u>Negra</u>	<u>Blanca</u>	<u>Negra</u>	<u>Blanca</u>	<u>Negra</u>
0.182	3.54	0.2	3.34	0.18	3.6	0.2	4.4	0.23	4.44

En el desarrollo de la prueba se pudo apreciar que el consumo de corriente de este módulo es constante sin depender del color de la superficie sobre la cual se sitúen los sensores; la cantidad de luz que incide sobre los sensores altera el rango de tensión que estos entregan, haciendo que los niveles superior e inferior cambien de valor, es por esto que se debe, en lo posible garantizar condiciones de luminosidad similares a todos los dispositivos del módulo.

Subsistema de manipulación

La prueba eléctrica del sistema de manipulación se realizó programando el móvil para que recogiera dos bolas de tenis, la primer bola es depositada en el receptáculo de carga ubicado en la parte superior de su estructura, mientras que la segunda es sujeta por la pinza y transportada a una altura de aprox. 10cm del piso.

El sistema de manipulación consta de dos servomotores, uno se encuentra ubicado en la pinza y es el encargado de sujetar los objetos (servo1), el segundo servomotor se encuentra en la parte superior del módulo, éste se encarga de elevar la pinza (servo 2).

Tabla 39. Características eléctricas subsistema de manipulación.

Voltaje de alimentación [V]		Consumo de corriente [mA]		Alcance
Servomotor 1	Servomotor 2	Mínimo	Máximo	
4.8	11.28	60	520	95%

Al realizar las pruebas a este sistema, se observó que la pinza no era capaz de levantar las bolas de tenis, esto se debe a que el servomotor ubicado en la parte superior del módulo, encargado de elevar la pinza hasta el receptáculo de carga, necesitaba un nivel de tensión mayor para realizar su tarea correctamente.

Para solucionar esto, se optó por tomar la tensión entregada por el adaptador AC/DC o las baterías, que es aproximadamente 12V, y aplicarla a un regulador de 8V que se introdujo en la caja del servomotor donde la salida de dicho dispositivo alimenta el actuador mencionado. El regulador utilizado, es un LM7808 no conmutado.

Subsistema de Comunicación

Para realizar la prueba de este módulo se alimentaron los sistemas emisor y receptor, con las tensiones adecuadas para su funcionamiento, además se utilizó el teclado del computador para enviar datos.

Tabla 40. Características eléctricas subsistema de comunicación.

Voltaje de alimentación[V]		Consumo de corriente[mA]				Alcance
Emisor	Receptor	Emisor		Receptor		100%
9	5	Enviando datos	Sin enviar datos	Recibiendo datos	Sin recibir datos	
		17	10.66	15	8.44	

Luego de realizar diferentes pruebas se comprobó el correcto funcionamiento de los módulos emisor y receptor, cumpliendo con todos los requerimientos que se tenían.

Módulo Zumbador

La prueba eléctrica de este módulo se realizó programando el móvil para que emitiese una señal sonora.

Tabla 41. Características eléctricas zumbador.

Voltaje de alimentación[V]	Consumo de corriente[mA]	Alcance
5	20	80%

El sonido emitido por este módulo tiene la intensidad suficiente para ser percibido e identificado por el usuario a más de 6 metros del móvil. Dicho sonido debido a la naturaleza del buzzer utilizado presenta un tono único, es decir el módulo no tiene la capacidad de emitir sonidos de frecuencias diferentes, razón por la cual el alcance de este módulo solo llega al 80%.

Módulo de Visualización

Se tomo la lectura del voltaje y la corriente de la LCD y los LED's, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 42. Características eléctricas LCD.

Voltaje Alimentación [V]	Consumo corriente [mA]	Voltaje para contraste pantalla [V]	Alcance
4 -5	60 -100	0 -1.4	100%

La pantalla de cristal líquido, tiene un alcance del 100% ya que cumplió con todos los requerimientos planteados, para su uso se ha programado una librería especial, probada en todas las aplicaciones de la tarjeta de control.

Tabla 43. Características eléctricas LED.

Voltaje Alimentación [V]	Consumo corriente [mA]	Alcance
1.5 - 5	25 - 35	100%

Los diodos emisores de luz, obtienen un alcance del 100% ya que cumplen con todos los requerimientos planteados; para el uso de estos dispositivos se

programó una librería exclusiva, probada en diversas aplicaciones, una de ellas el control inalámbrico.

Módulo de Encoder

Para realizar la prueba de este módulo, se usaron superficies negras y blancas, luego de energizar el circuito se desplazó el sensor por las superficies antes mencionadas.

Tabla 44. Características eléctricas sensor de encoder.

Voltaje de alimentación [V]	Corriente de consumo promedio [mA]	Salida Análoga [V]		Alcance
5	93	<i>Sup. blanca</i>	<i>Sup. negra</i>	95%
		0.2	3.4	

Las pruebas realizadas a este módulo dejaron ver la influencia que tiene la luz del entorno en la respuesta del sensor, haciendo que varíen los límites del rango de tensión que este entrega, esto se debe tener en cuenta a la hora de programar el móvil para esta aplicación.

Módulo de temperatura

La prueba eléctrica de este módulo se realizó acercando un cautín al sensor, registrando la temperatura y la respuesta dada por el dispositivo.

Los resultados obtenidos de la prueba, demuestran el correcto funcionamiento del sensor, aunque el rango de temperatura usado en la misma es muy pequeño, sirve para prever la respuesta del módulo a las variaciones de ésta.

Tabla 45. Características eléctricas módulo de temperatura.

Voltaje de alimentación [V]	Corriente de consumo promedio [mA]	Temperatura [°C]	Salida Análoga [V]	Alcance
5	0.0256	29	0.551	90%
		32	0.596	
		34	0.64	
		36	0.67	
		38	0.688	
		41	0.772	
		42	0.815	
		45	0.848	
		50	0.948	

La valoración dada a este módulo, no llega al 100% debido a que no se pudo comprobar la respuesta del sensor en el rango de temperaturas expuesto en los requerimientos.

4.3. ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS - AMFE

Este método es aplicado para identificar los posibles modos de fallo que tengan consecuencias importantes respecto al funcionamiento deseado del producto y a la satisfacción percibida por el usuario.

El proceso llevado a cabo para aplicar el AMFE comenzó con la identificación de cada uno de los módulos y la relación existente entre cada uno de ellos para el funcionamiento del sistema completo, esta relación se representa en el diagrama de la figura 128, donde se muestra el posible ensamble y conexión entre cada uno de los módulos además del flujo de información entre ellos.

Después de esto se identificaron las partes que componen cada uno de los módulos y con éstas se procedió a llenar los formatos AMFE que aparecen documentados en el Anexo E, de acuerdo con las tablas de valoración que aparecen a continuación:

Tabla 46. Cuadro de clasificación según Gravedad o Severidad de fallo

Criterio	Valor de S
Ínfima. El defecto sería imperceptible por el usuario	1
Escasa. El usuario puede notar un fallo menor, pero sólo provoca una ligera molestia	2-3
Baja. El usuario nota el fallo y le produce cierto enojo	4-5
Moderada. El fallo produce disgusto e insatisfacción al usuario	6-7
Elevada. El fallo es crítico, originando un alto grado de insatisfacción en el usuario	8-9
Muy elevada. El fallo implica problemas de seguridad o de no conformidad con lo ofrecido en el producto.	10

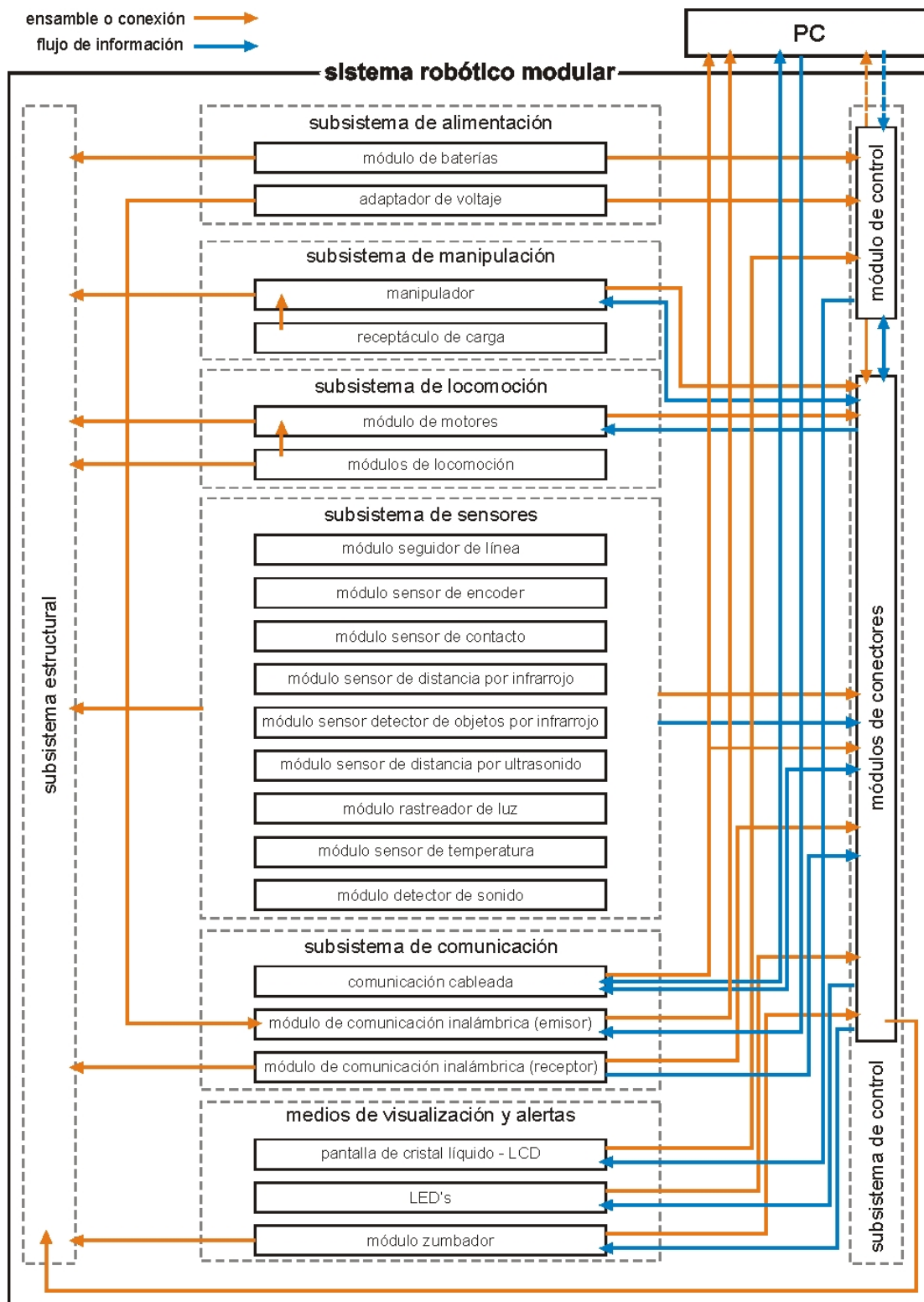
Tabla 47. Cuadro de clasificación según la Probabilidad de ocurrencia.

Criterio	Valor de O
Muy escasa probabilidad de ocurrencia. Defecto inexistente en el pasado	1
Escasa probabilidad de ocurrencia. Muy pocos fallos en circunstancias pasadas similares	2-3
Moderada probabilidad de ocurrencia. Defecto aparecido ocasionalmente	4-5
Frecuente probabilidad de ocurrencia. En circunstancias similares anteriores el fallo se ha presentado con cierta frecuencia	6-7
Elevada probabilidad de ocurrencia. El fallo se ha presentado frecuentemente en el pasado	8-9
Muy elevada probabilidad de fallo. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	10

Tabla 48. Cuadro de clasificación según la Probabilidad de NO detección

Criterio	Valor de D
Muy escasa. El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes.	1
Escasa. El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería posteriormente detectado	2-3
Moderada. El defecto es una característica de bastante fácil detección	4-5
Frecuente. Defectos de difícil detección que con relativa frecuencia llegan al cliente	6-7
Elevada. El defecto es de naturaleza tal, que su detección es relativamente improbable mediante los procedimientos convencionales de control y ensayo	8-9
Muy elevada. El defecto con mucha probabilidad llegará al usuario, por ser muy difícil detectable	10

Figura 128. Diagrama de bloques funcionales del Sistema Robótico Modular.



Al llenar los formatos AMFE se llegó a las siguientes conclusiones con el ánimo de mejorar la calidad del producto diseñado:

- Debido a la alta probabilidad de que se desgasten los tornillos de ensamble por su normal uso, es conveniente cambiar el material de éstos por uno de mayor dureza que el actual, pero de menor dureza que el material de la estructura. Si esto no es viable, una alternativa sería aumentar la cantidad de tornillos de repuesto que se suministrarían con el Sistema al momento de la venta.
- Es necesario suavizar la entrada de los huecos roscados (hacer un leve avellanado) para facilitar la instalación de los tornillos y reducir la probabilidad de desgaste de su rosca por introducirlos mal.
- Buscar componentes electrónicos de calidad comprobada, basados en la experiencia propia de su uso y en la confiabilidad de los proveedores conocidos.
- El módulo del sistema que requiere más cuidado durante su fabricación y ensamble es el de manipulación debido al elevado número de piezas pequeñas, móviles e independientes; se podría disminuir la probabilidad de fallo de éste si se reduce el número de partes que lo componen.
- Los motores usados en la construcción del módulo de motores, deben tener características eléctricas y mecánicas muy similares para garantizar movimientos acordes a la práctica a realizar.
- Todos los módulos requieren de una inspección previa antes de aprobar su calidad, pero los módulos de locomoción requieren de una especial atención ya que los fallos que éstos pueden producir conllevarían a un elevado nivel de insatisfacción en cualquiera de las prácticas que se realice con el sistema.
- El módulo de baterías requiere especial cuidado en la calidad y forma de los portapilas ya que si no se garantiza un correcto funcionamiento,

el usuario puede quedar con una alta insatisfacción y frustración al no poder realizar las experiencias debido a la falta de energía.

- Los contactos usados en los conectores de cada uno de los módulos deben ser instalados con una maquina crimpeadora para garantizar la buena conexión con cada uno de los cables usados. Así mismo se reduce el tiempo de construcción de cada uno de los módulos.
- Los cables usados para llevar las líneas de entrada y salida de cada uno de los módulos deben poseer características altas de flexibilidad debido a la constante manipulación a la que serán sometidos por parte del usuario.
- Para minimizar la probabilidad de fallos o defectos en las tarjetas de circuito impreso hay que garantizar un alto nivel de calidad en la construcción de éstas.
- Cada uno de los elementos que se utilizan en las tarjetas de circuitos impresos debe tener una calidad garantizada o un proveedor homologado.
- El uso de herramientas especializadas y de personal capacitado para la instalación y soldadura de elementos minimizará la probabilidad de fallos en las tarjetas de circuito impreso
- Para los módulos que tengan implementados jumpers para selección de modo análogo o digital se buscará un elemento que no tenga piezas sueltas para evitar malas ubicaciones o pérdidas.

4.4. SIMULACIÓN DE USO

Para determinar que variable se debía evaluar en la simulación de uso, se analizaron los aspectos necesarios para cumplir los objetivos de este proyecto de grado y se detectaron cuatro variables claves para el cumplimiento del mismo:

- **Eficacia del sistema al ejecutar las aplicaciones para las cuales fue diseñado.** *Se cumplen los requerimientos técnicos y se evalúan a través de comprobaciones.*
- **Identificación de la función de cada módulo,** y las diferencias existentes entre ellos. *El producto diseñado no es de uso cotidiano, y el usuario principiante tiene poca (o no tiene) referencia acerca de un producto inteligente de esta naturaleza, por esto es necesario que el usuario reciba unas instrucciones breves acerca de la función de cada uno de los módulos (Manual de usuario).*
- **Deducción de las aplicaciones posibles del sistema,** a partir del conocimiento de la función de cada uno de los módulos. *A pesar de dársele al usuario una serie de aplicaciones recomendadas que se pueden armar con este sistema, es más interesante aún la exploración que el usuario puede hacer del mismo, para que con su creatividad pueda configurar “nuevas” aplicaciones, pero esto sólo es posible si antes se han identificado las funciones de cada módulo. (Variable anterior).*
- **Comprensión de la relación existente entre cada uno de los módulos.** *Así el usuario no tenga conocimiento de las funciones de ninguno de los módulos, le debe ser fácil identificar la posición que éstos pueden ocupar en el sistema armado, la forma correcta de hacer su ensamble y su conexión electrónica. Esto con el propósito de que cuando se esté configurando alguna de las aplicaciones, el ensamble de los componentes pase a un segundo plano (que por su simplicidad y eficacia,*

el usuario haga este procedimiento de una forma casi inconsciente) y, de esta forma, él enfoque toda su atención en la práctica de la robótica como tal.

La mejor manera para estimar el grado de comprensión de la imagen del sistema que se ofrece al usuario para indicar la forma correcta de armado, es a través de una simulación de uso que se describe a continuación:

Objetivo: Evaluar la comprensión de la imagen del Sistema Robótico Modular como indicador de la forma de armado.

Variables independientes:

- Usuarios: Población estudiantil mixta entre 15 y 29 años, sin limitaciones físicas en sus extremidades superiores y sin problemas de visión.
- Dos modelos del producto a escala real, cada uno con una propuesta de imagen diferente.

Variables dependientes:

La comprensión de la imagen del sistema puede ser evaluado en función de:

- El tiempo empleado por el usuario en ejecutar la tarea propuesta. (*a menor tiempo, mayor comprensión*)
- La eficacia de la tarea realizada. La cual se puede medir en función del número de módulos que fueron armados y conectados correctamente. (*a mayor eficacia, mayor comprensión*)
- La facilidad percibida por el usuario al realizar la tarea planteada. (*a mayor facilidad, mayor comprensión*)

Variables controladas:

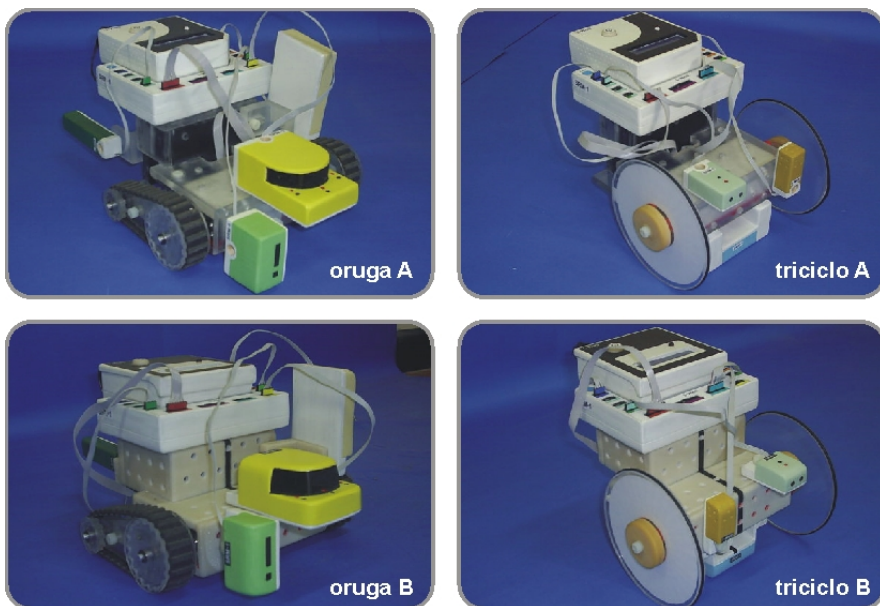
- Recinto cerrado, ordenado, con adecuada iluminación y temperatura agradable.
- Buena calidad en los acabados de los modelos utilizados en la prueba.

Sujetos: 20 estudiantes, hombres y mujeres, con edades entre 15 y 29 años (edad aproximada en la que se encuentra el perfil de usuario: grado décimo de bachillerato hasta estudiantes universitarios de cualquier nivel). Se consideró que el tamaño de esta muestra ofrecía una variedad de resultados suficiente que pudiera dar un acercamiento al comportamiento real de la población.

Equipo experimental:

Se utilizaron dos modelos del sistema a escala real cada uno con una propuesta de imagen diferente y funcional, identificados como *producto A* y *producto B*, tal y como se muestran en la Figura 129.

Figura 129. Alternativas del sistema utilizadas para la simulación de uso.



Fue necesaria también una cámara de video para hacer el registro de cada una de las pruebas para su posterior observación.

Procedimiento experimental:

Se aplicó la prueba en forma individual a cada uno de los sujetos en un salón con ambiente agradable. Al comienzo de la prueba se le toma los datos personales al sujeto (edad, sexo y nivel de educación). Se le leyó al sujeto una breve y clara indicación acerca de la tarea a realizar:

“Somos un grupo de cuatro estudiantes (tres Ing. Electrónicos y un Dis. Industrial) que estamos trabajando juntos como proyecto de grado en el desarrollo de un producto nuevo, y para nosotros es muy importante ponerlo a prueba con posibles usuarios que éste vaya a tener; en este caso, queremos que usted nos colabore armando dos alternativas diferentes de este producto guiándose con una imagen en el monitor que le servirá como referencia para armarlo, y haciéndolo en el menor tiempo posible (máximo 15 minutos); se le pide, por favor, que trate cada una de las piezas con cuidado ya que para armarlas no es necesario aplicarle demasiada fuerza, sin embargo, todas ellas deben quedar fijas”

Las dos alternativas se ubicaron sobre una misma superficie, cada una cubierta por una tela de color negro con el respectivo indicador de *alternativa A* y *alternativa B*, durante la parte inicial de la prueba al usuario no se le permitió observar las dos *alternativas* al tiempo para evitar que el armado de una se vea influenciado por la imagen que se está observando en la otra. En la figura 130 se muestra la ubicación de las dos alternativas cubiertas y descubiertas:

Figura 130. Disposición de las alternativas para la simulación.



En cada prueba se alternó el orden en el cual eran armadas las alternativas: el primer sujeto comenzó por la alternativa A y luego utilizó la B, mientras que el segundo usuario lo hizo en el orden contrario, y así sucesivamente.

Se tomó nota del tiempo empleado en armar cada una de las alternativas y del número de aciertos y errores que tuvo en cuanto al ensamble y a las conexiones de los módulos.

Cuando el usuario consideró haber finalizado el armado de cada una de las alternativas, se le pidió que respondiera a las siguientes preguntas:

¿Cómo calificaría usted la facilidad con la cual armó y conectó los componentes de esta alternativa?

1. *Difícil.* 2. *Poco fácil.* 3. *Medianamente fácil.* 4. *Fácil.* 5. *Muy fácil.*

¿Qué tan seguro está usted de haber conectado y ensamblado correctamente los módulos?

1. *Inseguro.* 2. *Poco seguro.* 3. *Medianamente seguro.* 4. *Seguro.* 5. *Muy seguro.*

Al terminar con el armado de las dos alternativas, se le permitió al usuario ver las dos alternativas y se le pidió comparar el mensaje que ofrece cada una para dar las indicaciones de armado hablando en función de la facilidad que él percibe para llevar a cabo la tarea, preguntándole: *¿Cuál alternativa cree usted que es más fácil de ensamblar y conectar?*

Análisis de los datos:

Los resultados de la información recopilada con las 20 personas a las cuales se les aplicó la prueba están documentados en el anexo F, y a continuación se mencionan las conclusiones, referentes a la comprensión de la imagen del sistema, a las cuales se llegó después de esto:

- En una visión general, fue más claro el mensaje dado con la alternativa B, ya que de 16 personas que armaron correctamente más del 70% de los módulos de la alternativa A que les correspondía, solo 3 personas armaron correctamente todos los módulos de ésta; mientras que de 14 personas que armaron correctamente más del 70% de los módulos de la alternativa B que les correspondía, 6 de ellas armaron correctamente todos los módulos de ésta. Aunque el

55% de las personas manifestó que le parecía más fácil armar y conectar la alternativa A mientras que el 45% restante prefirió la B.

- El código de colores empleado para indicar la posición de los módulos “fijos” dentro de la estructura (motores y sensor de encoder) funcionó mejor en la alternativa B.
 - o A pesar de no verse claramente en las fotografías la posición del sensor de encoder, el 60% de las personas lo ubicó correctamente aunque a algunos les faltó atornillarlo o sacar el cable, pero 5 personas no supieron dónde ubicarlo en la alternativa A.
 - o El módulo de motores de la alternativa B fue ensamblado correctamente por el 75% de las personas, mientras que el de la alternativa A fue ensamblado bien por el 65%.
- A la mayoría de las personas les resultó más fácil y rápido el ensamble del módulo de control de la alternativa A, mientras que el ensamble del módulo de control B requería mayor observación y cuidado para encajarlo correctamente.
- Es necesario hacer unos ajustes en las tonalidades de los colores empleados para los conectores ya que al hacer la conexión electrónica se observaron algunas equivocaciones al conectar los módulos que tenían un color similar (por ejemplo: sensor de contacto y sensor de distancia IR) o al conectar los módulos que tienen un conector común en el módulo de conectores (sensor de temperatura y sensor detector de sonido).
- No es conveniente tener módulos donde no se vea claramente la posición de los tornillos de ensamble porque dificulta su instalación, como se notó con el módulo seguidor de línea de la alternativa A donde al ser tan profundo el espacio donde se ubican los tornillos se convirtió en el módulo de sensores que más tiempo y precisión requirió para su ensamble.

- Es conveniente resaltar la ubicación de los tornillos en el módulo de motores, ya que 7 de los 12 casos en que se ensambló incorrectamente fue por no atornillarlo.
- Los accesorios de ajuste de las ruedas en el modo triciclo se pueden fabricar sin cabeza para llave brístol, ya que la mayoría de los participantes de la prueba hicieron el ajuste de éstas correctamente en forma manual (sin usar la llave).
- El espacio de la estructura por donde pasan los cables del módulo de motores, del sensor de encoder y del seguidor de línea, debería ampliarse un poco o darle un ángulo de salida para que sea más fácil el paso de los cables, ya que se vio algo de dificultad para los usuarios que tienen manos grandes.
- Varias personas tuvieron que invertir la posición del módulo de baterías por que el cable les incomodaba para instalar los otros módulos, la solución puede ser ubicar la ranura para salida del cable directamente en la tapa y no en la estructura como está hasta el momento.

5. SOLUCIÓN FINAL DE DISEÑO

En este capítulo se hace una descripción, desde el punto de vista del Diseño Industrial, de las características finales de la solución de diseño como resultado del seguimiento de los parámetros establecidos en la planeación del proyecto y de las conclusiones obtenidas de la experimentación a la cual fue sometido el producto. Las imágenes que muestran el producto final están documentadas en el Manual de Usuario.*

5.1. FACTORES OBJETUALES

FORMA. Doce módulos de los 21 que conforman el sistema pueden ensamblarse con la estructura en dos o más ubicaciones diferentes y con la posibilidad de ser orientados en cualquier dirección (de acuerdo a las necesidades de la aplicación que se desee configurar); debido a esta amplia gama de posibilidades, el sistema armado podría convertirse en un desorden de formas sin sentido y disminuir así el interés por parte del usuario a interactuar con el producto, por esta razón se decidió manejar *formas simples* en el diseño de los módulos, cuyo volumen tendiera a formar cubos o paralelepípedos.

DIMENSIÓN. El tamaño de los robots móviles utilizados para el aprendizaje de la robótica y los utilizados en competencias, al igual que todos los demás productos electrónicos, constantemente está tendiendo hacia la mayor reducción posible, y el sistema que se diseñó no podía quedar por fuera de esta tendencia que favorece principalmente a:

* Ver archivo adjunto “manual de usuario.pdf”

- Reducción del peso del producto, que directamente se refleja en la posibilidad de utilizar motores de baja potencia y bajo consumo para su desplazamiento.
- Configuraciones de armado compactas que se puedan desplazar en entornos con espacios estrechos.
- Facilidad de empaque y transporte.
- Reducción de costos por conceptos de materia prima para las carcasas, material de empaque y transporte.

Sin embargo, este producto no podía llegar a extremos de tener módulos demasiado pequeños que dificultaran su manipulación y ensamble, ya que el sistema debe ser cómodo de usar debido a su aplicación didáctica; entonces, sin llegar a estos extremos y limitado por la tecnología disponible en el área electrónica se enfocó el diseño de los módulos hacia *lo más pequeño posible, sin sacrificar su funcionalidad y comodidad de uso*, pero para evitar también un desorden en las dimensiones de los módulos, se manejo *uniformidad* al unificar dimensiones similares que tuvieran en común algunos de éstos.

MATERIAL. Una cualidad bien importante de productos inteligentes de esta naturaleza al ser utilizados como material didáctico debe ser la de tener un carácter de “juguete” debido a que las aplicaciones que se pueden armar con éste conllevan a vivir experiencias similares a las de un juego, en las cuales se siente satisfacción al ver al móvil realizar las tareas para las cuales se programó y al interactuar con él. Esta cualidad podría aprovecharse, en una etapa posterior a este proyecto, al formular una propuesta pedagógica con el uso de este producto que involucre un concepto de “aprender jugando”.

Para darle esa apariencia de juguete era necesario utilizar un material que tuviera para los usuarios la connotación de esos objetos con los cuales se

divirtieron cuando pequeños (carros, muñecos, juegos de video, etc), y lo más conveniente era un material plástico, que además ofrecía una adecuada protección para los componentes electrónicos que se manejarían y una vida útil similar o mayor al de las tarjetas electrónicas (que son los componentes de mayor costo en este producto). Las especificaciones de este plástico se dan más adelante en “Factores técnico productivos”.

COLOR. Para indicar la conexión de cada uno de los módulos con su respectivo conector se empleó un lenguaje gráfico, en el cual a cada módulo se le asignaba un color diferente que aparecía también en el conector hembra y el conector macho respectivo.

Debido a la gran cantidad de módulos, la asignación de sus colores se realizó bajo el siguiente criterio:

- El color verde, así como es utilizado en máquinas y semáforos, autoriza, permite o da comienzo al movimiento, similar a la función que tienen los sensores en el Sistema Robótico Modular. Pero como son nueve módulos sensores, y se necesita que haya una buena diferenciación entre cada color, entonces se escogió una amplia gama que llega hasta los extremos del amarillo y el azul.
- Los actuadores son módulos que cumplen una función opuesta a la de los sensores, y por esto se escogió para estos módulos una gama de colores complementarios: tonos rojos.
- De los colores en el círculo cromático que quedaban disponibles y que se pudiera diferenciar fácilmente entre los colores escogidos para los sensores y los actuadores, se eligió el violeta para el módulo de comunicación.

- El negro por ser el color más común en los adaptadores de voltaje (una de las formas de alimentación del sistema) fue asignado al módulo de alimentación, a las baterías.
- El color blanco fue asignado a los módulos que son comunes para cualquier aplicación y no tienen cables (estructura, módulo de control, módulo de conectores, módulos de locomoción).
- El módulo avanzado de conectores tiene disponibles tres salidas de propósito general y para estos conectores se asignó el color gris.

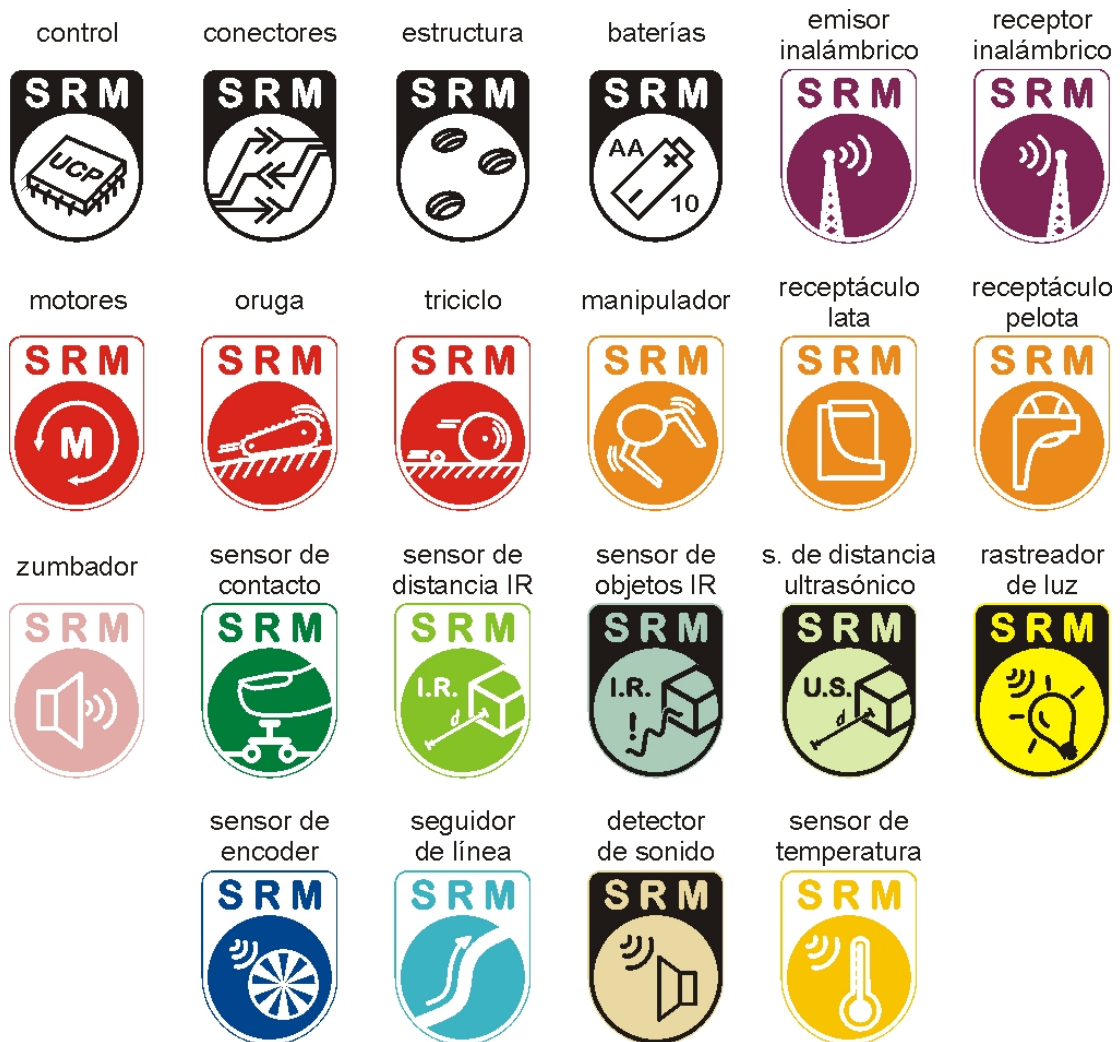
Figura 131. Color asignado a cada módulo.



SÍMBOLOS Y SIGNOS. Con la asignación de colores se logra establecer una relación de ensamble y conexión clara, pero hace falta información extra que represente la *función de cada uno de los módulos y su pertenencia a un sistema común*. Debido a la falta de normalización de símbolos electrónicos referentes a sensores, se diseñaron los símbolos para cada uno de los módulos utilizando un lenguaje más figurativo, no tan técnicos como los electrónicos que son más apropiados para la representación de los circuitos

como tal. Los elementos utilizados para dar uniformidad a todos los símbolos fueron la forma, el estilo de línea utilizado y las iniciales que representan el nombre del producto (Sistema Robótico Modular).

Figura 132. Símbolos utilizados para la identificación de los módulos.



En algunos módulos era necesario identificar ciertas partes para su correcto funcionamiento y ya que su representación gráfica está normalizada se utilizaron los indicadores que se muestran en la figura 133; en los potenciómetros se indica la dirección de giro hacia donde aumenta la

sensibilidad de los sensores, se señalizan los botones de encendido y se indica la polaridad y el voltaje de alimentación.

Figura 133. Indicadores utilizados en los módulos.



5.2. FACTORES DE MERCADEO

El alcance de este proyecto no permite plantear una estrategia de mercadeo debido a que al producto desarrollado le faltan aspectos importantes e indispensables para iniciar su comercialización; sin embargo se pueden definir las etapas por las cuales debe pasar el producto antes de comercializarse, y este conjunto de etapas se ha denominado “Fase de Transición”, como se puede ver en la figura 134.

Figura 134. Fase de transición para llegar a un producto comercializable.



5.3. FACTORES TÉCNICO-PRODUCTIVOS

La producción del Sistema Robótico Modular se planeó con base a los siguientes criterios:

- El enfoque didáctico de este producto, sus cualidades, y su costo probable, lo convierten en un *producto de compra esporádica* donde los compradores más usuales serían las instituciones educativas, y por esto no vendría al caso pensar en grandes volúmenes de producción (miles de piezas) a menos que después de desarrollar la fase de transición se definan otras cosas.
- Para plantear una producción en masa, sería necesario tener un elevado capital con el que se pudiera asumir la inversión inicial, lo cual llevaría a correr un elevado riesgo y que pocas personas están dispuestas a correr. Lo más conveniente es plantear un proceso de producción flexible, de poco volumen y con poca inversión inicial pero que a la vez ofrezca un resultado de calidad con el cual se puedan fabricar los productos a medida que el mercado los va demandando.
- Usar una tecnología de producción que permita a los autores del proyecto una oportunidad buena y realista de emprendimiento.

MATERIA PRIMA. Los componentes del SRM se pueden agrupar en piezas estándar (se consiguen terminadas en el mercado) y piezas personalizadas (es necesario su manufactura), en estas últimas se encuentran los circuitos impresos, el módulo de estructura y las carcasas de todos los módulos. Para la fabricación de los circuitos impresos no es necesario hacer selección de materia prima, mientras que para las otras piezas que se requieren fabricar se encontró como mejor opción la resina poliéster reforzada por tener cualidades como:

- Se puede maquinar con facilidad (tornear, taladrar, cepillar, cortar, lijar, etc.)

- Puede ser aplicado con brocha, por vaciado o spray.
- No requiere elevada presión para su moldeo.
- Buenas propiedades mecánicas y eléctricas.
- La mayoría de aplicaciones se pueden hacer a temperatura ambiente.
- El costo de prototipado y producción es relativamente bajo en comparación con otros procesos de manufactura.
- Un aumento en los volúmenes de producción es económicamente viable, ya que con fabricar réplicas de los moldes y tener un poco más de mano de obra disponible y sin necesidad de invertir en maquinaria y herramientas costosas se puede incrementar las cantidades o la velocidad de producción.
- Se puede pigmentar y pintar fácilmente.
- De acuerdo a los moldes de fabricación se pueden obtener superficies lisas o texturizadas.
- Larga vida útil.
- Estabilidad dimensional.
- Bajo consumo de energía durante el proceso de fabricación.

Tabla 49. Propiedades de las Resinas Poliéster.³⁴

Gravedad específica	1.2
Colorabilidad	Buena
Propiedades mecánicas	Muy buenas
Propiedades Eléctricas	Excelentes
Resistencia térmica	Buena
Resistencia al agua	Muy buena
Inflamabilidad	Quemado lento
Presión de moldeo	Baja - Media
Formación de subproductos	Ninguno

³⁴ Cheremisinoff, N.P. Fiberglass Reinforced Plastics. William Andrew Publishing/Noyes. 1995.

Sin embargo, la resina también tiene ciertas desventajas:

- Presenta contracción durante el curado.
- Las alternativas de reciclado de los desechos producidos durante su fabricación no han tenido buena aceptación por parte de la industria ya que el costo que esto implica no se ve compensado con la calidad de los productos que se pueden obtener.

Debido a que las propiedades específicas de los plásticos reforzados dependen del material de refuerzo que se utilice y de su proporción respecto a la resina, fue necesario hacer unas pruebas de laboratorio para decidir que compuesto era el más conveniente a utilizar en la fabricación de las carcasas. Las pruebas se enfocaron en determinar la resistencia a la flexión del material, la viscosidad de la mezcla en estado líquido, la contracción durante el curado y la densidad resultante de la pieza; las demás propiedades no se tuvieron en cuenta ya que las variaciones que puedan presentar no son lo suficientemente grandes para que afecten la calidad que demanda el producto. Los compuestos sometidos a pruebas y sus resultados se describen en la tabla 50, donde se resaltan, además, los tres mejores resultados de cada propiedad.

La mezcla a utilizar para la fabricación de las carcasas es la utilizada en la probeta B ya que además de mostrar la mejor combinación de propiedades implica un ahorro en acabados por tener el color definitivo del módulo, sin embargo es recomendable disminuir la cantidad de catalizador al 0.5% o 0.8% ya que el proceso de curado se está haciendo muy rápido y con extremada generación de calor.

Tabla 50. Componentes y propiedades de las probetas.

PROBETA	A	B	C	D	E	F	G
Resina (ml)	50	50	50	50	50	50	50
Catalizador (ml)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Carbonato de calcio (cm ³)	–	–	–	10	30	30	–
Óleo (cm ³)	–	1.5	–	–	1.5	–	–
Aceite de linaza (ml)	–	–	1	1	–	–	–
Color mineral (cm ³)	–	–	–	–	–	–	5
Sección (mm x mm)	24.8x5	24.9x5	25x5.2	25x4.8	24.7x5	24.7x5 .1	24.7x5
Longitud (mm)	120.8	120.7	120.7	120.9	120.2	120.2	120.4
Peso (g)	20	20	20	20	25	25	20
Densidad (g/cm ³)	1.33	1.33	1.27	1.37	1.68	1.65	1.34
Contracción (%)	0.8	0.4	0	0	1.2	1.2	1.2
Viscosidad (mayor a menor)	7	5	4	3	1	2	6
F. máx. (Kg/cm ²)	901,4*	864,5*	811,4	790,6	787,7	869,9	896,7

El uso de óleos como colorante facilita la uniformidad en los colores de los módulos para producciones seriadas ya que la amplia gama de tonalidades que presenta evita la preparación de los colores requeridos.

Los moldes para el vaciado de la resina deben tener acabado pulido, presentar ángulos de salida, vertederos por las caras internas de las piezas y salidas de aire cuando sean piezas grandes o de forma compleja; siempre se le debe aplicar una capa de alcohol polivinílico como desmoldante.

* Las probetas A y B soportaron estas cargas y no se partieron durante la prueba.

Proceso y tecnología de producción.

El proceso de fabricación de las carcasas de los módulos del sistema es vaciado de resina poliéster coloreada en moldes de dos partes, con sus posteriores perforaciones y cortes en función de las necesidades de cada módulo.

Algunas piezas del manipulador y de las orugas están fabricadas en lámina de acrílico cortada y taladrada; también hay piezas de aluminio torneadas cómo los pernos del manipulador y otras de resina cómo las ruedas.

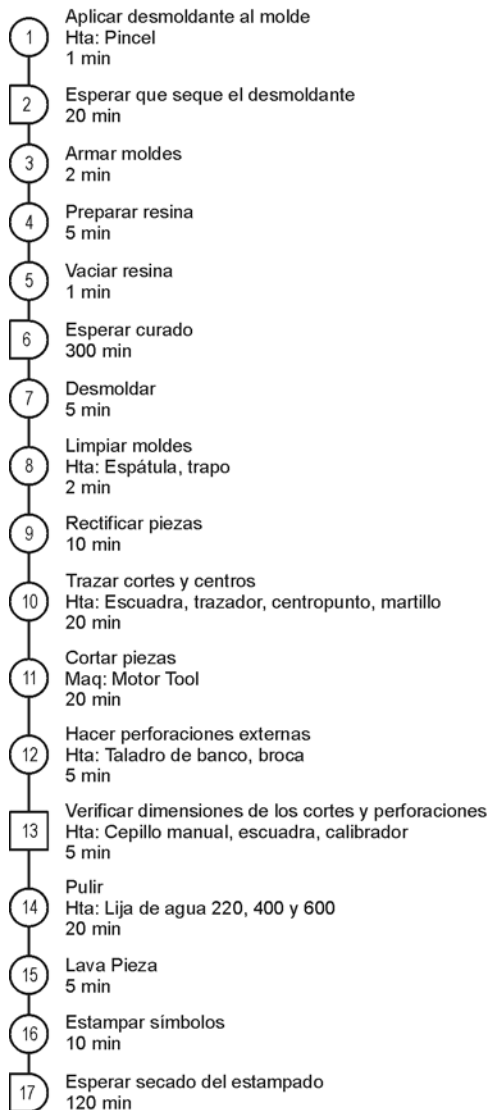
La maquinaria y herramientas necesarias para la fabricación del sistema son:

- Caladora de banco.
- Taladro de banco.
- Torno.
- Motor tool.
- Porta-tarrajá y macho para roscar de $\frac{1}{4}$ " rosca ordinaria.
- Prensa de banco.
- Destornillador de estrella

En las siguientes figuras se presentan los diagramas de la producción necesaria para fabricar las diferentes piezas del Sistema Robótico Modular.

Figura 135. Diagrama de producción de carcasas

TAPAS



BASES



TAPA+BASE (sensores, comunicación,
motores, zumbador, carcasa manipulador)
Tiempo real de trabajo: 160 min
Tiempo total de fabricación: 600 min

TAPA+TAPA (control, conectores)
Tiempo real de trabajo: 372 min
Tiempo total de fabricación: 812 min

Figura 136. Diagrama de producción de los módulos de locomoción

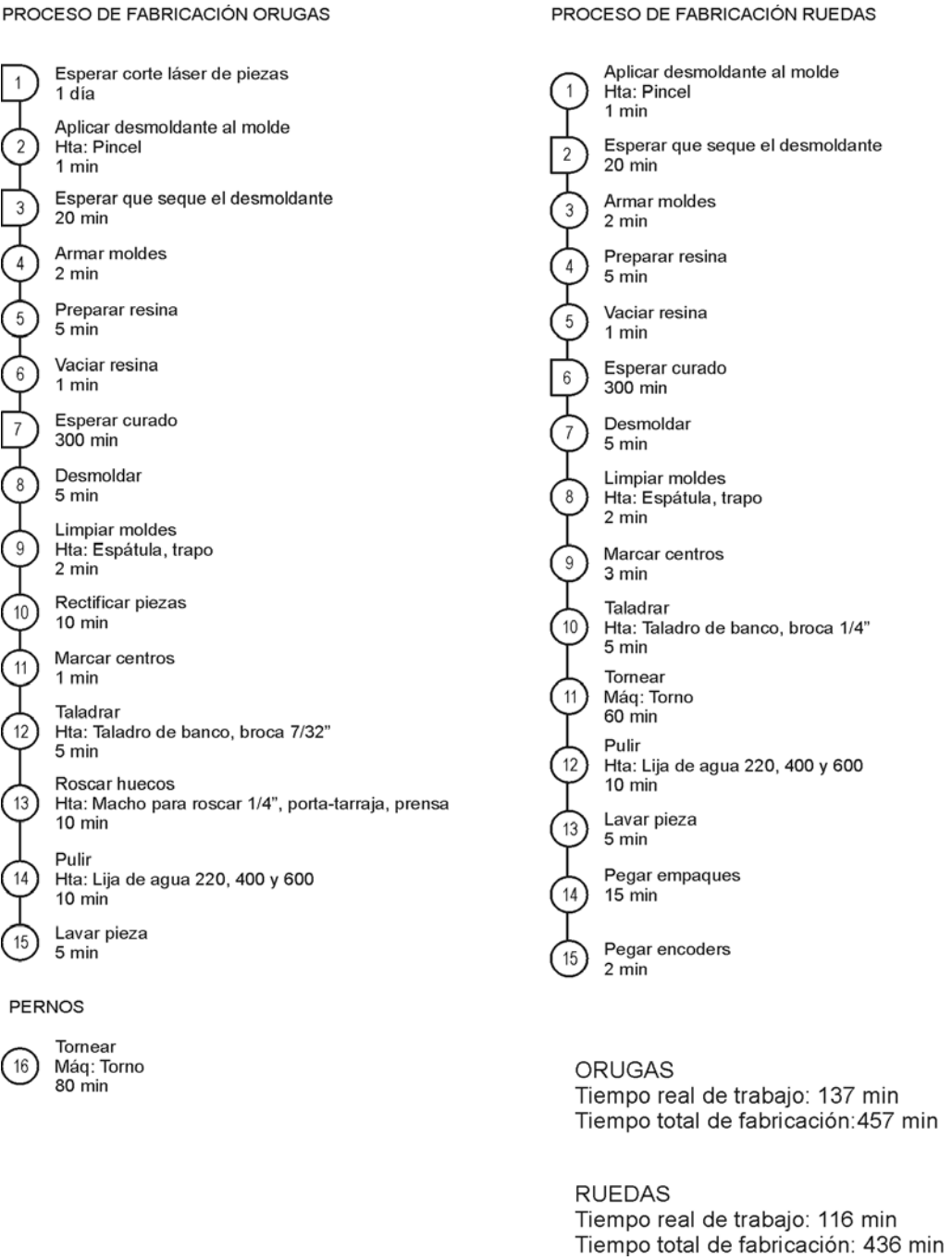
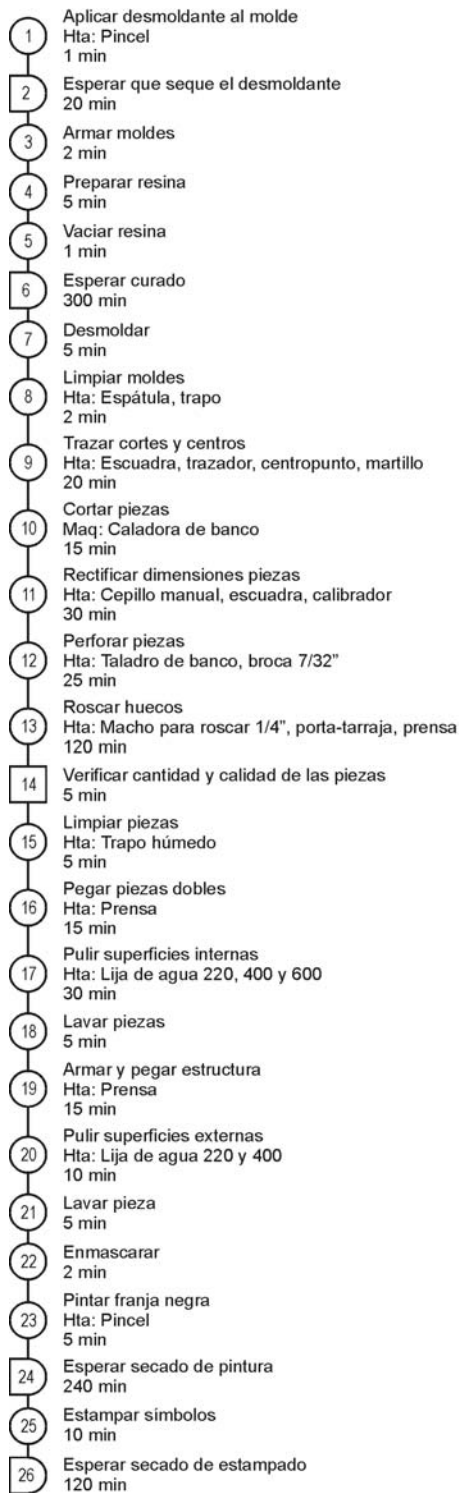


Figura 137. Proceso de fabricación módulo estructural y de manipulación.

PROCESO DE FABRICACIÓN ESTRUCTURA



PROCESO DE FABRICACIÓN MANIPULADOR

ESLABONES



PERNOS



ESTRUCTURA

Tiempo real de trabajo: 333 min
Tiempo total de fabricación: 1013 min

MANIPULADOR

Tiempo real de trabajo: 270 min
Tiempo total de fabricación: 270 min

5.4. FACTORES ECONÓMICOS

El costo de cada uno de los módulos y accesorios se calculó con la suma de los siguientes conceptos:

- Materiales Directos (resina, carga, pinturas, soldadura, tornillos, componentes electrónicos)
- Mano de Obra Directa (Fabricación de piezas, montaje electrónico y ensamble)
- Materiales Indirectos (lija, thinner, crema para soldadura, etc.)
- Imprevistos (10% de la suma de M.D.+M.O.D.+M.I.)
- Gastos de administración (Supervisión, transporte, papelería, otros)

La unidad utilizada para calcular el costo de la Mano de Obra fue la *hora - hombre* = \$4.025, tomando como base el salario mínimo legal vigente (\$408.000) más el 57,83% correspondiente a la carga prestacional.

En el anexo G están documentados todos los costos detallados para cada uno de los módulos y para una producción de más de diez unidades; en la tabla 51 se muestran los costos totales.

Tabla 51. Costos de fabricación de los módulos.

Módulo o Accesorio	Costo	Costo >10
Módulo Estructural	39.444	38.364
Módulo de control	225.757	223.945
Módulo de conectores básico	159.844	152.589
Módulo de conectores avanzado	284.756	280.525
Módulo de baterías	48.115	42.231
Módulo de manipulación	250.639	221.589
Módulo de motores	239.063	216.106
Módulo de locomoción oruga	284.578	275.621
Módulo de locomoción triciclo	39.604	34.012
Módulo seguidor de línea	98.291	90.256
Módulo sensor de encoder	53.229	49.025
Módulo sensor de contacto	29.447	27.779
Módulo sensor de distancia por infrarrojo	74.647	68.855
Módulo sensor detector de objetos por IR	74.947	66.033
Módulo sensor de distancia por ultrasonido	188.011	177.703
Módulo rastreador de luz	97.090	89.423
Módulo sensor de temperatura	41.743	38.008
Módulo detector de sonido	85.642	84.342
Módulo de comunicación inalámbrica emisor	242.302	233.476
Módulo de comunicación inalámbrica receptor	245.107	238.737
Módulo zumbador	48.415	41.272
Total	2.850.671	2.689.891

5.5. FACTORES DE USABILIDAD

Como resultado de un proceso de diseño enfocado hacia la satisfacción del usuario, se pueden resumir las características de usabilidad del Sistema Robótico Modular en los siguientes diez puntos¹:

1. Un grupo de usuarios participó en el proceso de diseño y con ellos se detectaron aciertos en el producto y fallas que se corrigieron antes de hacer la propuesta final.
2. Por medio de las comprobaciones técnicas se verificó el correcto funcionamiento de cada uno de los módulos del sistema de acuerdo a los requerimientos de diseño.
3. Es fácilmente transportable gracias a su tamaño, peso y robustez de cada uno de los módulos sueltos o armados.
4. El material utilizado para su fabricación, hace de este sistema un producto seguro y resistente en su utilización.
5. Con la simulación de uso se comprobó que el lenguaje de uso del producto es fácil e intuitivo en función de las capacidades del usuario.
6. El producto tiene un costo acorde a sus características. Lego Mindstorms, su principal competidor, tiene un costo de USD 250 más costos de importación y solo consta del ladrillo de control, 3 servomotores, 4 sensores y piezas de construcción.
7. La expresión de las personas que han visto funcionar el producto muestra la satisfacción e interés que éste produce al usarlo.
8. De acuerdo a los conocimientos que domine el usuario, el producto puede ser armado con diferente cantidad y tipo de módulos, e incluso se le pueden hacer adaptaciones de otros componentes que no están incluidos en el sistema (cámara de video, luces, diferentes sensores, etc.)

¹ Instituto Biomecánico de Valencia. DATUS. ¿Cómo obtener productos con alta usabilidad?

9. Los módulos al ser desarmables permiten un mantenimiento fácil, y sus componentes se pueden cambiar sin necesidad de cambiar el módulo completo.
10. Los errores que se puedan producir durante su uso se pueden corregir de forma intuitiva, por la revisión de cada uno de los módulos que se vean afectados con la aplicación realizada y la revisión de la programación hecha.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El retraso en el cronograma programado fue debido a que no se vio la dimensión real del proyecto al comienzo del mismo, y para haberlo cumplido en el tiempo establecido hubiese sido necesario otro diseñador industrial más en el equipo de trabajo.

El sistema de ensamble y conexión de los módulos del SRM posibilita la implementación de otros componentes con los cuales se puedan configurar nuevas aplicaciones.

El diseño de la estructura del móvil al igual que la forma de conexión de los diferentes módulos se hizo en aras de una asimilación casi intuitiva por parte del usuario que manipule el SRM disminuyendo de esta forma las probabilidades de daño por conexiones erróneas de los módulos.

El funcionamiento de los sensores de acuerdo a su naturaleza y características, se ven afectado por las condiciones del ambiente donde se encuentren y por la forma y color que tengan los objetos a sensor.

Debido al uso de elementos electrónicos de pegado superficial se tuvieron limitantes y problemas en el montaje y desmontaje los diferentes diseños, ya que las herramientas con que cuenta la universidad son insuficientes para garantizar la correcta soldadura de estos elementos.

Los sensores tipo reflex tienen una amplia gama de referencias y tamaños, por lo tanto cualquiera de los diseños de tipo reflex usados en este proyecto pueden ser implementados con otros dispositivos de este tipo que manejen las mismas características.

Los reguladores conmutados son ideales para proyectos de móviles autónomos, debido a que estos tienen una mayor eficiencia que los reguladores lineales, permitiendo reducir algunas pérdidas de energía eléctrica,

Hay que tener cuidado en aplicaciones en las cuales el móvil avance de forma recta, ya que las diferencias eléctricas que tienen los motores pueden causar que una llanta se mueva más rápido que la otra, por tanto se requiere una corrección del error que puede hacerse por medio de programación.

Las aplicaciones de control de la velocidad, espacio y dirección, pueden ser implementadas con nuevos dispositivos odométricos tales como los acelerómetros y giroscopios, los cuales presentan una mayor precisión y velocidad de respuesta que pueden ser características necesarias en algunas aplicaciones más avanzadas.

El modulo de control, es una plataforma de control multipropósito, ya que le da al usuario la capacidad de usar todos sus recursos en diferentes aplicaciones, con solo diseñar una tarjeta de conectores que se adecue a sus necesidades teniendo en cuenta la distribución de puertos, o usando las tarjetas de conectores del SRM.

El Diseño de tarjetas de circuito impreso se vio limitado por los costos de fabricación de las mismas, ya que las tarjetas de bajo costo que se pueden fabricar en Bucaramanga no tienen estándares de fabricación, ni garantizan la calidad de estas.

Cuando las tarjetas de circuito impreso se fabrican de forma artesanal, hay que tener especial cuidado en la perforación de los huecos, ya que pueden

dañar las donas de estos presentado una mayor dificultad en la soldadura y una disminución en la calidad de las mismas.

El tamaño de cada uno de las tarjetas de circuitos impresos no es definitivo, ya que algunos dispositivos pueden ser reemplazados por elementos de menor tamaño.

La capacidad que tiene el SRM para implementar diferentes aplicaciones en el área de robótica y control esta limitada por la imaginación y conocimientos que tenga el usuario, ya que puede diseñar dispositivos tan diversos como despertadores, alarmas, contadores, robots móviles, detectores de movimiento, control de motores, juego de luces, etc.

Los módulos contruidos pueden ser usados individualmente en otros diseños de robótica, control, automatización, etc. de acuerdo a las aplicaciones y características que se requieran.

Como plataforma de desarrollo y aprendizaje para robótica móvil el proyecto supera ampliamente las aplicaciones y los recursos que ofrecen las otras plataformas que se encuentran en el mercado.

El costo que implica desarrollar proyectos en los cuales la mayoría de los componentes no se encuentran en el país limita el desarrollo del mismo, y la implementación final de éstos.

Los productos inteligentes como el SRM provocan una sensación de sorpresa y disfrute a las personas que lo ven funcionar y/o interactúan con éste.

Dadas las características y potencialidad que se ve en el producto, éste debe pasar a una nueva etapa en la cual se pueda hacer de él un producto útil en las instituciones de educación a nivel nacional.

Hacer un estudio de los diferentes tipos de inteligencia artificial en robótica móvil, como redes neuronales, lógica borrosa, metodologías de potencial de campos, arquitectura deliberativa híbrida, arquitectura reactiva, agentes múltiples entre otros, para caracterizar un sistema de control que tenga los recursos computacionales suficientes para implementar este tipo de arquitecturas de control.

Desarrollar un software especializado para el manejo del sistema robótico modular, tanto para la programación de éste como para las aplicaciones que pueda desempeñar de forma remota.

Desarrollar nuevos accesorios que sean compatibles con el SRM, como diferentes medios de locomoción, brazos robóticos, sensores, medios de control etc. Haciendo que este cada vez sea más robusto y versátil.

En la universidad se debe hacer más promoción de proyectos de grado en los cuales se conformen equipos multidisciplinarios para que los estudiantes tengan así un acercamiento real al trabajo en equipo en el desarrollo de proyectos, como preámbulo a su ejercicio profesional en la sociedad

El libro del proyecto es el resultado de una amplia investigación y de la experiencia adquirida por parte de sus autores en el campo de la robótica móvil, por lo tanto se espera que éste sea usado como referencia para proyectos que se realicen en esta área y en áreas afines.

7. BIBLIOGRAFÍA

BALCH, Mark," A Comprehensive Guide to Digital Electronics and Computer System Architecture" USA: MacGraw-Hill, 2003. 482p.

BENDEZÚ REYES, José Humberto. Los plásticos reforzados en fibra de vidrio (PRFV), sus aplicaciones y desarrollo en la industria nacional. Tesis Digitales UNMSM. 2004. Disponible en Internet::
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/Bendezu_R_J.htm

BROOKS DOUG **"90 Degree Corners: The Final Turn"** United States of America, UltraCAD Design, Inc 1998 5p.

BROOKS, Rodney. **"Cambrian Intelligence"**, United States of America: the MIT press, 1999. 203p.

CAÑAS Plaza, José Maria **"Programación de robots móviles"**, España Universidad Rey Juan Carlos 2004. 42p

CASTRO PAYO, Juan Maria **"plataforma base para el desarrollo de microbots reactivos hasta el nivel comunidad"** España: Proyecto de grado EUITT. 2002

Freescale Semiconductor **"Designing for Board Level Electromagnetic Compatibility"** Freescale Semiconductor, Inc 2002. 36p

FU K. S., et al. **"Robótica: Control, Detección, Visión e Inteligencia"**. McGraw Hill. 1988.

GOODFELLOW. Propiedades de materiales. [citado en 18 de diciembre de 2005] Disponible en Internet:

<http://www.goodfellow.com/csp/active/gfMaterials.csp>

GORDON, McComb. **Robot Builder's Sourcebook**. USA: MacGraw-Hill, 2003. 711p.

HOBBY OF ELECTRONIC CIRCUIT ENGINEERING, [citado en 18 de diciembre de 2005] Disponible en Internet: http://www.interq.or.jp/japan/seinoue/e_sonic1_3.htm

IOVINE, John. **Pic Robotics**, USA: McGraw-Hill, 2004. 274p.

IPC 2221 "**Generic standard on printed Board Design**" United States of America: Association Connecting Electronics Industries, 2001. 130p.

JONES, Joseph L.; FLYNN, Anita M. y SEIGER, Bruce A. **Mobile Robots**. USA: A K Peters Ltd. 1999, 457 p.

MARTIN Fred, **The 6.270 Robot Builder's Guide**. Second edition. Project of MIT, United States of America 1992. 230p.

McNEEL, Robert. **Rhinoceros - NURBS Modeling for Windows, Training Manual**. Robert McNeel & Associates. USA, 2001. 345 p

MURPHY, Robin. "**Introduction to AI robotics**", United States of America: the MIT press, 2000. 466p.

PATTERSON, David; Hennessy, John. "**Computer Architecture. A Quantitative Approach**", Morgan Kaufmann, San Francisco. 2003. 1141p

PRZEPIORSKI SLAVEK **“a guideline on printed circuit board Design”**
University of Auckland department of electrical and electronic updated Dec
1996

RICHARDS, Cedric W. Engineering Materials Science. USA. Wadsworth
Publishing Company, Inc. 1961. 546 p.

RODRIGUEZ, Gerardo. Manual de Diseño Industrial: Curso Básico. Mexico :
Ediciones G. Gili, 165p.

SANDIN, Paul. Robot Mechanisms and Mechanical Devices Illustrated. EUA.
McGraw-Hill. 2003.

SEDRA, Adel S. y SMITH Kenneth C. **Circuitos Microelectrónicos**. Oxford
University Press. 1999, 1232 p.

SIERRA, Daniel **“Planeación de trayectorias para un robot en una celda
de manufactura”** Proyecto de grado, Universidad Industrial de Santander.

SLOCUM, Alexander. Fundamentals of Design, Power Transmission
elements I. [en línea], © 2000 [citado en 16 de julio de 2005] Disponible en
internet:

[http://pergatory.mit.edu/2.007/lectures/final/Topic_05_Power_Transmission_
Components.pdf](http://pergatory.mit.edu/2.007/lectures/final/Topic_05_Power_Transmission_Components.pdf)

UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS Puebla, división de proyectos de grado,
15 de enero de 2006. [citado en 15 de enero de 2006] Disponible en Internet:
www.udlap.mx/~tesis/lep/alvarez_p_af/capitulo1.pdf

8. PLANOS

SRM - 001. Módulos componentes del sistema.
SRM - 010. Módulo Estructural.
SRM - 020. Accesorios de montaje.
SRM - 030. Módulo básico de conectores.
SRM - 031. Módulo Básico de conectores- Tapa.
SRM - 032. Módulo Básico de conectores- Base
SRM - 040. Módulo Avanzado de conectores.
SRM - 041. Módulo Avanzado de conectores- Tapa.
SRM - 042. Módulo Avanzado de conectores- Base.
SRM - 050. Módulo de Control.
SRM - 051. Módulo de Control - Base.
SRM - 052. Módulo de Control - Tapa.
SRM - 053. Módulo de Control - Accesorios.
SRM - 060. Módulo de Baterías.
SRM - 070. Módulo de Motores.
SRM - 071. Módulo de Motores - Tapa.
SRM - 072. Módulo de Motores - Base.
SRM - 080. Módulo de Locomoción - Oruga.
SRM - 081. Ruedas Dentadas.
SRM - 082. Accesorios Oruga.
SRM - 090. Módulo de Locomoción - Triciclo.
SRM - 091. Rueda de triciclo y empaque.
SRM - 092. Accesorio de fijación rueda.
SRM - 100. Módulo seguidor de línea.
SRM - 101. Seguidor de línea - Base.
SRM - 102. Seguidor de línea - Tapa.
SRM - 110. Módulo sensor de encoder.

SRM - 111. Sensor de encoder - Base.

SRM - 112. Sensor de encoder - Tapa.

SRM - 120. Módulo sensor de contacto.

SRM - 121. Sensor de contacto - Base.

SRM - 122. Sensor de contacto - Tapa.

SRM - 123. Sensor de contacto - Punta y pasador.

SRM - 130. Módulo sensor de distancia por Infrarrojo.

SRM - 131. Sensor de distancia IR - Base.

SRM - 132. Sensor de distancia IR - Tapa.

SRM - 140. Módulo sensor detector de objetos por Infrarrojo.

SRM - 141. Detector de objetos IR - Base

SRM - 142. Detector de objetos IR - Tapa.

SRM - 150. Módulo sensor de distancia por Ultrasonido.

SRM - 151. Sensor de distancia por Ultrasonido - Base

SRM - 152. Sensor de distancia por Ultrasonido - Tapa.

SRM - 160. Módulo rastreador de luz.

SRM - 161. Módulo rastreador de luz - Base.

SRM - 162. Módulo rastreador de luz - Tapa.

SRM - 170. Módulo sensor de temperatura.

SRM - 171. Sensor de temperatura - Base.

SRM - 172. Sensor de temperatura - Tapa.

SRM - 180. Módulo detector de sonido.

SRM - 181. Módulo detector de sonido - Base.

SRM - 182. Módulo detector de sonido - Tapa.

SRM - 190. Módulo Zumbador.

SRM - 191. Módulo Zumbador - Base.

SRM - 192. Módulo Zumbador - Tapa.

SRM - 200. Módulo Manipulador.

SRM - 201. Módulo manipulador - Explosión.

SRM - 210. Módulo de comunicación inalámbrica - Emisor.

SRM - 211. Emisor inalámbrico - Base.

SRM - 212. Emisor inalámbrico - Tapa.

SRM - 220. Módulo de comunicación inalámbrica - Receptor.

SRM - 221. Receptor Inalámbrico - Base.

SRM - 222. Receptor Inalámbrico - Tapa.

9. ANEXOS

ANEXO A. ANÁLISIS DE SOLUCIONES EXISTENTES

ANEXO B. JERARQUIZARON DE LOS SUBPROBLEMAS DEL PROYECTO

ANEXO C. SENSORES INFRARROJOS EN CONFIGURACIÓN REFLEX

ANEXO D. PROGRAMACIÓN

ANEXO E. APLICACIÓN DEL MÉTODO AMFE

ANEXO F. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE USO

ANEXO G. ESPECIFICACIÓN DE COSTOS

10. MANUAL DE USUARIO