

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ROBOT DE BAJO COSTO  
PARA ESTIMULAR LA FOTOSÍNTESIS EN PLANTAS DE  
PEQUEÑO TAMAÑO**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**Angel Esteban Barragán Neira**

ASESOR: Dr. Gustavo Kato Ishizawa

**Lima, Febrero del 2013**

## RESUMEN

Las plantas conforman gran parte del planeta cumpliendo un rol muy importante en el ecosistema de la Tierra; sin ellas, nuestro entorno no sería como lo conocemos. Este asunto de estudio busca trasladar una planta hacia una zona donde exista mayor cantidad de luz y en la medida de lo posible, trasladarla a una zona donde incida luz solar directa.

Se utilizó la robótica como medio para poder lograr esta labor, para así desarrollar un producto con un objetivo definido y un uso determinado. Este estudio sería la base para lograr un producto comercial.

Se desarrolló un robot autónomo el cual consta de un sistema de desplazamiento a base de servomotores, un sistema de sensores infrarrojos para la detección de obstáculos, un sistema de sensores de intensidad de luz, y un sistema de control basado en el microcontrolador ATmega8 de la familia ATMEL.



## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de un robot de bajo costo para estimular la fotosíntesis en plantas de pequeño tamaño.  
Área : Electrónica # 1040  
Asesor : Dr. Gustavo Kato Ishizawa  
Alumno : Angel Esteban Barragán Neira  
Código : 20074382  
Fecha : Viernes 07 de Septiembre, 2012



### Descripción y Objetivos

En muchos países del mundo, la robótica ha alcanzado un gran desarrollo en aplicaciones industriales y de servicio. Sin embargo son muy pocos los países que desarrollan aplicaciones robóticas para la ayuda a personas en labores domésticas, en particular, en el traslado de objetos.

En el presente trabajo, se diseñará, implementará y realizarán las pruebas experimentales de funcionamiento de un prototipo de robot móvil de tracción diferencial. Este robot será capaz de transportar una planta de pequeño tamaño hacia los lugares con mayor intensidad luminosa de tal manera que se logre estimular la fotosíntesis de la planta.

El robot a desarrollar será capaz de sensar las intensidades de luz a su alrededor a través de resistencias dependientes de luz (LDRs). Así mismo, podrá diferenciar las intensidades de luz y desplazarse hacia el lugar donde sense la mayor intensidad luminosa. Además, si existiera algún obstáculo en el camino, el robot lo podrá detectar por medio de sus sensores infrarojos y modificará su trayectoria para evitar la colisión. El robot será actuado por servomotores modificados y el sistema de control será un procesador Atmega8. Finalmente, la factibilidad económica de lograr obtener un producto comercial será estudiada.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Dr. Ing. BENJAMÍN GASTAÑEDA APHAN  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño e implementación de un robot de bajo costo para estimular la fotosíntesis en plantas de pequeño tamaño.

### Índice

#### Introducción

1. Respecto a robots móviles con tracción diferencial
2. Diseño de robot móvil con tracción diferencial
3. Implementación y pruebas experimentales
4. Análisis de costos del robot móvil

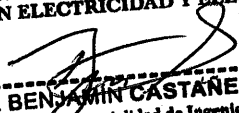
#### Conclusiones

#### Recomendaciones

#### Bibliografía

#### Anexos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

  
-----  
Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1: RESPECTO A ROBOTS MÓVILES CON TRACCIÓN DIFERENCIAL. ....</b>	<b>2</b>
1.1. Tipos de Robots Móviles. ....	2
1.2. Principio de Funcionamiento. ....	2
1.3. Principales Aplicaciones. ....	4
1.4. Elección de Tipo de Tracción. ....	4
1.5. Ventajas y Desventajas. ....	5
1.6. Objetivos. ....	6
<b>CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL ROBOT MÓVIL CON TRACCIÓN DIFERENCIAL....</b>	<b>7</b>
2.1. Diseño del Sistema a Nivel Mecánico.....	7
2.1.1. Diseño del Sistema de Desplazamiento.....	7
2.1.2. Diseño de la Estructura del Robot.....	11
2.2. Diseño del Sistema a Nivel Electrónico. ....	12
2.2.1. Diseño del Sistema de Sensado de Luz.....	12
2.2.2. Diseño del Sistema de Sensado de Obstáculos.....	13
2.2.3. Elección del Microcontrolador. ....	14
2.2.4. Elección de la Fuente de Energía. ....	16
2.2.5. Diseño del Diagrama Esquemático. ....	16
2.2.6. Diseño del Circuito Impreso. ....	16
2.3. Diseño del Sistema a Nivel Software.....	17
2.3.1. Diagrama de flujo.....	17
<b>CAPÍTULO 3: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS EXPERIMENTALES. ....</b>	<b>20</b>
3.1. Implementación del Sistema a Nivel Mecánico y Nivel Electrónico.....	20
3.1.1. Implementación de la Estructura del Robot.....	20
3.1.2. Implementación del Sistema de Desplazamiento. ....	20
3.1.3. Implementación del Sistema de Sensado de Luz.....	21
3.1.4. Implementación del Sistema de Sensado de Obstáculos.....	22
3.1.5. Implementación del Circuito Impreso. ....	22
3.2. Implementación del Sistema a Nivel Software.....	23

3.3.	Pruebas Experimentales.....	23
3.3.1.	Prueba de Velocidad.....	23
3.3.2.	Prueba de Radio de Giro.....	24
3.3.3.	Prueba de Rango de Distancia de Sensores de Obstáculos. ....	24
3.3.4.	Prueba de Ángulo de Operación de Sensores de Piso.....	24
3.3.5.	Prueba de Peso de Carga.....	25
3.3.6.	Prueba Trayectoria.....	26
 <b>CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS DEL ROBOT MÓVIL. ....</b>		<b>27</b>
4.1.	Presupuesto.....	27
4.2.	Encuesta de Deseo de Compra.....	28
 <b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>30</b>
 <b>RECOMENDACIONES .....</b>		<b>31</b>
 <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>32</b>
 <b>ANEXOS</b>		

## INTRODUCCIÓN

En este asunto de estudio, tiene la idea de realizar el prototipo de un robot móvil de tracción diferencial el cual deberá trasladar una planta de pequeñas dimensiones hacia una fuente de luz cuidando de no colisionar con ningún obstáculo ni salir de su plano de funcionamiento.

Esta idea tiene como fondo dos puntos principales. El primero es buscar la elaboración de un dispositivo agradable a la vista, con movimientos no rectilíneos, buscando un equilibrio entre lo ameno y lo ornamental. El segundo punto importante es el poder brindarle a una planta, la capacidad de poder reubicarse.

Al finalizar el desarrollo del prototipo, se analizará la posibilidad de realizar esta idea comercialmente, analizando los costos de producción y determinando cuanto estaría dispuesto a pagar un consumidor. Esto conlleva a un punto clave en el desarrollo del presente estudio que será la elaboración de un prototipo cuidando de no generar costos innecesarios. Con esto se logrará un costo de producción bajo, esperando que sea tan bajo como para poder desarrollar un producto comercial.

Los trabajos a realizar en cada capítulo se precisan a continuación:

**Capítulo 1:** Respecto a Robots Móviles con Tracción Diferencial.

Se expondrán los tipos de robots móviles existentes, eligiendo el modelo más conveniente para este asunto de estudio.

**Capítulo 2:** Diseño del Robot Móvil con Tracción Diferencial.

Se detallará las consideraciones de diseño que se tuvo en cuanto a las partes mecánicas, el hardware y el software.

**Capítulo 3:** Implementación y Pruebas Experimentales.

Se presentará la implementación sistema total por subsistema, y además se mostrarán los resultados de las pruebas experimentales que se realizaron.

**Capítulo 4:** Análisis de Costos del Robot Móvil.

Se mostrará el presupuesto generado a lo largo de todo el periodo del asunto de estudio.

## CAPÍTULO 1:

### Respecto a Robots Móviles con Tracción Diferencial.

#### 1.1. Tipos de Robots Móviles.

La robótica al presente, ha alcanzado un gran desarrollo en campos académicos e industriales. Sin embargo, el uso diario de robots en lugares como hogares u oficinas poco a poco va aumentando. Es por esto que se busca crear un robot como producto accesible a todas las personas.

Se muestra en la Figura 1-1 alguno de los sistemas de locomoción más utilizados en robots móviles.

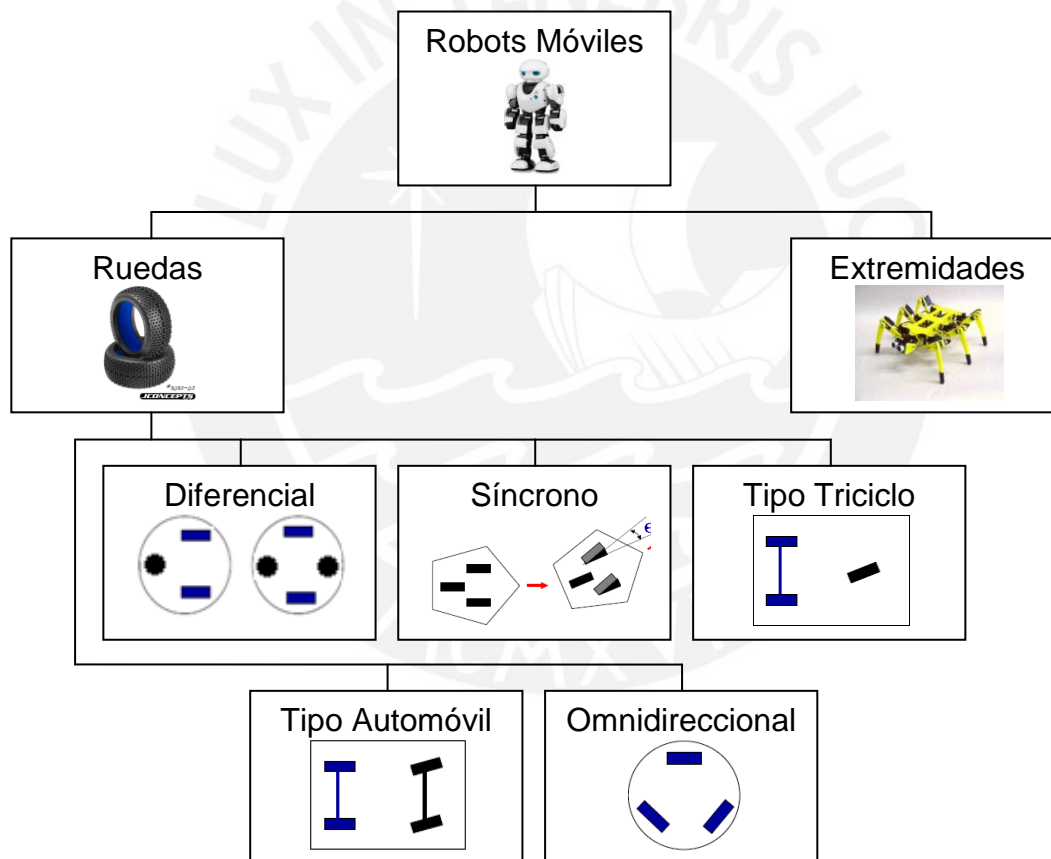


Figura 1-1: Clasificación de Robots por Tipo de Tracción [1]

#### 1.2. Principio de Funcionamiento.

En este asunto de estudio se desarrolló un robot móvil con tracción diferencial utilizando dos ruedas y una rueda pivote.

El principio de funcionamiento para esta configuración consiste en controlar dos ruedas de forma independiente y colocar la rueda pivote formando un triángulo para dar estabilidad a la estructura. Esta característica permite un excelente



control tanto en velocidad como en dirección con solo variar la rapidez y sentido de giro de cada motor.

En la Figura 1-2 se muestra un diagrama de la trayectoria de un robot con tracción diferencial con 2 ruedas y un pivote. En dicha figura tenemos  $W$  como la distancia entre ruedas, y  $R$  como el radio de giro en cada instante de movimiento.

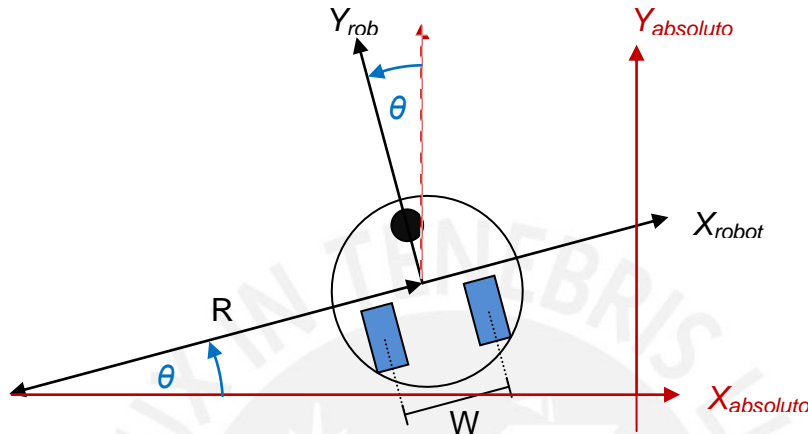


Figura 1-2: Diagrama de Trayectoria [2]

Partiendo de la premisa que el robot se encuentra en movimiento, obtenemos la velocidad de cada rueda teniendo en cuenta su distancia al centro de la circunferencia de su trayectoria en un diferencial de tiempo:

$$v_{izq} = \dot{\theta} \left( R - \frac{W}{2} \right) \quad (1.1)$$

$$v_{der} = \dot{\theta} \left( R + \frac{W}{2} \right) \quad (1.2)$$

Restando las ecuaciones (1.1) y (1.2) obtenemos la expresión de la velocidad angular en función a la distancia entre las ruedas:

$$v_{der} - v_{izq} = \dot{\theta} W \quad (1.3)$$

$$\dot{\theta} = \frac{v_{der} - v_{izq}}{W} \quad (1.4)$$

A partir de la suma de las ecuaciones (1.1) y (1.2) y despejando  $R$  obtenemos la magnitud del radio de curvatura instantáneo:

$$R = \frac{W}{2} \frac{v_{der} + v_{izq}}{v_{der} - v_{izq}} \quad (1.5)$$

Finalmente, obtenemos la velocidad resultante en el eje  $Y_{robot}$  la cual se obtiene multiplicando el radio por la velocidad angular:

$$v_y = \dot{\theta} R = \frac{v_{der} - v_{izq}}{W} \frac{W}{2} \frac{v_{der} + v_{izq}}{v_{der} - v_{izq}} = \frac{v_{der} + v_{izq}}{2} \quad (1.6)$$

En resumen, las ecuaciones de movimiento con respecto a las coordenadas del robot son como se muestran a continuación:

$$v_x = 0 \quad (1.7)$$

$$v_y = \frac{v_{der} + v_{izq}}{2} \quad (1.8)$$

$$\dot{\theta} = \frac{v_{der} - v_{izq}}{W} \quad (1.9)$$

Expresando las ecuaciones de movimiento en coordenadas absolutas, conseguimos las siguientes relaciones de velocidad: [1]

$$\dot{X} = \frac{v_{der} + v_{izq}}{2} \sin(\theta) \quad (1.10)$$

$$\dot{Y} = \frac{v_{der} + v_{izq}}{2} \cos(\theta) \quad (1.11)$$

$$\dot{\theta} = \frac{v_{der} - v_{izq}}{W} \quad (1.12)$$

### 1.3. Principales Aplicaciones.

Los robots de tracción diferencial son utilizados en aplicaciones o tareas en las cuales se necesita un desplazamiento, casi inmediato en los 360 grados del autómatas.

Poco a poco se están implementando este tipo de robots en el mercado con aplicaciones domésticas como aspiradoras automáticas, robots corta grass, juguetes, etc.

### 1.4. Elección de Tipo de Tracción.

Se eligió una configuración tipo tracción diferencial ya que es una de las formas más fáciles de implementar un robot móvil. Las facilidades que presenta se encuentran en la parte mecánica, hardware y software. Las demás configuraciones requieren de un sistema que pueda controlar y modificar la posición de las ruedas lo cual genera mayor complejidad mecánica. Por otro lado, la tracción con ruedas omnidireccionales no requiere de mayor complejidad.

Esto lleva a realizar un análisis más profundo para poder determinar si es más conveniente un Sistema Diferencial ó un Sistema Omnidireccional. Para ambos arreglos mencionados, el movimiento del robot es determinado mediante el control sobre los motores del mismo, donde se consiguen movimientos rectos y curvos.

En la Tabla 1.1 se muestran un cuadro comparativo para evaluar los costos de implementación del sistema diferencia y del sistema Omnidireccional.

Tabla 1.1: Comparación entre Sistema Diferencial y Omnidireccional

Tipo	Diferencial		Omnidireccional
Cantidad de Ruedas	2 Ruedas	1 Pivote	3 Ruedas Omnidireccionales
Costo de Ruedas	0.76 USD [4]	3.00 USD [5]	10.00 USD [6]
Cantidad de motores	2		3
Costo de Motores	5.38 USD [7]		8.07 USD [7]
Costo Total	9.90 USD		38.07 USD

Como se puede observar, la diferencia de costos entre los sistemas es considerable. En este sentido, se determinan que el costo de implementar un robot Omnidireccional es considerablemente más elevado.

Por lo tanto, se concluye que el Sistema Diferencial es superior frente al Sistema Omnidireccional para esta aplicación debido a su bajo costo.

### 1.5. Ventajas y Desventajas.

A continuación se detallarán las ventajas de desarrollar un robot con tracción diferencial:

#### - Nivel Mecánico:

Se requiere únicamente de dos motores, dos ruedas y una rueda pivote. Por lo tanto, es el sistema más práctico de implementar.

#### - Nivel Hardware:

Se necesita contar con dos motores similares uno para cada rueda. En cambio, otros sistemas demandan mayor cantidad de motores o un servomotor adicional para el direccionamiento del robot. Por lo tanto, es el sistema con menos actuadores.

- **Nivel de Software:**

El sistema de software requiere asumir el control de dos motores, controlando tanto su dirección de giro como la velocidad. Por consiguiente, el software para el control del movimiento es el más sencillo.

Sin embargo, como todo sistema, este también presenta algunas desventajas que se mencionan a continuación:

- **Nivel Mecánico:**

Debido a que el sistema cuenta con tres apoyos para desplazarse, es necesario realizar un análisis de la posición del centro de gravedad para poder obtener estabilidad al momento del desplazamiento. Más aún si se necesita trasladar una carga.

- **Nivel Hardware:**

Al ser un robot controlado con dos motores independientes, se debe tener el cuidado de utilizar dos motores con características similares. De lo contrario, el control en el software deberá compensar esta diferencia.

## 1.6. Objetivos.

**Objetivo General:**

Diseñar e implementar un prototipo capaz de trasladar una planta de pequeño tamaño hacia zonas con mayor incidencia de luz solar.

**Objetivos Específicos:**

- Diseñar el prototipo de tal manera que los costos sean los más bajos posibles.
- Diseñar un prototipo capaz de definir una trayectoria y evitar obstáculos al desplazarse.
- Implementar y realizar pruebas experimentales para obtener las características y verificar la correcta operación del sistema.

## CAPÍTULO 2:

### Diseño del Robot Móvil con Tracción Diferencial.

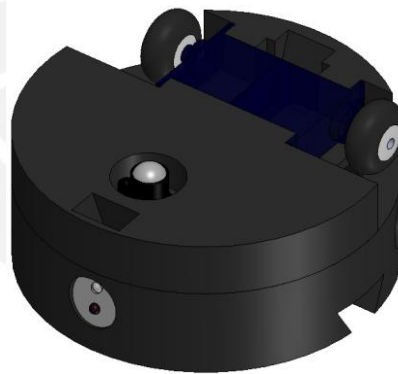
El presente capítulo contiene las especificaciones de diseño del robot como prototipo y el sustento de las elecciones de diseño más relevantes del sistema. El diseño del robot móvil fue realizado a nivel mecánico, electrónico y finalmente a nivel de software.

Los requerimientos mínimos asumidos para este asunto de estudio involucran la capacidad del prototipo de trasladar una carga menor a 1 kilogramo a velocidad promedio de 2 centímetros por segundo. Además, este debería ser capaz de evitar colisionar con objetos y caer de superficies planas elevadas.

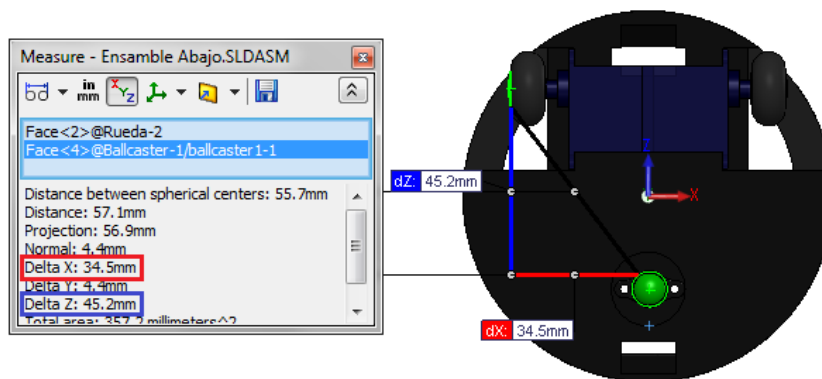
#### 2.1. Diseño del Sistema a Nivel Mecánico.

##### 2.1.1. Diseño del Sistema de Desplazamiento.

Como se mencionó en capítulos anteriores, el diseño tuvo el concepto de un robot con tracción diferencial, el cual consta de dos ruedas cada una con un motor independiente, y de una rueda pivote. El diseño se presenta en la Figura 2-1.



a) Vista Isométrica



b) Diseño de Chasis

Figura 2-1: Sistema de Desplazamiento.

El diseño del robot en cuanto al hardware se realizó definiendo una velocidad de desplazamiento mínima para un peso de carga máximo. A partir de estos factores de diseño, se procedió con el dimensionamiento de las ruedas y motores.

Para iniciar el dimensionamiento, se obtuvieron los diámetros de ruedas disponibles en el mercado, tomando en cuenta diámetros realistas para la implementación. Se procedió a realizar los cálculos para estimar las características necesarias de los motores, obteniendo valores estimados de velocidad de giro (RPMs) y torque (Kg-cm) para diferentes dimensiones de ruedas. Para determinar la velocidad de giro y el torque del motor necesarios, se emplearon las siguientes ecuaciones:

$$RPM_{motor} = velocidad_{robot} \times \frac{60}{2\pi \times Radio_{rueda}} \quad (2.1)$$

$$Torque_{motor} = \frac{aceleración_{robot}}{2} \times Peso_{robot} \times Radio_{rueda} \times 0.10197 \quad (2.2)$$

Se aplicó un factor multiplicativo de 0.10197 el cual corresponde al factor de conversión de unidades de (Newton-cm) a (Kgf-cm).

Concluyendo el dimensionamiento de las ruedas y motores, se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1: Cálculo de motores requeridos

Parámetros Requeridos de CADA Motor					
Robot			Ruedas	Motor	
Aceleración (m/s <sup>2</sup> )	Peso (Kg)	Velocidad (cm/s)	Diámetro (cm)	RPM	Torque (Kg-cm)
5	1	2	1.8	21.22	0.229
5	1	2	2	19.10	0.255
5	1	2	3	11.73	0.382

Luego de analizar estos parámetros calculados, se concluyó en primera instancia que para un diámetro de 2 cm, la velocidad de giro del motor no es elevada. Se optó por utilizar las ruedas de menor diámetro para poder tener un robot de menor tamaño.

En este sentido, se eligió el motor más apto según las opciones en el mercado para luego calcular las características del robot con el motor elegido, tomando en cuenta que dichos valores deben aproximarse a los valores previamente diseñados.

En la Tabla 2.2 se muestran los cálculos realizados con los motores elegidos. Los resultados a tomar en cuenta son la aceleración y la velocidad que el robot tendría con dichos motores.

Tabla 2.2: Cálculo de parámetros del robot

Parámetros de Robot con Motores Elegidos (Cálculo con 1 motor)				
Robot		Ruedas	Motor	
Peso (Kg)	Velocidad (cm/s)	Diámetro (cm)	RPM	Torque (Kg-cm)
1	7.85	1.8	82.33	1.6
1	8.73	2	82.33	1.6
1	13.09	3	82.33	1.6

El motor elegido excede la velocidad de diseño del robot, lo cual es aceptable ya que esta se podría regular en principio con una modulación por ancho de pulso. Sin embargo, se considera que la velocidad de 8.73 cm/s no es elevada para la aplicación que tendrá el autómata.

Cabe resaltar que el motor elegido es un servomotor, el cual se modificó para que este cumpla las mismas funciones que un motor DC común. Se optó por utilizar servomotores modificados debido a las siguientes razones:

- Los servomotores elegidos cumplen con todos los requerimientos (torque y velocidad de giro).
- Los servomotores elegidos son pequeños y de un costo considerablemente bajo.
- El empaque de los servomotores facilita el montaje a la estructura, a diferencia de la mayoría de motores DC.
- Los servomotores elegidos cuentan ya con una caja reductora.
- Los servomotores elegidos no necesitan de un controlador de motores para la inversión de giro, lo cual evita utilizar más componentes electrónicos reduciendo costos, complejidad de hardware y probabilidad de falla de componentes.
- Debido a que su voltaje de operación es de 5 voltios, no es necesaria la regulación de un voltaje diferente al microcontrolador.

A continuación se detallará el método utilizado en donde se adecúa un servomotor para que se comporte como un motor DC de giro libre. En la figura 2-2 se muestra el lazo de control general de un servomotor.

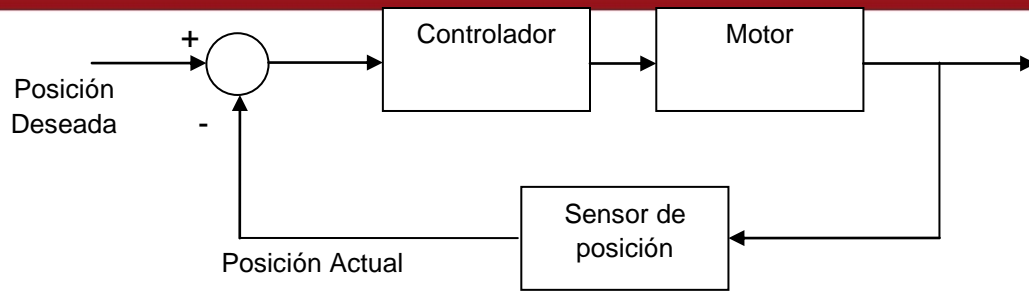


Figura 2-2: Lazo de Control de un Servomotor.

En adición al sistema de control, el servomotor mecánicamente contiene un potenciómetro en el eje del sistema el cual actúa como un sensor de posición para el servomotor, además existe un tope mecánico para que este eje no pueda girar más de  $180^\circ$  de lado a lado.

Por lo tanto, para poder modificar dicho servomotor y obtener un giro completo e infinito, se varía el lazo de control como se muestra en la figura 2-3.

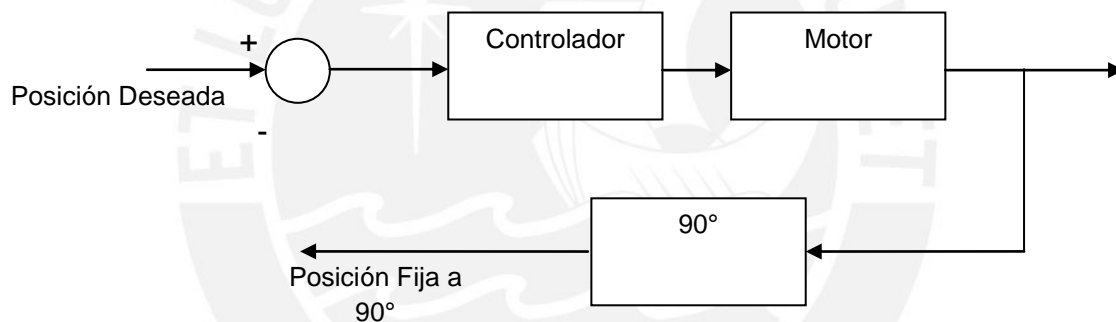


Figura 2-3: Lazo de Control Modificado

Para modificar efectivamente el lazo de control se necesita primero:

- Eliminar el tope mecánico que impide el giro libre del eje del motor.
- Rebajar el acople del potenciómetro para no permitir el sensado de la posición del eje.
- Mientras se controla el servomotor en una posición de  $90^\circ$ , se fija con soldadura para que este permanezca permanentemente en esa posición.
- Re ensamblar el servomotor.

Una vez realizada estas acciones, el lazo de control fue modificado satisfactoriamente, en donde el sensor de posición quedará fijo en un ángulo conocido.



Esto tiene como resultado que, cuando el punto de referencia (Set Point) sea mayor a  $90^\circ$ , el sistema de control hará girar el motor en sentido anti-horario y cuando el punto de referencia sea menor de  $90^\circ$ , el motor girará en el sentido opuesto.

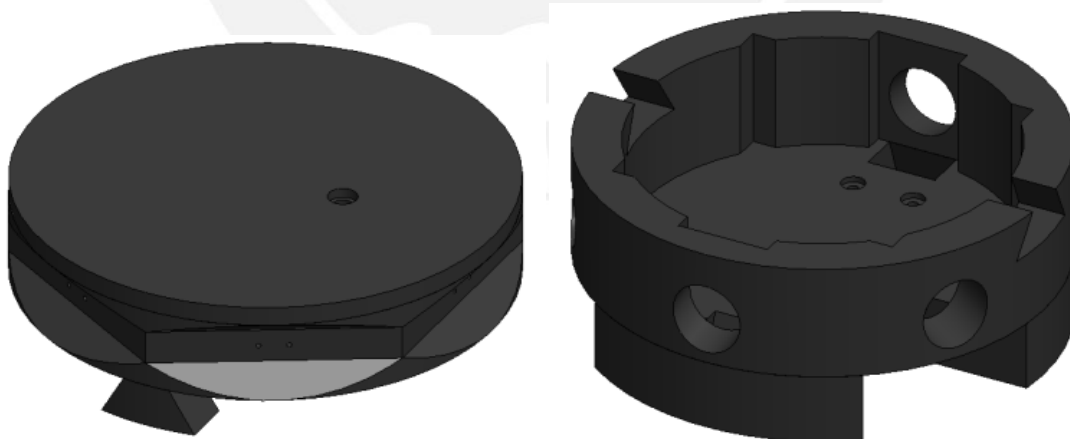
Cabe resaltar que los servomotores tienen la característica de mantener una velocidad constante, por lo tanto al sistema de control interno de este le será indiferente recibir un punto de referencia cercano o alejado de la posición actual (en este caso  $90^\circ$ ).

### 2.1.2. Diseño de la Estructura del Robot.

Una vez elegido el sistema de desplazamiento, se procedió a desarrollar el diseño de la estructura del robot en paralelo con el sistema electrónico.

Se definieron algunas características de diseño para la estructura las cuales consideran que esta no exceda 10 cm de largo por 10 cm de ancho. Se prefirió que la estructura sea de la menor altura posible. No debe ser posible tener libre acceso a los componentes electrónicos, pero sí a la fuente de energía para poder ser reemplazada con facilidad.

Por estos requerimientos se diseñó un concepto de estructura que consta de dos partes denominadas parte superior y parte inferior. Dichas partes se muestran en la Figura 2-4 y encajan entre sí para poder abrir y cerrar la estructura.



a) Parte Superior Chasis b) Parte inferior Chasis

Figura 2-4 Estructura Diseñada

Para efectos de un prototipo, se optó por utilizar madera como material de construcción tanto para el diseño como para la implementación debido a las facilidades de fabricación que brinda dicho material.

Los planos de diseño de la estructura final se encuentran en el Anexo I.

## 2.2. Diseño del Sistema a Nivel Electrónico.

### 2.2.1. Diseño del Sistema de Sensado de Luz.

El sistema de sensado de luz tiene como función determinar la dirección en la cual se encuentra la mayor intensidad de luz. Dicha información será interpretada por el microcontrolador para poder determinar su propio comportamiento y/o las acciones a seguir.

Para el sensado de luz se eligieron LDRs, puesto que estos sensores son de muy bajo costo. Además de no necesitar más acondicionamiento de señal que un divisor de voltaje como se muestra en la Figura 2-5.

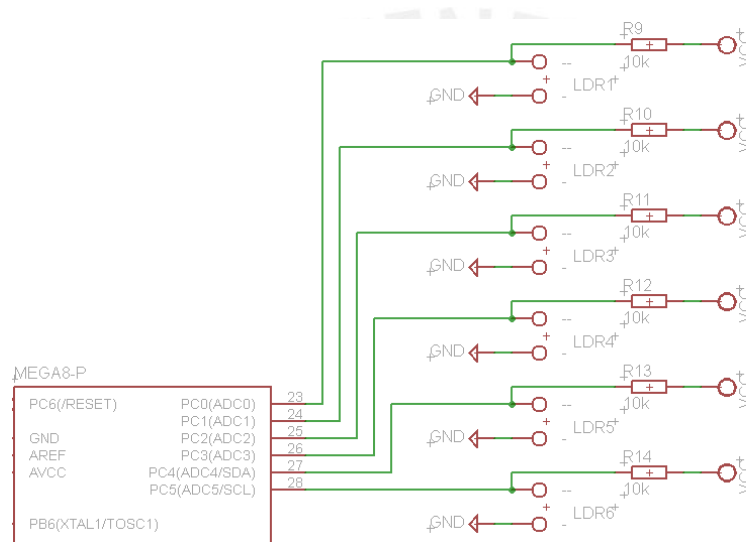


Figura 2-5: Diagrama de Circuito de LDRs

Se diseñó el sistema de sensores de luz como un arreglo de seis LDRs posicionados de forma simétrica alrededor del contorno del robot como se aprecia en la Figura 2-6 b). De esta manera se tiene un barrido casi completo de los alrededores, con lo cual, el robot no se verá en la necesidad de desplazarse para adquirir la información de la iluminación del ambiente. Esto conlleva dos ventajas:

- Se evita el consumo de energía en el desplazamiento para obtener la información que se requiere.
- Antes de desplazarse, podría reconocer si en realidad existe una gran diferencia de iluminación entre un extremo y otro. En este caso el robot podría elegir no moverse y entrar en un modo de "sleep" para ahorrar la mayor cantidad de energía posible.

En la Figura 2-6 c) se muestra un modelo recreado en 3D de los LDRs utilizados, además se muestra el montaje realizado sobre una de las partes del chasis del robot.



Figura 2-6: Sistema de Sensado de Luz

Se optó por posicionar de esta manera los sensores debido a que conviene conocer la intensidad de luz en el plano horizontal para casos en los cuales el robot se encuentre en sombra y la zona iluminada esté lejos.

**2.2.2. Diseño del Sistema de Sensado de Obstáculos.**

El objetivo de implementar un sistema de sensado de obstáculos es que el autómatas pueda determinar si existe algún objeto con el cual este pueda toparse ó colisionar.

Este sistema consiste en sensores infrarrojos los cuales se diseñaron íntegramente con el objetivo de obtener un sistema de bajo costo. El diseño de un sensor requirió de un emisor y un receptor, la salida del receptor se conectó a un comparador Schmitt Trigger para obtener una entrada digital al microcontrolador como se muestra en la Figura 2-7.

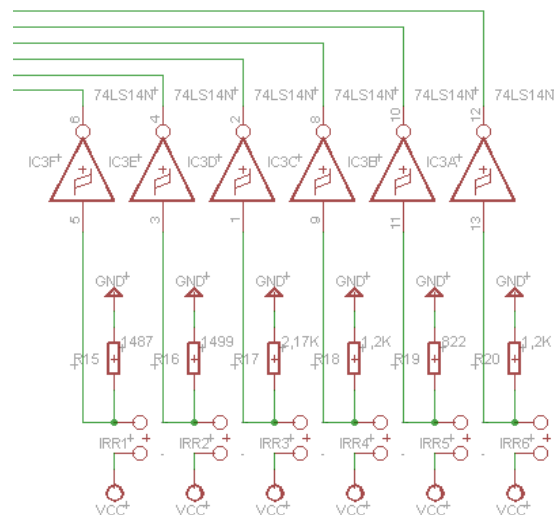
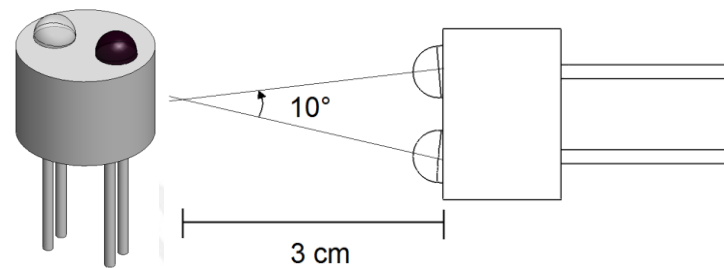


Figura 2-7: Diagrama de Circuito de Sensores Infrarrojos

Cuando el robot determina que existe un obstáculo en un sensor determinado, ejecuta una subrutina para poder evitarlo y seguir la trayectoria que los sensores de luz determinen.

Para poder implementar estos sensores, se les dio cierta inclinación tanto al emisor como al receptor para que el área de trabajo converja a 3 cm del sensor. En la figura 2-8 a) se muestran los diodos alineados y sujetos por silicona en forma cilíndrica y en la Figura 2-8 b) se muestra la inclinación mencionada.

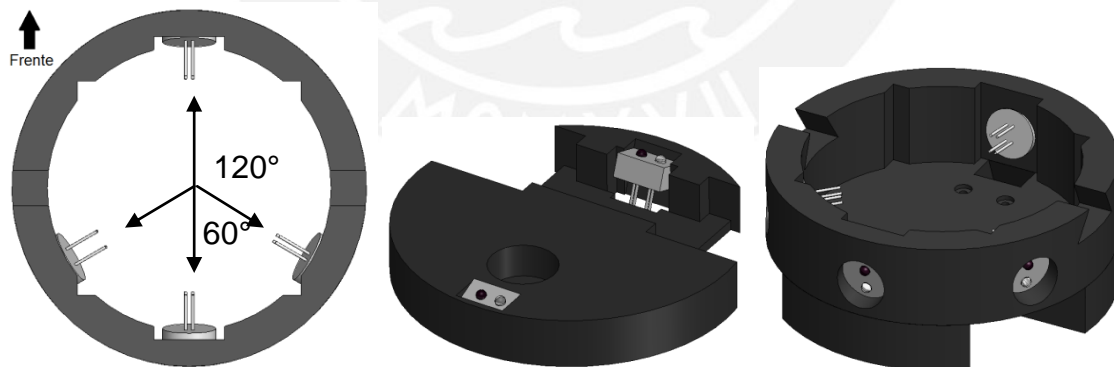


a) Sensores IR

b) Ángulo convergencia

Figura 2-8: Sistema de Sensores de Obstáculos

Se diseñó el sistema de sensores de obstáculos con un arreglo de 4 sensores infrarrojos ubicados en el contorno del chasis como se aprecia en la Figura 2-9 a). Asimismo, se acondicionaron sensores de obstáculos en la parte inferior los cuales son utilizados para sensar el momento en el cual el robot llegue al borde de una superficie para así evitar caer. En la figura 2-9 b) se muestra la ubicación de los sensores de piso.



a) Sensores Obstáculos

b) Sensores de Piso

c) Diseño de Chasis

Figura 2-9: Sensores Infrarrojos

### 2.2.3. Elección del Microcontrolador.

El sistema de control fue implementado en un microcontrolador para poder procesar las señales de entrada del robot, determinar la dirección de desplazamiento conveniente y controlar los servomotores.

El microcontrolador elegido es un ATmega8 de ATMEL. Este microcontrolador fue elegido debido a que cumple con los requerimientos mínimos propuestos al inicio de este capítulo para el control del robot.

En la Tabla 2.3 se muestra las necesidades que el sistema requiere en conjunto y las características de tres microcontroladores similares entre sí concluyendo así que el ATmega8 cumple con los requerimientos.

Tabla 2.3: Tabla comparativa de microcontroladores

Características	Necesidades del Robot	PIC16C773	ATmega8	ATmega88
<b>ADC</b>				
Cantidad de ADCs	6 pines	6	6	6
Resolución mínima	8 bits	12b	10b	10b
<b>Emisores IR</b>				
Cantidad	6 pines			
Corriente máxima por pin	50 mA			
<b>Sensores de Obstáculos</b>				
Cantidad	6 pines			
<b>Motores</b>				
Cantidad	2 pines			
<b>Pines Totales</b>	14 + ADC(6) + RESET	22	23	23
<b>Timers</b>				
Cantidad	1	3	3	3
<b>Oscilador</b>				
Interno	Si	Si	Si	Si
<b>Frecuencia trabajo</b>				
Frecuencia		20Mhz	8 MHz	20Mhz
<b>Memoria de Programa</b>				
Tamaño		4Kx14	4Kx16	4Kx16
<b>Memoria de Datos</b>				
Tamaño		256X8	1Kx8	1Kx8
<b>Precio</b>				
Cantidad		5.9 USD	2.66 USD	1.56 USD

Según se muestra, el controlador PIC16C773 tiene características similares e incluso superiores a los microcontroladores de ATMEL, sin embargo se escogió ATMEL debido a que son más baratos y además se cuenta con las herramientas para los microcontroladores de este fabricante, por lo que es una ventaja escoger un ATmega.

#### 2.2.4. Elección de la Fuente de Energía.

El voltaje de operación se fijó en 5 VDC, debido a que los motores elegidos anteriormente requieren de un voltaje de alimentación de 5 voltios igualmente el microcontrolador funciona en un rango de 1.8 a 5.5 voltios. Por otro lado los demás componentes pueden ser diseñados para trabajar alrededor de 5 voltios.

Es por esto que se utiliza un regulador de voltaje LM7805 ya que ofrece un voltaje de salida suficiente y no excesivo para los componentes eléctricos y electrónicos. Además de su bajo costo y su fácil adquisición en el mercado local.

Luego de elegir el acondicionamiento de la fuente de energía, se procede a seleccionar la fuente de energía. Las opciones a considerar se detallan en la Tabla 2.4. Las opciones propuestas se basaron principalmente en el tamaño físico de la fuente de alimentación.

Tabla 2.4: Tabla comparativa de microcontroladores

	Rhino Litio-Polonio [8]	Pilas AA [9]	Batería 9v [10]
<b>Voltaje nominal</b>	11.1	1.2	9
<b>mAh</b>	750	2000	175
<b>Peso (gr.)</b>	66	30.2	41.74
<b>Dimensiones (mm)</b>	68x12x35	13.5x13.5x50.5	26.5x17.5x48.5
<b>Cantidad a 9v</b>	1	8	1
<b>Peso Total (gr.) para Vbat &gt; 9v</b>	66	241.6	41.74
<b>Precio Total</b>	6.41 USD	6.25 USD	4.60 USD

Se optó por utilizar una batería de 9v debido a su cómodo precio, poco volumen y bajo peso. Cabe resaltar que a pesar de tener la menor relación amperios-hora los servomotores no estarán activados continuamente de tal manera que el consumo puede ser minimizado a través del programa de control.

#### 2.2.5. Diseño del Diagrama Esquemático.

Integrando los diseños parciales se realizó el diagrama esquemático del circuito completo que se presenta en el Anexo II.

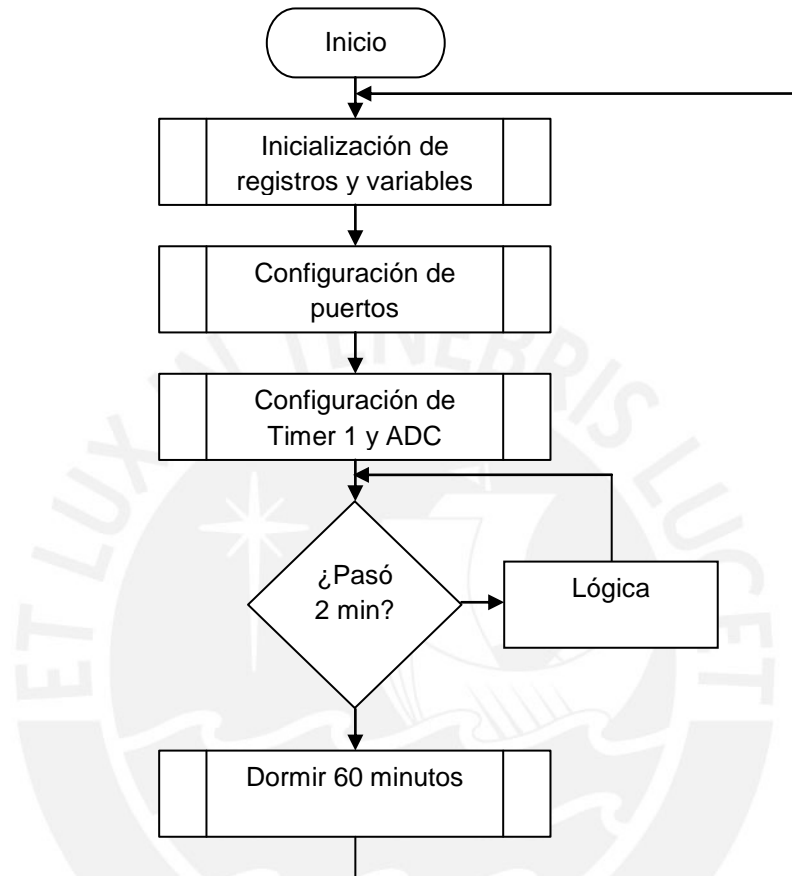
#### 2.2.6. Diseño del Circuito Impreso.

Plasmando el diagrama esquemático en físico, se desarrolló el circuito impreso que se adjunta en el Anexo III.

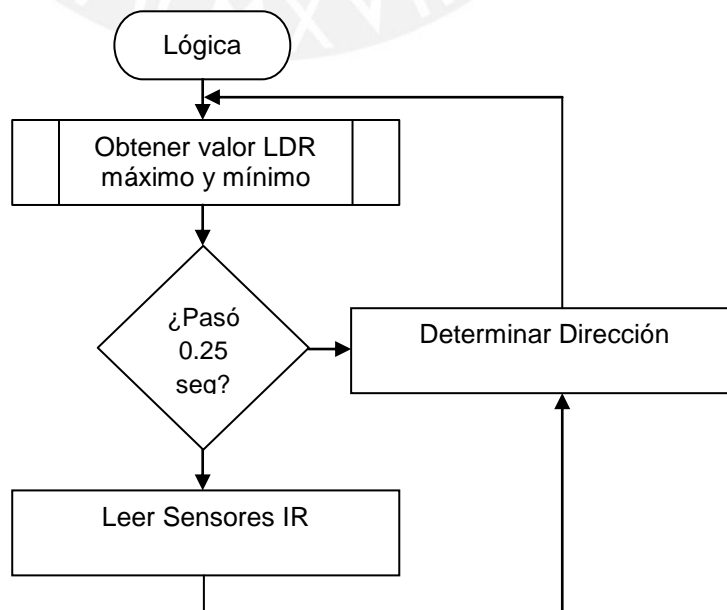
### 2.3. Diseño del Sistema a Nivel Software.

#### 2.3.1. Diagrama de flujo.

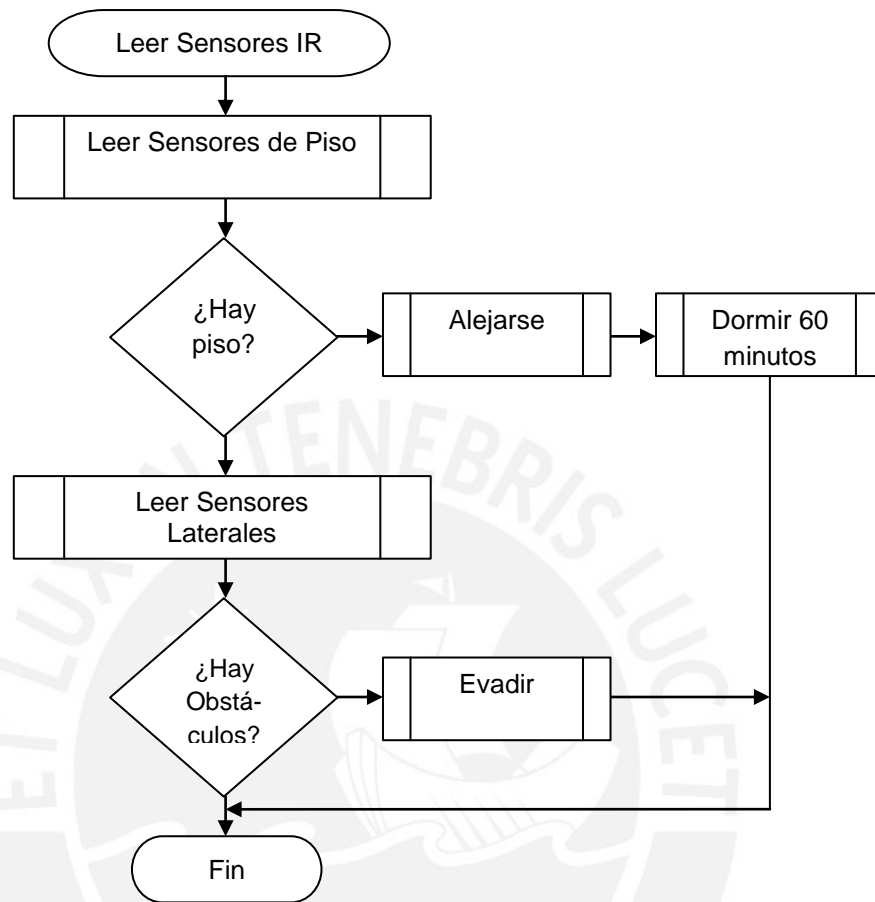
Programa Principal:



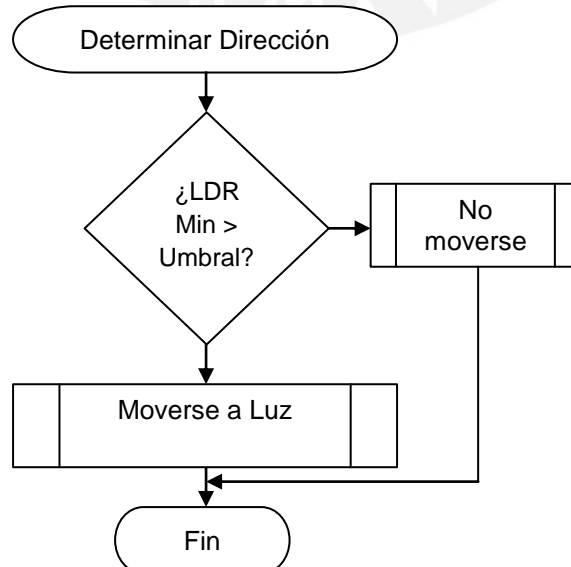
Subrutina de lógica del programa:



Subrutina de Sensores Infrarrojos:

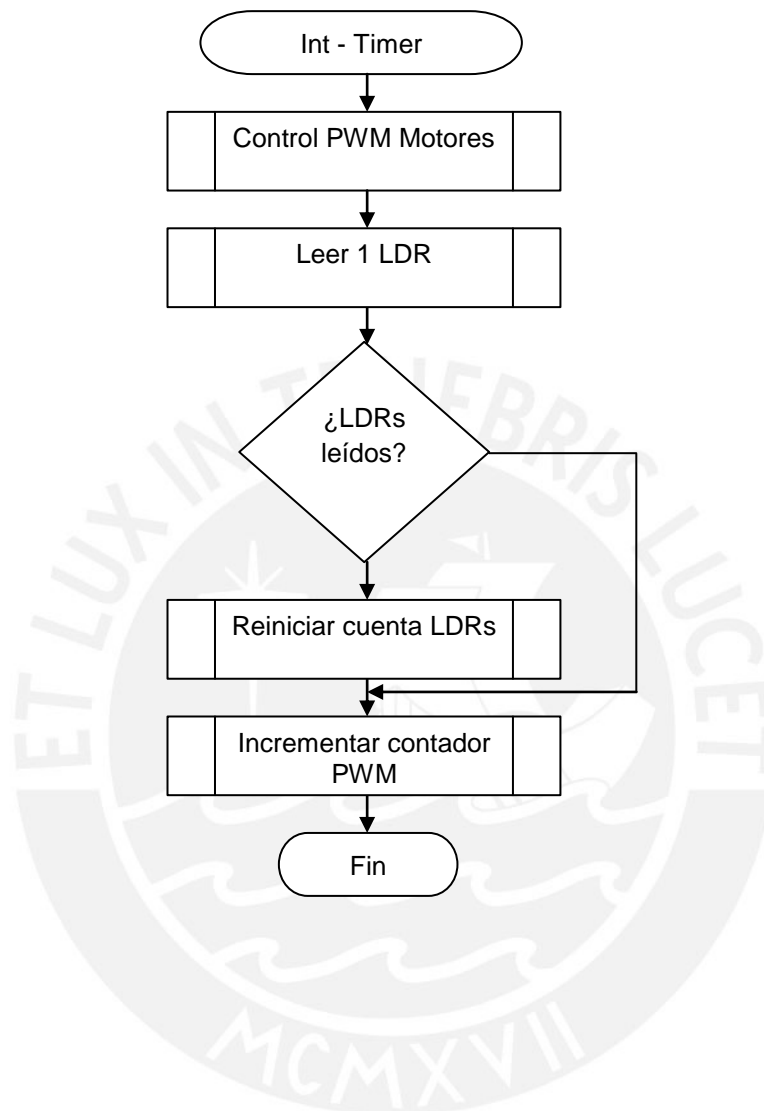


Subrutina de determinación de dirección:





Interrupción de Control de Motores y Lectura de Sensores de Luz:



## CAPÍTULO 3:

### Implementación y Pruebas Experimentales.

En este capítulo se expondrá el desarrollo del prototipo en base a las especificaciones de diseño consideradas en el capítulo anterior. Dicho desarrollo abarca el estado final de la estructura, el montaje de los componentes y la programación. Asimismo, se mostrarán los resultados de las pruebas de funcionamiento realizadas.

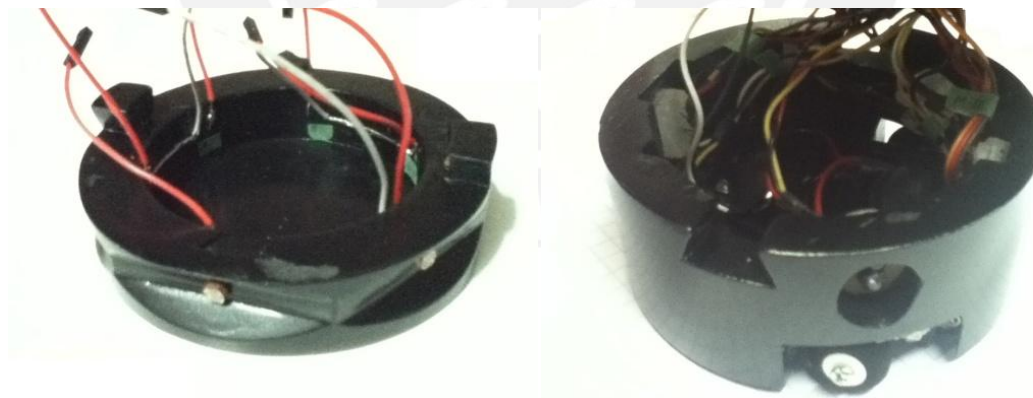
#### 3.1. Implementación del Sistema a Nivel Mecánico y Nivel Electrónico.

##### 3.1.1. Implementación de la Estructura del Robot.

La implementación del chasis o estructura del robot, se basó en el concepto de diseño desarrollado y bajo las consideraciones de los requerimientos mínimos.

Para efectos de implementación del prototipo, se utilizó madera como material de construcción, obteniendo así una estructura en escala 1 a 1 del diseño y los planos mostrados en el Anexo I.

Además, la estructura fue construida con las consideraciones necesarias para poder montar cada componente requerido por el robot. En la Figura 3-1 se muestra el estado final de la parte superior e inferior de la estructura.



a) Parte Superior

b) Parte Inferior

Figura 3-1 Estado Final del Robot

##### 3.1.2. Implementación del Sistema de Desplazamiento.

El sistema de desplazamiento fue montado al chasis de forma que cada una de las ruedas y la rueda pivote puedan soportar, de forma simultánea, el peso del robot, brindando así, estabilidad al movimiento.

En la Figura 3-2 se puede apreciar el Sistema de Desplazamiento completamente implementado.

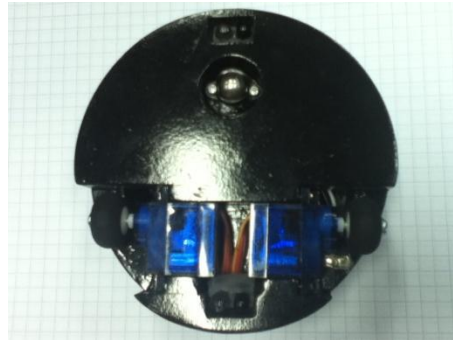


Figura 3-2 Sistema de Desplazamiento Implementado

Se utilizó el empaque de los servomotores para poder fijarlos a la estructura mediante dos tornillos, como se muestra en la Figura 3-3 a). La rueda pivote se implementa mediante dos pernos, fijados a la base de la estructura como se muestra en la Figura 3-3 b).



a) Vista Perfil Servomotores      b) Vista Inferior Rueda Pivote  
Figura 3-3 Sistema de Desplazamiento Detallado

### 3.1.3. Implementación del Sistema de Sensado de Luz.

El Sistema de Sensado de Luz no tuvo mayor complejidad, colocando los sensores dentro de sus posiciones correctas, para luego ser agrupado en pares y fijando cada sensor con su correspondiente pareja por dentro de la estructura. En la Figura 3-4 se muestra la posición de los sensores de luz.



Figura 3-4 Sistema de Sensado de Luz

### 3.1.4. Implementación del Sistema de Sensado de Obstáculos.

Luego de haber implementado el arreglo de sensores infrarrojos, se procedió a colocar estos en el chasis utilizando cola fría para madera. Se montaron dos tipos de sensores infrarrojos, uno para el sensado de obstáculos alrededor del robot y otro para el sensado de la superficie en la cual se moviliza.

El principio de funcionamiento y el método de montaje fueron los mismos, sin embargo la forma de estos dos tipos de sensores varía. En la Figura 3-5 se puede observar la diferencia entre estos arreglos de sensores y además se muestra la implementación final de estos.



a) Sensores de Obstáculos      b) Sensores de Piso  
Figura 3-5 Sistema de Sensado de Obstáculos

### 3.1.5. Implementación del Circuito Impreso.

De acuerdo al esquemático y circuito electrónico diseñado en el Capítulo 3, se procedió a fabricar la tarjeta y posteriormente a soldar los componentes. El estado final de la tarjeta se muestra en la Figura 3-6.



Figura 3-6 Circuito Impreso

### 3.2. Implementación del Sistema a Nivel Software.

Se desarrolló la programación sistema por sistema, realizando subrutinas para poder controlar tanto el sistema de desplazamiento, como el sistema de sensado de luz y finalmente el sistema de sensores de piso y de obstáculos. Luego se concatenó todo el programa para así poder completar con la programación.

El desarrollo del software se realizó en la plataforma del VMLab, cada programa realizado fue simulado para comprobar su correcto funcionamiento. En la Figura 3-7 se muestra la simulación del programa completo.

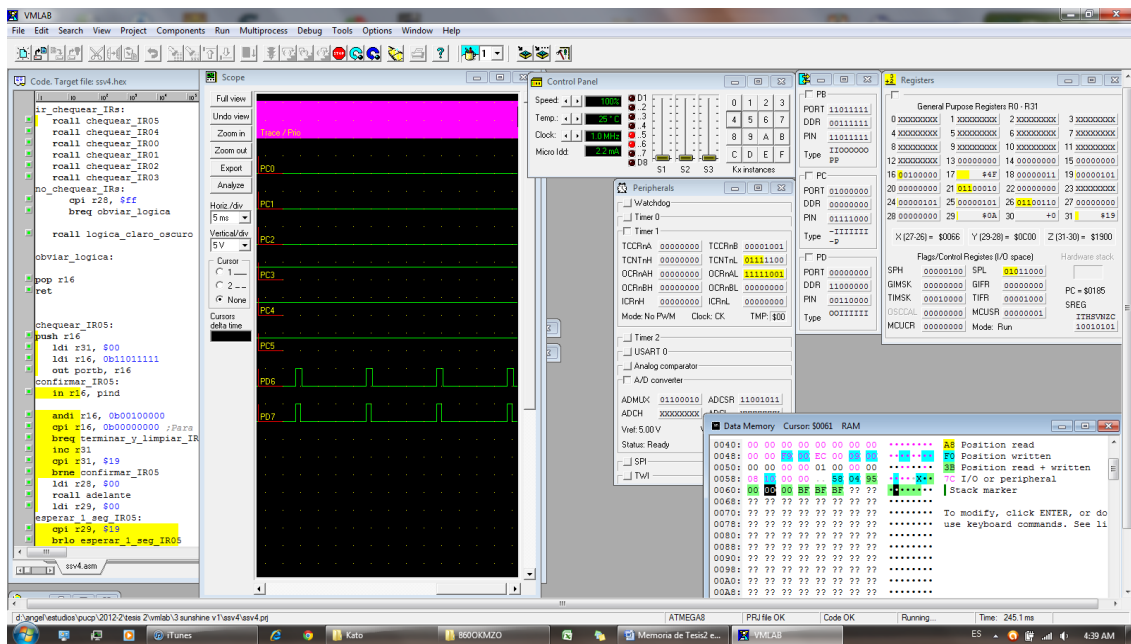


Figura 3-7 Simulación en VMLab

El programa completo en assembler se encuentra en el Anexo IV.

Luego de haber completado la programación, se procedió a realizar pruebas de funcionamientos, las cuales indican las capacidades y características del robot desarrollado.

### 3.3. Pruebas Experimentales.

#### 3.3.1. Prueba de Velocidad.

Para medir la velocidad del desplazamiento del robot se colocó una pista de papel marcada cada 10 cm, y se cronometró el tiempo que le tomó al robot recorrer 50 cm sin carga. Los resultados de esta prueba se encuentran en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Datos de Velocidad

Distancia (cm)	Tiempo(s)	Velocidad(cm/s)
50	7.1	7.04
50	6.9	7.25
50	6.8	7.35
50	6.9	7.25
50	6.8	7.35
<b>Promedio</b>		7.25

### 3.3.2. Prueba de Radio de Giro.

La prueba de radio de giro consiste en programar al robot para que gire utilizando solamente uno de los dos motores. Luego programarlo para que gire utilizando los dos motores en simultáneo obteniendo los resultados de la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Radio de Giro

<b>Giro con una rueda activa y la otra en reposo</b>	8 cm
<b>Giro con dos ruedas activas en sentido contrario (rotación)</b>	4 cm

### 3.3.3. Prueba de Rango de Distancia de Sensores de Obstáculos.

Esta prueba se realizó con el programa final, en donde se encuentra la subrutina para la búsqueda de luz. Se colocó un obstáculo para poder determinar a qué distancia el robot es capaz de reconocerlo. El robot se detendría cada vez que uno de los sensores se activa. Para poder obtener valores más precisos, se repitió la prueba tres veces por cada sensor de obstáculo. Los resultados se muestran en la Tabla 3.3:

Tabla 3.3: Distancia de Operación de Sensores de Obstáculos

Sensor de Obstáculos	1ra Prueba	2da Prueba	3ra Prueba	Promedio
<b>Adelante</b>	6.0 cm	5.7 cm	5.3 cm	5.66 cm
<b>Atrás</b>	5.3 cm	6.1 cm	5.8 cm	5.73 cm
<b>Atrás izquierda</b>	1.2 cm	3.0 cm	4.0 cm	3.07 cm
<b>Atrás derecha</b>	6.0 cm	6.0 cm	7.0 cm	6.33 cm

### 3.3.4. Prueba de Ángulo de Operación de Sensores de Piso.

El objetivo de esta prueba es determinar el ángulo en el cual el robot puede aproximarse al borde de una superficie sin caer. La prueba se realizó utilizando un papel en la superficie para poder marcar el comienzo y el final de la

trayectoria que realizaba el robot con la cual este ya no podía reaccionar a tiempo para evitar el atasco o la caída.

Los resultados se muestran en la Figura 3-8.

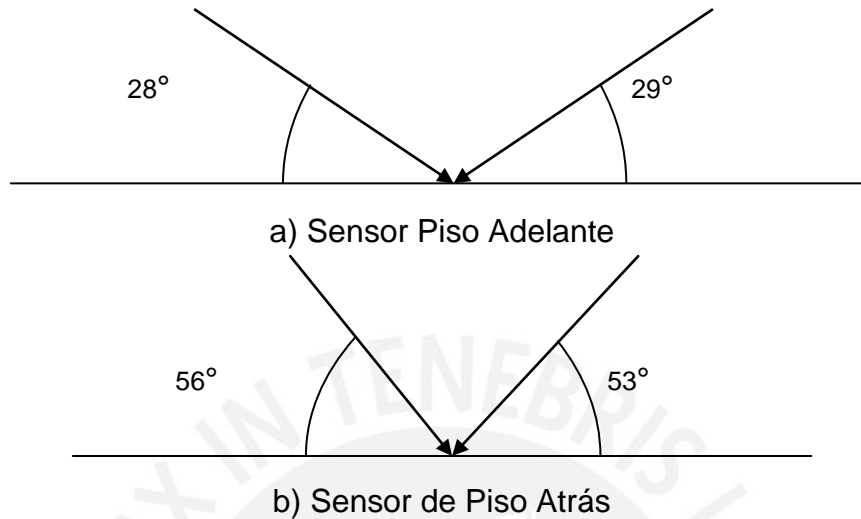


Figura 3-8 Ángulo de Operación de Sensores de Piso

### 3.3.5. Prueba de Peso de Carga.

El objetivo de esta prueba es determinar cuanta carga puede desplazar efectivamente el robot sin sufrir ninguna consecuencia permanente.

Se realizó utilizando pesas calibradas de la Especialidad de Física de la PUCP, en donde se colocaron diferentes pesos hasta observar mal funcionamiento o hasta poder concluir que se alcanzó el doble de la carga calculada.

Los resultados de esta prueba fueron evaluados por simple inspección, en donde se observó el desempeño del desplazamiento realizado por el robot. En la Tabla 3.4 se muestran los resultados de esta prueba:

Tabla 3.4: Máximo Peso de Carga

Peso de la carga (gr.)	Resultado	Observaciones
500	Se traslada	
1000	Se traslada	
1500	Se traslada con problemas	Con mayor peso, el sensor de piso de atrás hace contacto con el suelo
2000	No se traslada	

### 3.3.6. Prueba Trayectoria.

El objetivo de esta prueba es determinar si el robot realiza trayectorias consistentes y similares en condiciones similares. Se colocó el robot en la misma ubicación en cada prueba, pero en tres orientaciones iniciales diferentes.

Luego de realizar tres pruebas en cada orientación, se muestra en la Figura 3-9 el promedio de las trayectorias obtenidas.

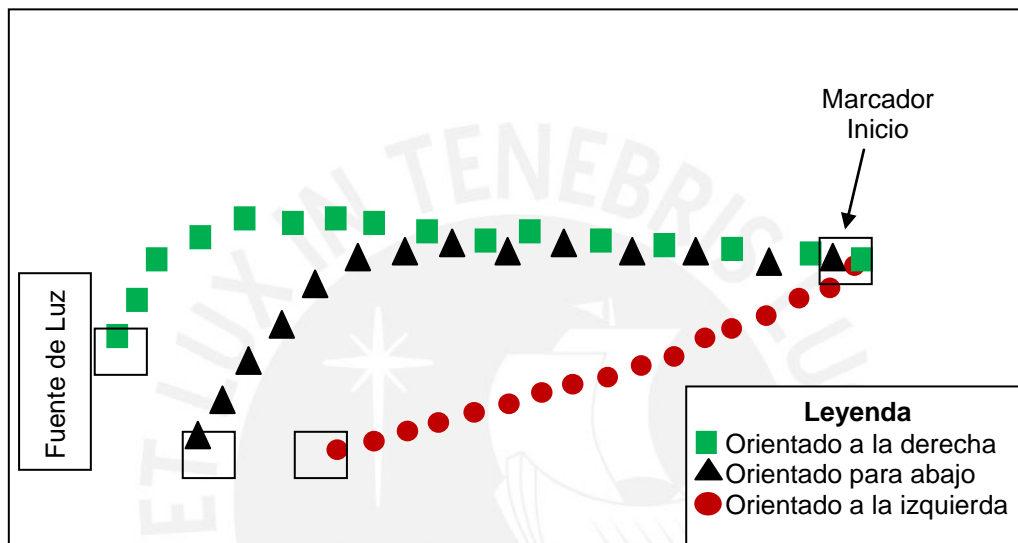


Figura 3-9 Trayectorias del Robot



## CAPÍTULO 4:

### Análisis de Costos del Robot Móvil.

#### 4.1. Presupuesto.

Se presenta el presupuesto en Nuevos Soles (S/.) para implementar el robot, sin considerar la mano de obra ni el costo de diseño, junto con un estimado de presupuesto para producir 100 unidades iguales.

Tabla 4.1 Presupuesto

Presupuesto								
No Item	Componente	Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Sub-totales	Precio x Centena	Sub-totales
<b>Componentes Eléctricos</b>								
1	LDRs		Unidades	6	0.50	3.00	42.50	255.00
2	Emisores IR		Unidades	6	0.70	4.20	50.00	300.00
3	Receptores IR		Unidades	6	1.00	6.00	75.00	450.00
4	74LS14	Schmitt Trigger	Unidades	1	1.50	1.50	120.00	120.00
5	7805	Regulador a 5v	Unidades	1	2.00	2.00	160.00	160.00
6	AT Mega 8		Unidades	1	13.00	13.00	1100.00	1100.00
7	Socket DIP 7x2		Unidades	3	0.50	1.50	40.00	120.00
8	Resistencias		Unidades	19	0.10	1.90	7.00	133.00
9	Condensadores		Unidades	5	0.50	2.50	40.00	200.00
10	Diodos		Unidades	1	0.50	0.50	42.50	42.50
11	Pulsador		Unidades	1	0.50	0.50	40.00	40.00
12	Conector batería 9v		Unidades	1	0.50	0.50	40.00	40.00
13	Batería 9v		Unidades	1	9.00	9.00	850.00	850.00
<b>Subtotal</b>						<b>46.10</b>	<b>Subtotal</b>	<b>3810.50</b>
<b>Componentes Mecánicos</b>								
14	Servomotores	*HTX 900	Unidades	2	13.00	26.00	1000.00	2000.00
15	Ruedas	*1.8cm de altura	Unidades	2	2.00	4.00	160.00	320.00
16	Ballcaster	*	Unidades	1	7.60	7.60	730.00	730.00
<b>Subtotal</b>						<b>37.60</b>	<b>Subtotal</b>	<b>3050.00</b>
<b>Otros</b>								
17	Estructura	A pedido	Unidades	1	40.00	40.00	3000.00	3000.00
18	Baquelita	De 10x10cm	Unidades	1	2.00	2.00	70.00	70.00
19	Cable Negro	Calibre 24	Metros	0.5	1.00	0.50	85.00	42.50
20	Cable Rojo	Calibre 24	Metros	0.5	1.00	0.50	85.00	42.50
21	Cable Verde	Calibre 24	Metros	0.5	1.00	0.50	85.00	42.50
22	Perno		Unidades	1	0.10	0.10	10.00	10.00
23	Tuerca		Unidades	1	0.10	0.10	10.00	10.00
<b>Subtotal</b>						<b>43.70</b>	<b>Subtotal</b>	<b>3217.50</b>
<b>Total</b>						<b>127.40</b>	<b>Total</b>	<b>10078.00</b>
<b>Comparación:</b>						<b>127.40</b>		<b>100.78</b>

### 4.2. Encuesta de Deseo de Compra.

Se realizó una encuesta para poder determinar el nivel de aceptación que podría tener el asunto de estudio como producto, además de obtener una valorización aproximada del mismo.

El universo de la encuesta se conforma por personas entre los 20 y 32 años de edad, de ambos sexos y de nacionalidad peruana con un nivel socio económico B, C y D.

La encuesta se estructuró como muestra la Figura 4-1:


No Ítem	Consulta	Consulta			
		Si		No	
1	¿Te gustaría tener un robot que se mueva?				
2	Qué te parece la idea de un robot que mueva una planta de la sombra a la luz	Muy Buena	Buena	Mala	Muy Mala
3	¿Alrededor de cuánto dinero estarías dispuesto a pagar por el robot mostrado abajo que realice estas tareas?	200 Soles	160 Soles	130 Soles	100 Soles
					

Figura 4-1 Encuesta

Se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 4.2:

Tabla 4.2 Resultados de Encuesta

No Ítem	Consulta	Consulta			
		Si (28)		No (1)	
1	¿Te gustaría tener un robot que se mueva?				
2	Qué te parece la idea de un robot que mueva una planta de la sombra a la luz	Muy Buena (6)	Buena (23)	Mala (0)	Muy Mala (0)
3	¿Alrededor de cuánto dinero estarías dispuesto a pagar por el robot mostrado abajo que realice estas tareas?	200 Soles (0)	160 Soles (7)	130 Soles (13)	100 Soles (9)

Finalmente se determina que, frente a un total de 29 encuestados, la mayoría tiene una postura positiva frente a la razón o motivación del producto y casi la totalidad de los encuestados tendrían expectativas de adquirir el producto.

Los resultados de la encuesta arrojan que el 44% de los encuestados no tendrían inconveniente en adquirir el producto por alrededor de 130 nuevos soles, valor que se encuentra por encima del costo del prototipo.

## CONCLUSIONES

- Según las pruebas experimentales de radio de giro, y prueba de trayectoria. Se concluye que el asunto de estudio presenta una consistencia de operación, lo cual lo hace un sistema confiable.
- Para las pruebas de velocidad máxima, el robot obtuvo resultados de 7.25 cm por segundo en promedio, además la prueba de carga muestra que el robot puede manejar cargas de 1 kg de peso. Tomando esto en cuenta, se observa consistencia en los resultados, y se concluye que el robot cuenta con estabilidad al desplazarse.
- Las pruebas de ángulo de operación de Sensores de Piso, demuestran su correcto funcionamiento, sin embargo siempre existirá la posibilidad de que el robot caiga.
- Los resultados de la Encuesta de Deseo de Compra muestran una tendencia del encuestado a estar dispuesto a pagar más del valor costeadado del prototipo.
- En base a los resultados de las pruebas experimentales, costo de implementación (Presupuesto) y la Encuesta de Deseo de Compra, se concluye que robot podría ser un producto comercial viable.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar el desarrollo un nuevo prototipo el cual podrá ser de menor costo que el de este asunto de estudio. Además de poder evidenciar mejoras en los resultados de las pruebas y en la funcionalidad general del sistema.



**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] RUIZ DEL SOLAR, J y SALAZAR, R.  
2002 “Robots Móviles”. Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile: Facultad de Cs. Fs. Y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Eléctrica (Consulta: 15/09/2011)  
<<http://robotica.li2.uchile.cl/EL63G/capitulo4.pdf>>
- [2] Pérez J., TOVAR S., UBALDO, G., VILLASEÑOR C., GORROSTIETA, E., PEDRAZA J., VARGAS, J., RAMOS, J., SOTOMAYOR, A.  
2011 “Robot Móvil de Tracción Diferencial con Plataforma de Control Modular para Investigación y Desarrollo Ágil de Proyectos”. Jalisco, México. 10mo Congreso Nacional de Mecatrónica (México)” (Consulta 15/09/2011)  
<<http://www.mecatronica.net/emilio/papers/10cnm18.pdf>>
- [3] COOK, Gerald  
2011 “Mobile Robots Navigation. Control and Remote Sensing”. New Jersey, USA. Editorial Wiley, New Jersey.
- [4] Hobby King  
2011 Consulta de Precios: Ruedas Pequeñas (Consulta: 23/09/2011)  
<[http://www.hobbyking.com/hobbycity/store/\\_9858\\_Small\\_Wheel\\_Diam\\_20mm\\_Width\\_10mm\\_5pc\\_Bag\\_.html](http://www.hobbyking.com/hobbycity/store/_9858_Small_Wheel_Diam_20mm_Width_10mm_5pc_Bag_.html)>
- [5] Pololu  
2011 Consulta de Precios: Rueda Pivote (Consulta: 25/09/2011)  
<<http://www.pololu.com/catalog/product/951>>
- [6] Robot MarketPlace  
2012 Consulta de Precios: Omniruedas (Consulta: 16/11/2012)  
<<http://www.robotmarketplace.com/products/VEX-276-1902.html>>
- [7] Hobby King  
2011 Consulta de Precios: Servomotores (Consulta: 25/09/2011)

[http://www.hobbyking.com/hobbycity/store/\\_662\\_HXT900\\_9g\\_1\\_6kg\\_12sec\\_Micro\\_Servo.html](http://www.hobbyking.com/hobbycity/store/_662_HXT900_9g_1_6kg_12sec_Micro_Servo.html)>

[8] Hobby King

2012 Consulta de Precios: Batería Rhino (Consulta: 21/11/2012)

[http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_7292\\_Rhino\\_750mAh\\_3S\\_11\\_1v\\_20C\\_Lipoly\\_Pack.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_7292_Rhino_750mAh_3S_11_1v_20C_Lipoly_Pack.html)>

[9] Duracell

2011 Consulta de Características: Batería AA (Consulta: 02/10/2011)

[http://www.duracell.com/media/en-US/pdf/gtcl/Product\\_Data\\_Sheet/NA\\_DATASHEETS/MX1500\\_US\\_UL.pdf](http://www.duracell.com/media/en-US/pdf/gtcl/Product_Data_Sheet/NA_DATASHEETS/MX1500_US_UL.pdf)>

[10] Digikey

2012 Consulta de Características: Batería 9v (Consulta: 02/10/2011)

<http://www.digikey.com/scripts/dksearch/dksus.dll?FV=fff40006%2Cfff804e4&vendor=0&mnonly=0&newproducts=0&ptm=0&fid=0&quantity=0&PV32=4>>