

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**

**DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO  
AUTOMÁTICO SEGUIDOR DE LA LUZ SOLAR DE UN EJE,  
CONTROLADO POR MEDIO DE UN MICROCONTROLADOR Y UN  
MOTOR PASO A PASO COMO ACTUADOR, EMPLEANDO UN CONTROL  
CON LÓGICA DIFUSA**

**AUTOR:**

**FRANKLIN ARMANDO LLANGARÍ YAGUACHI**

**DIRECTOR:**

**HAMILTON LEONARDO NUÑEZ VERDEZOTO**

**Quito, febrero de 2015**

## **DECLARACIÓN**

Yo, autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaro que los conceptos y análisis desarrollados, y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, febrero de 2015.

---

Franklin Armando Llangarí Yaguachi

C.C: 172192434-6

## **DEDICATORIA**

A Dios.

Por haber permitido llegar hasta este punto, por darme la sabiduría e inteligencia para realizar este proyecto, y por haberme dado salud para lograr mí objetivo, además de su infinita bondad y amor.

A mis Padres.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me permitió ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis Profesores.

Por ser un ejemplo para mí, porque como su estudiante, aprendí de ellos, también por haberme guiado académicamente durante la vida universitaria.

*Frank*

## **AGRADECIMIENTO**

Por todos estos años de esfuerzo y dedicación durante el periodo universitario, quiero agradecer a mis profesores, quienes aportaron con brío y voluntad a mi formación profesional, quiero agradecer a mis compañeros de aula, con quienes compartí vivencias, amistad y compañerismo a lo largo de la carrera.

*Frank*

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	3
1.1. Problema a resolver.....	3
1.2. Hipótesis .....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Justificación .....	4
1.5. Alcance .....	5
1.6. Metodología de la investigación .....	5
1.6.1. Investigación bibliográfica .....	6
1.6.2. Desarrollo de hardware y software.....	6
1.6.3. Documentación.....	6
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	7
<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	7
2.1. Antecedentes .....	7
2.2. Tipos de sistemas de aprovechamiento de energía solar.....	11
2.2.1. Sistemas solares fotovoltaicos aislados o tipo isla .....	11
2.2.2. Sistemas solares fotovoltaicos aislados c/d.....	11
2.2.3. Sistemas solares fotovoltaicos aislados c/a .....	11
2.2.4. Sistemas solares fotovoltaicos aislados pico led .....	12
2.2.5. Sistemas solares fotovoltaicos conectados .....	13
2.3. Movimiento del girasol .....	13
2.4. Sistema de seguimiento solar .....	14
2.5. Pcb (circuitos impresos).....	15
2.6. PicC compiler.....	16
2.6.1. Estructura del programa .....	16
2.6.2. Tipos de datos.....	16
2.6.3. Las constantes .....	16
2.6.4. Funciones .....	17
2.6.5. Comentarios .....	17
2.6.6. Entorno de trabajo .....	17
2.7. Lógica difusa.....	18

2.7.1. Conjunto borroso.....	18
2.7.2. Función de pertenencia.....	19
2.7.3. Sistemas difusos .....	21
2.7.4. Fuzzificación .....	22
2.7.5. Inferencia.....	22
2.7.6. Defuzzificación .....	22
2.8. Foto-resistencia .....	22
2.9. Motor paso a paso .....	24
2.9.1. Motores de reluctancia variable .....	25
2.9.2. Motores paso a paso de imán permanente.....	25
2.9.3. Motores paso a paso híbridos .....	26
2.10. Microcontroladores .....	27
2.10.1. Arquitectura del microcontrolador .....	28
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>30</b>
<b>DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....</b>	<b>30</b>
3.1. Diseño del hardware .....	30
3.1.1. Planos electrónicos.....	33
3.1.2. Pasos para realizar un circuito impreso pcb wizard .....	34
3.1.3. Diseño del soporte del panel .....	37
3.1.4. Análisis y modelo matemático del módulo .....	41
3.1.5. Motor em-50.....	44
3.1.6. Tornillo sin fin.....	46
3.1.7. Tarjeta de control .....	48
3.1.8. Gancho sujetador del panel .....	49
3.1.9. Acople mecánico por quijada.....	51
3.1.10. Montaje final .....	53
3.1.11. El microcontrolador.....	54
3.2. Software .....	55
3.2.1. Algoritmo de lógica difusa.....	56
3.2.2. Algoritmo para salida del motor.....	56
3.2.3. Algoritmo de control y diagrama de flujo .....	56
3.2.4. Lógica difusa .....	59
3.2.5. Conjuntos difusos creados.....	60
3.2.6. Relación entre conjuntos .....	61

3.2.7. Fuzzificación .....	66
3.2.8. Defuzzificación .....	68
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>69</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
4.1. Análisis de datos registrados tarjeta control .....	69
4.1.1. Panel solar sin el posicionador automático .....	69
4.1.2. Datos panel solar fijo dirección este.....	69
4.1.3. Datos panel solar fijo dirección centro.....	73
4.1.4. Datos panel solar fijo dirección oeste.....	77
4.2. Panel solar con el posicionador automático .....	80
4.2.1. Datos prototipo posicionador automático on .....	81
4.2.2. Análisis y contraste resultados obtenidos.....	85
4.3. Aplicación del prototipo .....	88
4.3.1. Aplicación prototipo abastecer energía vehículo en movimiento .....	89
4.4. Protocolo de mantenimiento para el prototipo .....	92
4.4.1. Mantenimiento estructura soporte .....	92
4.4.2. Mantenimiento panel solar .....	96
4.5. Mejoras del prototipo .....	99
4.5.1. Cambios realizados al prototipo .....	99
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>100</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>103</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Control del punto máximo de potencia .....	7
<b>Figura 2.</b> Incubadora de cuidados intensivos .....	8
<b>Figura 3.</b> Sistema de paneles y seguidores solares.....	9
<b>Figura 4.</b> Sistema de posicionamiento solar y generador de energía .....	10
<b>Figura 5.</b> Sistema solar aislado en corriente directa.....	11
<b>Figura 6.</b> Sistema solar aislado en corriente alterna.....	12
<b>Figura 7.</b> Nuevo sistema Pico Led Light.....	12
<b>Figura 8.</b> Movimiento del girasol.....	13
<b>Figura 9.</b> Sistema de seguidor solar .....	14
<b>Figura 10.</b> PCB Wizard.....	15
<b>Figura 11.</b> Entorno de trabajo de PCW .....	18
<b>Figura 12.</b> Captura de Pantalla función triangular .....	19
<b>Figura 13.</b> Captura de Pantalla función trapezoidal.....	19
<b>Figura 14.</b> Captura de Pantalla función caso especial.....	20
<b>Figura 15.</b> Captura de Pantalla función gamma .....	20
<b>Figura 16.</b> Captura de Pantalla función sigmoideal .....	21
<b>Figura 17.</b> Gráfica didáctica de sistema difuso .....	21
<b>Figura 18.</b> Foto-resistencia.....	23
<b>Figura 19.</b> Fotogeneración de portadores.....	23
<b>Figura 20.</b> Máquinas de reluctancia variable de saliente simple y de saliente doble	25
<b>Figura 21.</b> Motor paso a paso de imán permanente .....	26
<b>Figura 22.</b> Motor paso a paso híbrido .....	26
<b>Figura 23.</b> Microcontrolador .....	27
<b>Figura 24.</b> Arquitectura Von Neuman.....	28
<b>Figura 25.</b> Arquitectura Harvard.....	29
<b>Figura 26.</b> Arquitectura interna del microcontrolador .....	29
<b>Figura 27.</b> Placa de la tarjeta de control en PCB Wizard.....	31
<b>Figura 28.</b> Plano PCB .....	32
<b>Figura 29.</b> Circuito electrónico .....	33
<b>Figura 30.</b> Selección de componentes.....	35
<b>Figura 31.</b> Trazado de la pista.....	35
<b>Figura 32.</b> Capa de cobre en la placa .....	36
<b>Figura 33.</b> Diseño de circuito impreso finalizado .....	36



<b>Figura 34.</b> Soporte del panel en 3D.....	37
<b>Figura 35.</b> Soporte del panel vista superior y dimensiones.....	38
<b>Figura 36.</b> Soporte del panel vista lateral izquierda y dimensiones.....	39
<b>Figura 37.</b> Soporte del panel vista frontal y dimensiones.....	40
<b>Figura 38.</b> Orientación del panel solar de Este a Oeste .....	42
<b>Figura 39.</b> Proyección de la superficie S en el eje vertical .....	43
<b>Figura 40.</b> Descomposición de fuerzas .....	43
<b>Figura 41.</b> Ángulo de control del seguidor .....	44
<b>Figura 42.</b> Motor de pasos EM-50 .....	44
<b>Figura 43.</b> Motor de pasos EM-50 dimensiones .....	45
<b>Figura 44.</b> Tornillo sin fin.....	46
<b>Figura 45.</b> Partes del tornillo sin fin.....	47
<b>Figura 46.</b> Tornillo sin fin dimensiones .....	47
<b>Figura 47.</b> Tarjeta de control.....	48
<b>Figura 48.</b> Tarjeta de datos y fuente dimensiones.....	49
<b>Figura 49.</b> Gancho sujetador del panel vista frontal y dimensiones .....	49
<b>Figura 50.</b> Gancho sujetador del panel vista superior y dimensiones.....	50
<b>Figura 51.</b> Gancho sujetador del panel vista lateral derecha y dimensiones.....	50
<b>Figura 52.</b> Acople mecánico por quijada .....	51
<b>Figura 53.</b> Acople mecánico por quijada dimensiones .....	52
<b>Figura 54.</b> Montaje final 3D .....	53
<b>Figura 55.</b> Microcontrolador PIC18F4550 dimensiones .....	54
<b>Figura 56.</b> Programar el microcontrolador Pic.....	55
<b>Figura 57.</b> Diagrama de flujo para la lógica difusa.....	56
<b>Figura 58.</b> Diagrama de flujo para la salida del motor.....	56
<b>Figura 59.</b> Diagrama de flujo para control de posicionamiento automático.....	58
<b>Figura 60.</b> Conjuntos creados para variables de salida y entrada .....	60
<b>Figura 61.</b> Conjuntos de la variable de entrada Luminosidad Izquierda .....	61
<b>Figura 62.</b> Conjuntos de la variable de entrada Luminosidad Derecha .....	62
<b>Figura 63.</b> Conjunto de la variable de salida posición .....	63
<b>Figura 64.</b> Edición de reglas y combinación de conjuntos difusos.....	64
<b>Figura 65.</b> Gráfico de resultado en HORA-VOLTAJE Prueba 1 .....	71
<b>Figura 66.</b> Gráfico de resultado en HORA-VOLTAJE Prueba 2 .....	74
<b>Figura 67.</b> Gráfico de resultado en HORA-VOLTAJE Prueba 3 .....	78

<b>Figura 68.</b> Gráfico de resultado en HORA-VOLTAJE Prueba 4 .....	82
<b>Figura 69.</b> Gráfico de resultados contraste (1).....	86
<b>Figura 70.</b> Gráfico de resultados contraste (2).....	87
<b>Figura 71.</b> Gráfico de resultados contraste (3).....	88
<b>Figura 72.</b> Gráfico de resultados del Prototipo en movimiento .....	91
<b>Figura 73.</b> Gráfico esquema mantenimiento estructura soporte.....	95
<b>Figura 74.</b> Gráfico esquema mantenimiento panel solar.....	98
<b>Figura 75.</b> Gráfico esquema mejoras del prototipo.....	99

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de datos que utiliza PICC C .....	16
<b>Tabla 2.</b> Constantes que se utiliza en PICC C.....	17
<b>Tabla 3.</b> Lista componentes circuito impreso .....	30
<b>Tabla 4.</b> Análisis de materiales .....	41
<b>Tabla 5.</b> Características motor de pasos EM-50.....	45
<b>Tabla 6.</b> Dimensiones del motor de pasos EM-50 .....	45
<b>Tabla 7.</b> Dimensiones tornillo sin fin .....	47
<b>Tabla 8.</b> Dimensiones acople mecánico Lovejoy.....	52
<b>Tabla 9.</b> Características Pic 18F4550.....	54
<b>Tabla 10.</b> Tabla de reglas conjuntos difusos .....	63
<b>Tabla 11.</b> Tabla combinación de reglas .....	65
<b>Tabla 12.</b> Tabla de Resultados HORA-VOLTAJE Prueba 1 .....	70
<b>Tabla 13.</b> Tabla de Resultados HORA-VOLTAJE Prueba 2 .....	74
<b>Tabla 14.</b> Tabla de Resultados HORA-VOLTAJE Prueba 3 .....	78
<b>Tabla 15.</b> Tabla de Resultados HORA-VOLTAJE Prueba 4.....	81
<b>Tabla 16.</b> Tabla de Resultados Práctica .....	90
<b>Tabla 17.</b> Tabla protocolo de mantenimiento Prototipo.....	94
<b>Tabla 18.</b> Tabla protocolo de mantenimiento Panle solar.....	97

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Especificaciones técnicas del panel solar 50P.....	104
<b>Anexo 2:</b> Especificaciones técnicas del Ldr 20 mm Ø GL20537-1.....	105
<b>Anexo 3:</b> Datos técnicos del acoplamiento mordaza Lovejoy L/AL050.....	106
<b>Anexo 4:</b> Plano electrónico de la tarjeta de control para el proyecto.....	110
<b>Anexo 5:</b> Diseño de pistas para la tarjeta.....	111
<b>Anexo 6:</b> Código de programación realizado en Pic C Compiler.....	112
<b>Anexo 7:</b> Fotografías del prototipo sistema de posicionamiento automático.....	124

## RESUMEN

La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la Antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido evolucionando con el tiempo desde su concepción. En la actualidad, el calor y la luz del Sol puede aprovecharse por medio de captadores como células fotovoltaicas, helióstatos o colectores térmicos, que pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. Es una de las llamadas energías renovables o energías limpias, que puede hacer considerables contribuciones a resolver algunos de los más urgentes problemas que afronta la Humanidad.

Por otra parte el empleo de lógica difusa en el presente proyecto es de suma importancia ya que se emplearán datos inexactos, y la función de lógica difusa es trabajar lo más cercanamente igual al cerebro humano. La lógica difusa está orientada para exponer respuestas a problemas en procesos muy complejos, donde los modelos matemáticos sencillos no tienen la capacidad suficiente para desarrollarlos.

Para el presente proyecto se desarrollará un sistema que permita el control de luminosidad en función de la orientación del sol, un método que dotado de inteligencia artificial capte con máxima precisión la radiación solar y su incidencia para ser aprovechada.

Es por ello la necesidad de desarrollar un proyecto donde se realice una implementación de un sistema de posicionamiento automático seguidor de luz solar, controlado a través de un microcontrolador empleando lógica difusa para su control.

## **ABSTRACT**

Solar energy is the energy obtained from the use of electromagnetic radiation from the sun. Solar radiation reaching the Earth has been harnessed by humans since ancient times, using different technologies that have evolved over time from conception. Currently, heat and sunlight can be exploited by collectors and photovoltaic cells, heliostats or thermal collectors, which can transform into electrical or thermal energy. It is a so-called renewable energy and clean energy, which can make significant contributions to solving some of the most pressing problems facing humanity.

Moreover the use of fuzzy logic in this project is important because inaccurate data will be used, and fuzzy logic function is to work as closely equal the human brain. Fuzzy logic is oriented to present answers to problems in very complex processes where simple mathematical models do not have the capacity to develop them.

For this project a system that allows control of brightness depending on the orientation of the sun, a method of artificial intelligence endowed with maximum precision captures solar radiation and its impact to be exploited develop.

That is why the need to develop a project where an implementation of an automatic positioning follower of sunlight, controlled by a microcontroller using fuzzy logic control is performed.

## INTRODUCCIÓN

La lógica difusa actualmente es desarrollada en diferentes áreas de la tecnología, este mercado (el de la tecnología) abarca muchos productos que hoy en día trabajan con lo que es la lógica difusa. Muchas aplicaciones de lógica difusa son desarrolladas y puestas en práctica en países amantes de la tecnología como lo son Japón y Alemania.

El proyecto de titulación parte de la idea de aprovechar en gran parte uno de los beneficios del sol, obteniendo energía por medio de la radiación que emite el sol; desarrollando un modelo matemático que cumpla cada etapa en el controlador difuso y con base en dicho modelo matemático se realizará un programa.

Para la parte del diseño del prototipo se empleará un material que evite corrosión, y a la vez que sea robusta para el montaje final del sistema.

El presente trabajo consta de cinco capítulos en los que se describe el diseño y desarrollo del sistema de posicionamiento automático seguidor de luz solar, empleando un microcontrolador y motores paso a paso, así como la práctica de lógica difusa para dicho control.

En el capítulo uno se describe el problema a resolver, se plantea la hipótesis y se presentan los objetivos que se esperan alcanzar a la culminación del proyecto. De igual manera, se presenta la justificación y se establece el alcance y la metodología de la investigación empleada para el desarrollo del proyecto.

El capítulo dos consta del estado del arte y del marco teórico, en los cuales se presenta información acerca de los conceptos involucrados en el proyecto.

En el capítulo tres se presentan la parte del hardware que contiene todos los materiales utilizados para este proyecto ya montados en una maqueta o prototipo, el diseño del algoritmo y el desarrollo de la programación para el control automático del sistema de posicionamiento.

El capítulo cuatro contiene la información acerca del análisis de los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

En el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas.



# CAPÍTULO 1

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Problema a resolver

En la actualidad es de suma importancia realizar estudios sobre energía renovable, es por ello que a pesar de tener conocimientos sobre dicho tema existen algunas dificultades en obtener un sistema que suministre energía renovable con una eficiencia que sea considerada excelente.

Es por esta razón que nace la idea de desarrollar una investigación sobre energía renovable, específicamente la energía solar, elaborando un sistema automático de posicionamiento usando un panel solar para verificar la eficiencia de la misma.

Esto sería de gran utilidad para obtener resultados finales que puedan ser tomados con el fin de verificar la eficiencia del sistema, puesto que se debe comparar con el panel estático y con el panel ya funcionando con el controlador. Para este propósito se pretende utilizar la lógica difusa que realice el control del sistema de posicionamiento.

De esta manera, los datos obtenidos pueden ser de gran utilidad para establecer la funcionalidad del sistema de posicionamiento solar, con la finalidad de comprobar la eficiencia para aprovechar la radiación solar.

Con lo anteriormente descrito, se formulan las siguientes preguntas:

- ¿Cómo se deberá diseñar el hardware para que cumpla con lo requerido y en cuanto al software cual deberá ser la lógica que se establezca para el sistema?
- Una vez realizados tanto la parte del hardware como el software; y ya determinado los parámetros de medida que se debe realizar, ¿Qué datos son necesarios para verificar la validez del sistema de posicionamiento?

### 1.2. Hipótesis

Con el diseño de un sistema de posicionamiento automático seguidor de luz solar se prevé optimizar la captación de radiación solar, para dicho fin se utilizará lógica difusa que será el sustento en la parte del control del sistema.

En la parte del software para elaborar la lógica que utilice el sistema es necesario tomar en cuenta varios aspectos como lapsos de tiempo para tomar datos, movimientos que realicen el sistema y variaciones de medidas del panel solar.

Investigación de los dispositivos eléctricos y el programa que se utiliza para analizar las características de estos con el fin de elaborar de una manera coherente, el montaje de la parte del hardware y el proceso del programa; describiendo cada detalle en un documento técnico.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Diseñar y desarrollar un sistema de posicionamiento automático seguidor de la luz solar de un eje, controlado por medio del microcontrolador y un motor paso a paso como actuador, en un control con lógica difusa.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Estudiar y analiza los paneles fotovoltaicos, características y funcionamiento.
- Diseñar e implementar el hardware del sistema de posicionamiento automático seguidor de la luz solar.
- Diseñar e implementar un programa para el control del sistema de posicionamiento automático seguidor de luz solar por medio del microcontrolador, para control de motores.
- Probar y analizar los resultados de eficiencia en potencia, aplicando diferentes cargas al sistema de posicionamiento automático seguidor de la luz solar.

### **1.4. Justificación**

La necesidad de presentar un proyecto aprovechando los conocimientos adquiridos en la formación académica, desarrollando una aplicación que sea de utilidad para aprovechar los beneficios de la radiación solar para obtener energía renovable.

Mediante la construcción de un compacto y robusto prototipo dotado con un sistema de control difuso se puede obtener un instrumento que sirva para vitalizar los

conocimientos y el aprendizaje en lo referente al control de procesos con lógica difusa.

La creación de un documento que contenga las especificaciones de cómo llevar a cabo el proceso del proyecto.

Establecer las diferencias que se obtiene al trabajar el sistema en posición estática y los resultados que se tienen al utilizar el sistema de posicionamiento automático.

### **1.5. Alcance**

El proyecto está desarrollado para aprovechar las radiaciones del sol, con la finalidad de establecer diferencias al utilizar un panel fotovoltaico con un sistema de posicionamiento automático y en el caso de utilizar el panel en un estado estático.

El proyecto funciona con una fuente de poder de 12V DC que estará siempre conectada a la red eléctrica doméstica. O a su vez por motivo de autonomía cuenta con una batería que se utiliza para poder trasladar la estructura y hacer pruebas en diferentes partes. El proyecto funciona con un micro 18f4550, fotorresistencias “comunes” y un motor Paso a Paso con su respectivo driver l209d. El movimiento se ejecuta en un solo eje.

Realizando mediciones y obteniendo muestras para verificar la eficiencia del sistema tanto en pruebas con el prototipo y el sistema de posicionamiento automático encendido o a su vez con el sistema de posicionamiento automático apagado.

El módulo que se ha construido se lo puede utilizar en la terraza de una casa por ejemplo o en un vehículo con movimiento no excesivo y en lugares donde la geografía del suelo sea estable, es decir que en sitios inestables el prototipo no realiza su función establecida.

### **1.6. Metodología de la investigación**

Para la consecución del presente proyecto es pertinente empezar con la investigación bibliográfica, con la que se tendrán los conocimientos necesarios para seguir con el desarrollo del software y hardware que darán paso a la construcción final del

proyecto, de igual manera, es necesario contar con la documentación pertinente del mismo.

### **1.6.1. Investigación bibliográfica**

Se realizará la investigación sobre Energía Solar, y la lógica que se deberá aplicar para obtener la programación del sistema; para que dicho programa sea capaz de satisfacer las exigencias que se desea demostrar en el proyecto de grado.

Posteriormente se investigarán las características y funcionamiento de los elementos que se usa en la elaboración del sistema de posicionamiento.

Se investigarán las herramientas con las que cuenta el software para la programación del control y la comunicación que va a tener el sistema.

### **1.6.2. Desarrollo de hardware y software**

#### **Hardware:**

En cuanto al Hardware: Diseño de maqueta que soporte el panel solar, conocer los diagramas de conexión eléctricos, saber la lógica de su función, conocer todos los dispositivos que se usan y su operación.

Se desarrollará el diseño del circuito impreso utilizando el PCB Wizard y posteriormente se creará la tarjeta de control.

#### **Software:**

Se empleará el software de programación PicC Compiler que utiliza CCS como recurso para generar el código que será programado en el microcontrolador Pic. El firmware de control será un control con lógica difusa.

### **1.6.3. Documentación**

Desarrollo del documento monográfico correspondiente al presente proyecto, cuyo tema es: Diseño y desarrollo de un sistema de posicionamiento automático seguidor de luz solar de un eje, controlado por medio de un microcontrolador y un motor paso a paso como actuador, empleando un control con lógica difusa.

## CAPÍTULO 2

### ESTADO DEL ARTE

#### 2.1. Antecedentes

Para realizar este proyecto es preciso tomar en cuenta algunos aspectos importantes como el cuidado hacia el medio ambiente, puesto que en nuestro país aún hace falta concientizar acerca del impulso de la implementación de seguidores solares para generar energía.

En la actualidad existen algunos proyectos publicados con respecto a control de energía, o movimiento de paneles solares, paneles fotovoltaicos y lógica difusa como:

- “Control del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico, utilizando lógica difusa”, implementado por Carlos Robles de la Universidad de Magdalena Colombia. Fecha de publicación: Diciembre 14, 2011.

#### Control del punto de máxima potencia



**Figura 1.** Sistema para hacer un control de potencia máxima de un panel solar.

**Fuente:** (Robles, 2011)

Este proyecto trata sobre el diseño y modelado de un sistema que permite hacer un control del punto de máxima potencia de un panel solar fotovoltaico utilizando lógica difusa. De esta forma se logra maximizar la energía lumínica captada por el panel solar y por supuesto se alcanza a mejorar la eficiencia del sistema para condiciones de irradiación y temperatura variables. Se realiza la selección y acondicionamiento de un modelo matemático para el panel solar y luego se simula utilizando Matlab.

- "Incubadora de cuidados intensivos controlada con lógica difusa", implementado por Sergio Damián Ponce de la UTN Facultad regional San Nicolás. Fecha de publicación: Mayo 25, 2001.

**Incubadora de cuidados intensivos**



**Figura 2.** Incubadora dotada de energía solar por medio de paneles.

**Fuente:** (Ponce, 2001)

Este proyecto trata sobre un circuito electrónico que brinde comodidad ante el uso del personal, y que principalmente brinde y cumpla con las normas de seguridad para un recién nacido. Dicho circuito se basa en la utilización de un microcontrolador PIC 16C73B. Dicha incubadora posee comunicación serie con la PC, medición de humedad, interface con el usuario a través de un teclado matricial y un display LCD.

Existen casos particulares en los cuales se observan avances sobre paneles solares, en este caso teniendo como base fundamental un sistema de posicionamiento; un ejemplo se da en Colombia que con el objetivo de elevar el servicio de energía eléctrica al Centro de Salud y a una de las instituciones educativas de dicho lugar, de 12 a 24 horas, el Ministerio de Minas y Energía instaló un sistema de paneles y seguidores solares que adicionará 25 kilovatios a la capacidad eléctrica existente.

Dicho sistema cuenta con módulos solares, acoplado a una estructura móvil que proporciona un seguimiento diario a la posición de la tierra respecto al sol. Además, cuenta con un mecanismo que transforma la energía continua en corriente alterna con sistemas de inyección a la red. Cada uno de los seguidores produce 12,5 kilovatios,

que en conjunto pueden alimentar de 60 a 70 viviendas con un consumo promedio de 600 vatios.

**Sistema de paneles y seguidores solares**



**Figura 3.** Sistema de posicionamiento de paneles para elevar energía en hospital.

**Fuente:** (Ministerio de energía y minas Colombia, 2011)

Los habitantes de dicha localidad de Colombia ven con satisfacción como el servicio de energía eléctrica no solo llegó sino que ha sido mejorado significativamente en los últimos años y con éste su calidad de vida, ya que se ha intensificado el turismo y se han mejorado las condiciones de trabajo de los habitantes, cuyo mayor ingreso se da gracias a la pesca.

Otro de los casos en los que se ha promovido avances en tecnología con paneles solares y posicionamiento automático, se da en el estado de Guanajuato en México precisamente en el Museo Explora de la ciudad de León, en los cuales se ha instalado prototipos de seguidores solares los cuales generan 20,000 KW/h al año.

#### Sistema de posicionamiento solar y generador de energía



**Figura 4.** Seguidores solares que generan 20000 KW/h por año.

**Fuente:** (CIATEC Guanajuato, 2011)

El equipo del Centro de Innovación Aplicada en Tecnología Competitiva (CIATEC), diseñó la estructura del seguidor solar de 25 metros cuadrados; el soporte que lo sostiene es de tres metros de largo, en el cual el dispositivo va a girar. De esta manera los seguidores solares que reciben el sol de frente todo el tiempo generan entre 20 y 40 por ciento más de energía a diferencia que los paneles fijos. De hecho la Comisión Federal de Electricidad instaló medidores que registran la energía generada por los seguidores solares.

La energía solar fotovoltaica es una forma de obtener electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos expuestos a la radiación de luz solar, puesto que cada panel solar está compuesto por células semiconductoras tipo diodo que al momento de recibir la radiación solar, se estimulan y generan saltos electrónicos, dicha energía sigue el proceso de modo que la corriente continua generada se acumula y se la puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica.

Existen dos grandes tipos de paneles solares fotovoltaicos cuya clasificación se la puede hacer de la siguiente manera:

- Sistemas solares fotovoltaicos aislados o tipo isla.
- Sistemas solares fotovoltaicos conectados o de conexión a red pública.



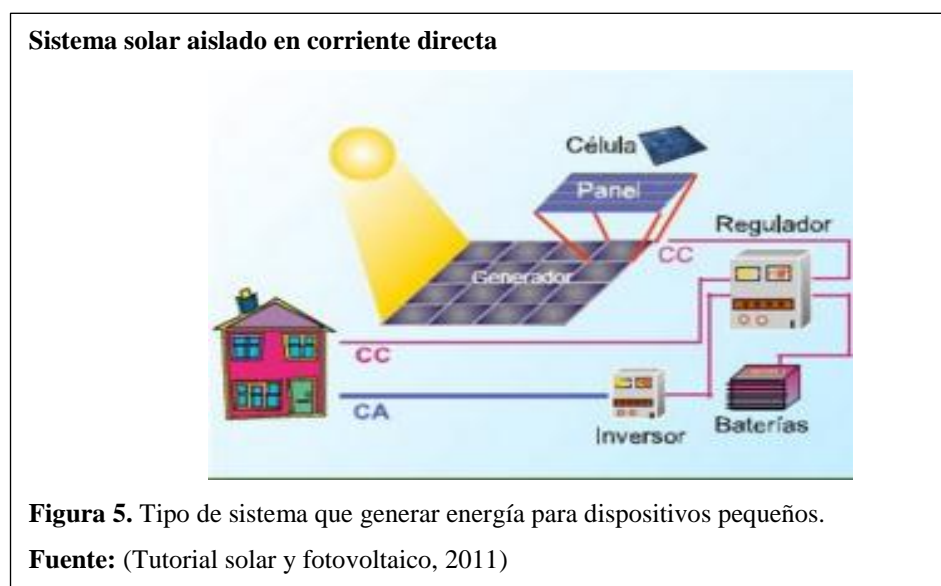
## 2.2. Tipos de sistemas de aprovechamiento de energía solar

### 2.2.1. Sistemas solares fotovoltaicos aislados o tipo isla

Este tipo de sistemas son de gran utilidad en lugares en los cuales existe poca potencia eléctrica y por ende el acceso a la red pública es difícil. Pueden tener diversas aplicaciones.

### 2.2.2. Sistemas solares fotovoltaicos aislados en corriente directa

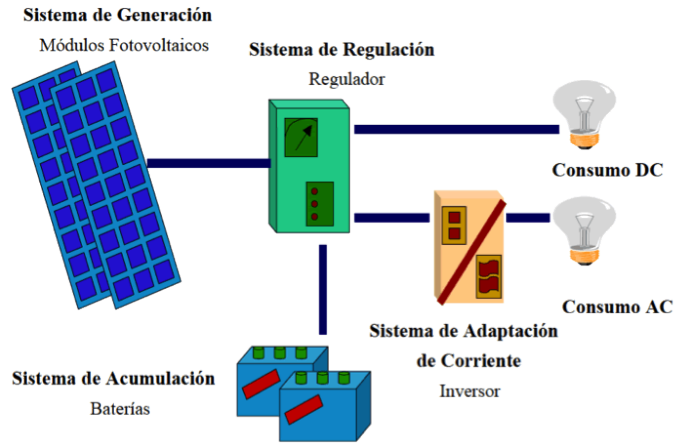
En este tipo de aplicación es necesario incorporar equipos básicos: paneles solares, regulador, batería, inversor y equipos de consumo de 12Vdc, como pueden ser luminarias, televisiones, radios y cualquier otro equipo que requiera de 12Vdc.



### 2.2.3. Sistemas solares fotovoltaicos aislados en corriente alterna

En esta aplicación se incorporan como equipos básicos para su funcionamiento: paneles solares fotovoltaicos, regulador, batería, inversor y equipos de consumo tanto en 110Vac como en 12Vdc. Estos sistemas básicos pueden ser luminarias o equipos que utilicen 110 o 220Vac, con frecuencias de 50 o 60 Hz. En el sistema se agrega un inversor de corriente.

### Sistema solar aislado en corriente alterna

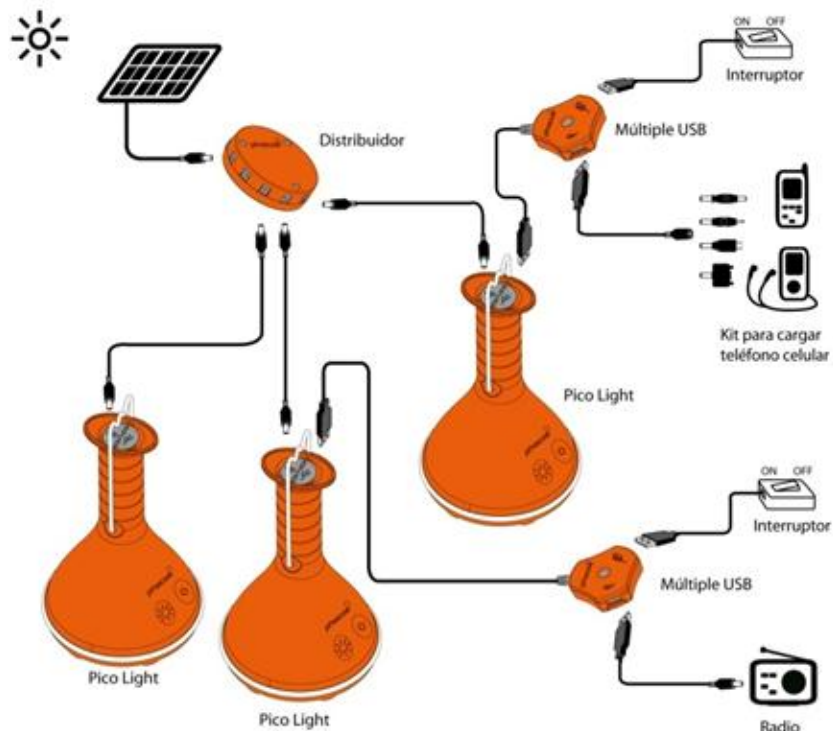


**Figura 6.** Sistema de energía solar que trabaja en corriente alterna.  
**Fuente:** (Europe Sunfields, 2010)

#### 2.2.4. Sistemas solares fotovoltaicos aislados, tipo: sistema pico led

Esta aplicación es la más eficiente en el mercado, puesto que está desarrollado específicamente para dotar de iluminación y consumos menores como cargas de celulares o radios de entre 4,5 V y 5,5Vdc. Dicha aplicación se la emplea totalmente en corriente directa, no es indispensable el uso de baterías e inversores, puesto que estos componentes ya se encuentran incorporados dentro de la luminaria Pico LED Light.

### Nuevos sistema pico led light



**Figura 7.** Aplicación de sistema solar que emplea corriente directa.

**Fuente:** (VMEEA, 2011)

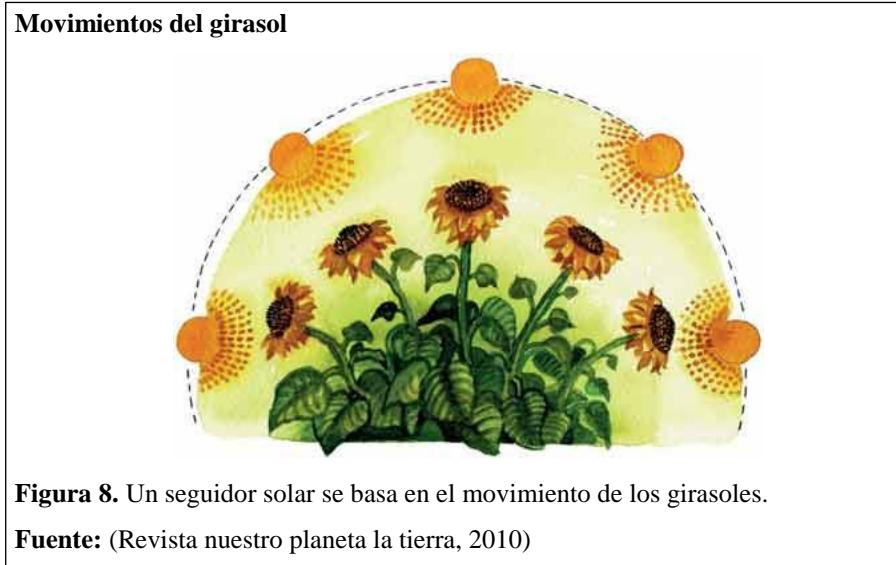
### 2.2.5. Sistemas solares fotovoltaicos conectados o de conexión a red pública

Por medio de los paneles solares se genera la energía a bajas tensiones (300-800V) y en corriente continua. Se transforma por medio de un inversor en corriente alterna. Mediante un centro de transformación se eleva a Media tensión (13 o 25 kV) y se inyecta en las redes públicas.

Este tipo de conexiones a red necesitan siempre de un apoyo estatal canalizado a través de un subsidio, que beneficie la generación eléctrica mediante fuentes renovable garantizando la inversión.

### 2.3. Movimiento del girasol

Para poder desarrollar un sistema de seguimiento solar, lo primero en lo que se basa es en la manera de movimiento de los girasoles puesto que emula el mismo movimiento de los paneles solares de un sistema inteligente de posicionamiento.



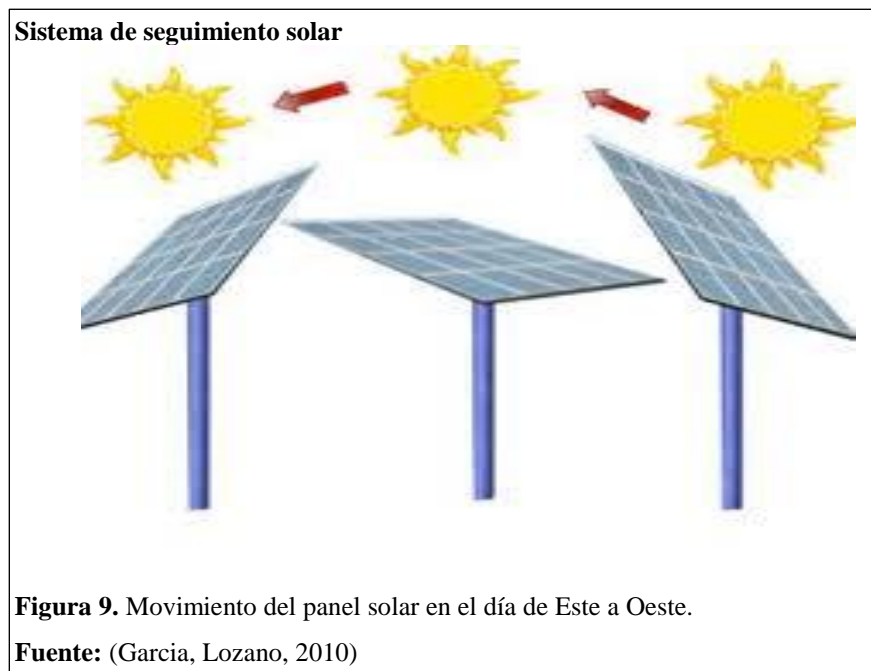
Los girasoles con el motivo de maximizar la exposición al sol, se han adaptado a una forma de mover las grandes cabezas de sus flores para seguir el movimiento del sol. A dicha adaptación se la conoce como heliotropismo. Los girasoles en la mañana se dirigen hacia el este, a continuación, sigue el movimiento del sol a lo largo del cielo, hasta que por las tardes llega el crepúsculo.

Para conseguir el movimiento necesario para seguir al sol, los girasoles tienen células de motor en una parte engrosada tipo junta del tallo llamado pulnivos. Ubicado justo debajo de la cabeza, el pulnivos es lo suficientemente flexible en los girasoles como para girar la cabeza. Las células motoras amplían y reducen el tamaño basándose en

la presión de turgencia de las células. La presión de turgencia es una presión inducida por agua que se ejerce contra las paredes celulares. El movimiento se crea en el pulvillus a medida que aumenta la presión en un lado mientras disminuye en el otro.

#### 2.4. Sistema de seguimiento solar

Para aprovechar de manera eficiente la mayor cantidad de energía emitida por el sol, se han diseñado sistema de seguimiento solar, debido al movimiento aparente que realiza el sol todos los días de este a oeste, rotación y un movimiento gradual que realiza en un año o traslación.



Este sistema además de utilizar solamente el sistema de seguimiento solar, está complementado con la parte del sistema mecánico; puesto que el sistema mecánico se acoplado una estructura o base con el panel, motores, dispositivos de ajuste automático y engranajes para adaptar el movimiento del soporte o eje para ubicar el panel correctamente dada la inclinación del sol.

Y para complementar tanto el sistema de seguimiento como el sistema mecánico, se encuentran los dispositivos de ajuste automático los cuales se realizan por medio de sensores que detectan cuando la radiación no incide perpendicular al panel solar corrigiéndose la posición por medio de los actuadores.

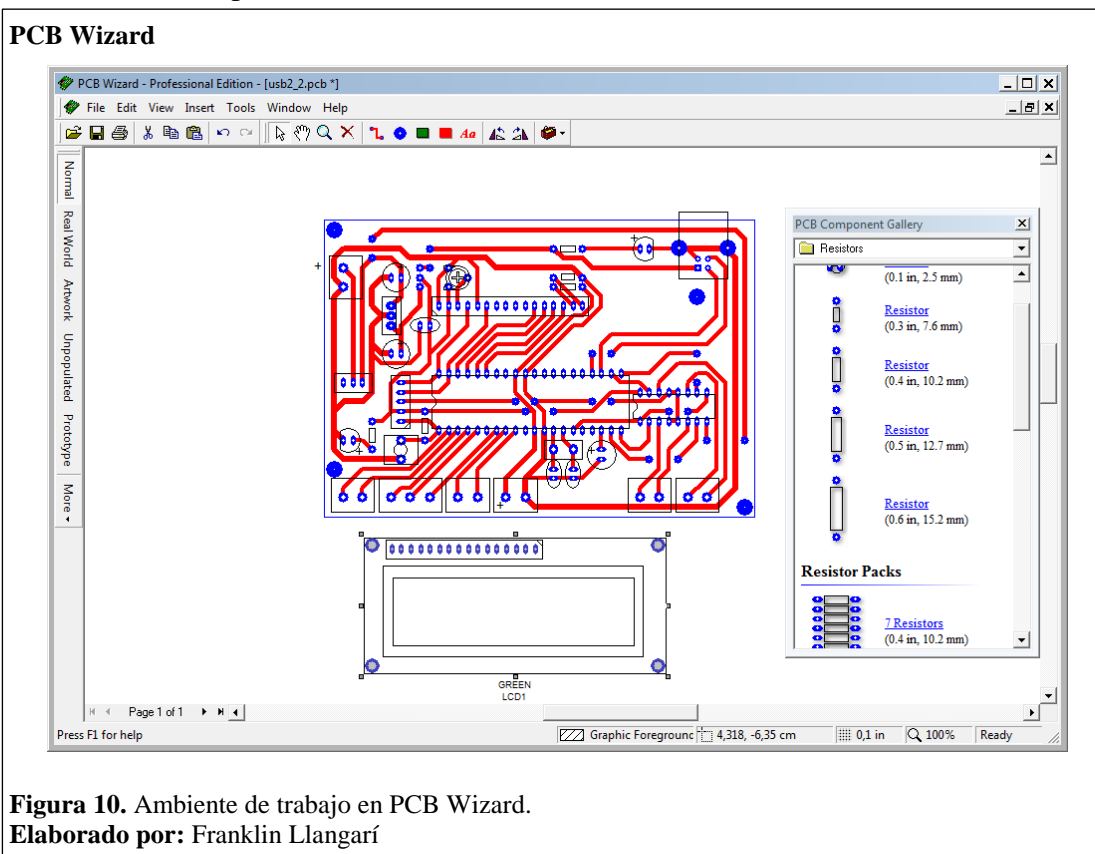
## 2.5. Pcb (circuitos impresos)

PCB Wizard es un programa diseñado y desarrollado para la creación de circuitos impresos. Dicho programa resulta ser una herramienta útil puesto que es muy intuitivo, de manejo sencillo y no requiere demasiados recursos de la PC para el diseño de placas de un circuito impreso.

Para la utilización de este software es necesario tener conocimientos básicos en el ámbito de la electrónica, cuenta con una amplia gama de componentes los cuales hace que resulte sencillo para realizar proyectos.

El programa también diseña la placa de circuito impreso de forma automática partiendo del esquema realizado con los símbolos de la librería. Para diseñar el circuito impreso de forma manual, hay que seguir estos pasos:

- Definir el tamaño de la placa.
- Colocar los componentes sobre la placa.
- Unir los componentes.
- Introducir texto.
- Añadir la placa de cobre.



**Figura 10.** Ambiente de trabajo en PCB Wizard.  
**Elaborado por:** Franklin Llangari

## 2.6. PicC Compiler

Es una herramienta de programación que permite compilar código escrito en lenguaje C para el control de microcontroladores, por ende es desarrollado específicamente para dispositivos como Pic de esta manera se obtiene la máxima optimización. Dispone de una amplia librería de funciones predefinidas, comandos de procesos y ejemplos.

### 2.6.1. Estructura del programa

Para desarrollar un programa en C con el CCS C se debe tener en cuenta una serie de elementos básicos de su estructura:

- **Directivas de procesado:** controlan la conversión del programa a código máquina por parte del compilador.
- **Programas o funciones:** conjunto de instrucciones. Puede haber uno o varios, en cualquier caso siempre debe haber uno definido como principal.
- **Instrucciones:** Indica cómo debe comportarse el PIC en todo momento.
- **Comentarios:** Permiten describir lo que significa cada línea del programa.

### 2.6.2. Tipos de datos

PICC C acepta los siguientes datos:

Tabla 1.

Tipos de datos que se utiliza en PICC C

TIPO	TAMAÑO	RANGO	DESCRIPCIÓN
<b>Int1 Short</b>	1 bit	0 a 1	Entero de un bit
<b>Int Int8</b>	8 bit	0 a 255	Entero
<b>Int16 Long</b>	16 bit	0 a 65535	Entero de 16 bit
<b>Int32</b>	32 bit	0 a 4294967295	Entero de 32 bit
<b>Char</b>	8 bit	0 a 255	Caracter
<b>Void</b>	-	-	Sin valor
<b>Signed Int8</b>	8 bit	-128 a +127	Entero con signo
<b>Signed Int16</b>	16 bit	-32768 a +32767	Entero largo con signo
<b>Signed Int32</b>	32 bit	$-2^{31}$ a $+(2^{31}-1)$	Entero 32 bit con signo

**Nota.** Contiene los tipos de datos que son utilizados en Pic C.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

### 2.6.3. Las constantes

Las constantes se pueden especificar en decimal, octal, hexadecimal o en binario.

**Tabla 2.**

**Constantes que se utiliza en PICC C**

<b>Valor</b>	<b>Denominación</b>
123	Decimal
0123	Octal
0x123	Hexadecimal (0x)
0b010010	Binario (0b)
'x'	Carácter
'/010'	Carácter octal
'/xA5'	carácter hexadecimal

**Nota.** Contiene las constantes con las que se pueden trabajar en Pic C.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

#### **2.6.4. Funciones**

Las funciones son bloques de sentencias; todas las sentencias se deben enmarcar dentro de las funciones. Al igual que las variables, las funciones deben definirse antes de utilizarse.

#### **2.6.5. Comentarios**

Los comentarios en el programa facilitan la comprensión de las distintas expresiones tanto para el programador como para quien tiene que interpretar dicho programa. No afectan a la compilación por lo que pueden ser tan extensos como el programador así lo desee. Existen dos formatos con los que se puede trabajar para insertar comentarios:

- Utilizando //. Al colocar estos signos se comienza el comentario y finaliza al término de la línea.
- Utilizando /\* y \*/. Se debe utilizar al principio y final del comentario.

#### **2.6.6. Entorno del trabajo**

El entorno de trabajo del PICC C permite realizar compilación y también suministrar una gran variedad de herramientas auxiliares. Existen dos alternativas para iniciar una sesión: abriendo un fichero de código fuente o creando un proyecto.

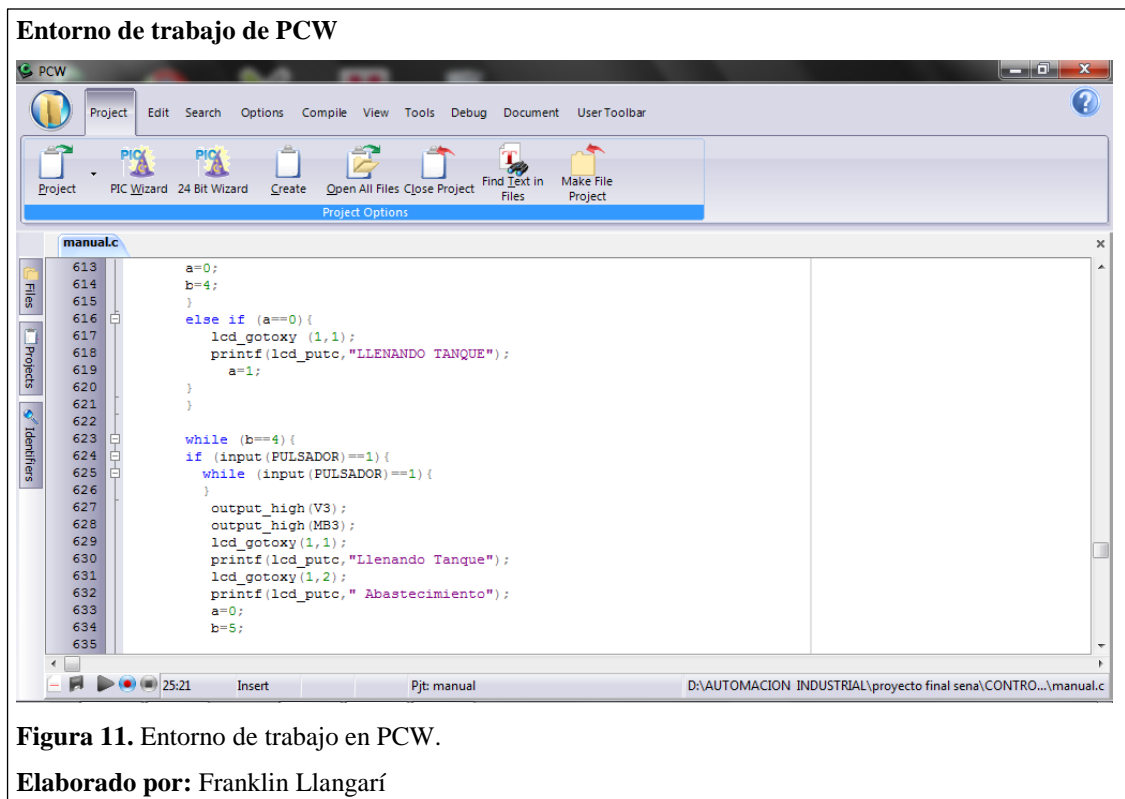


Figura 11. Entorno de trabajo en PCW.

Elaborado por: Franklin Llangari

## 2.7. Lógica difusa

La denominada lógica difusa o también conocida como borrosa y en inglés Fuzzy Logic permite tratar información imprecisa de manera semejante a la forma en la que razona el cerebro humano.

La lógica difusa es la generalización de la lógica multivaluada y permite el uso de conceptos aproximados por lo que los resultados obtenidos también son aproximados.

La información imprecisa es agrupada en conjuntos borrosos, los mismos que se combinan en reglas para definir acciones. De esta manera los sistemas de control basados en lógica difusa combinan unas variables de entrada definidos como conjuntos borrosos, aplican ciertas reglas y producen una o más salidas.

### 2.7.1. Conjunto borroso

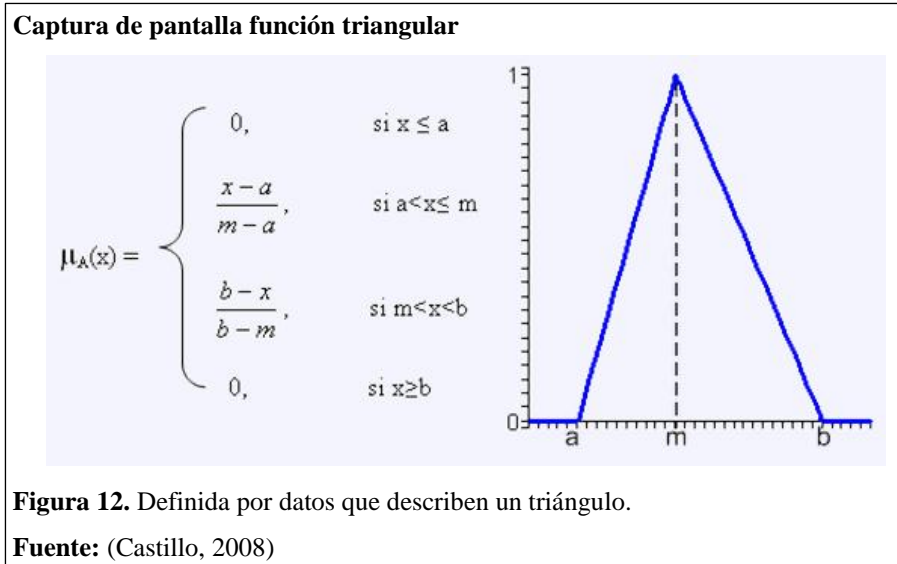
En términos más rigurosos, la lógica difusa trabaja con la teoría de conjuntos borrosos la cual parte de la teoría clásica de conjuntos añadiendo una función de pertenencia definiendo esta como número real entre cero y uno.



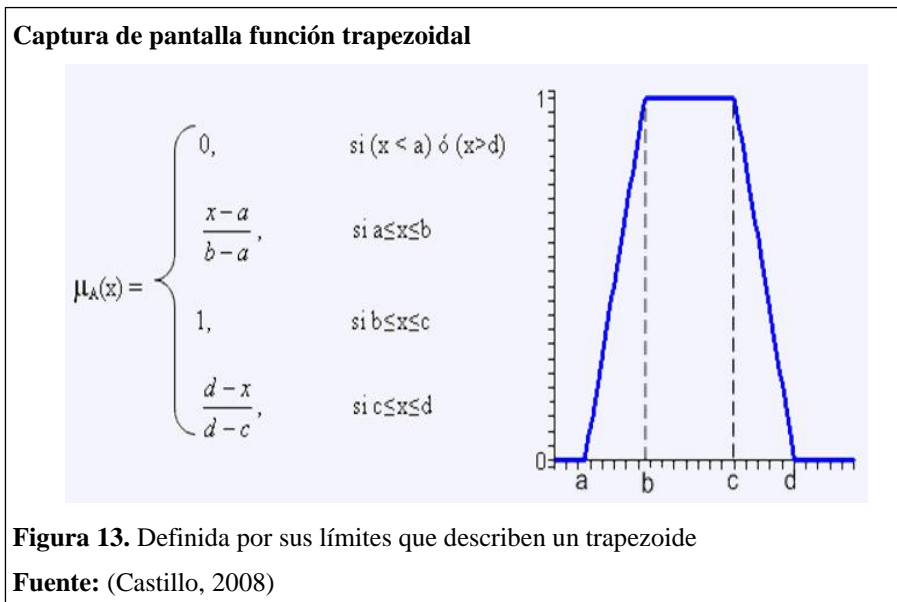
### 2.7.2. Función de pertenencia

Es el grado de pertenencia o membresía de un elemento en un conjunto difuso  $\mu_{A(t)}$  t pertenece en cierto grado al conjunto A.

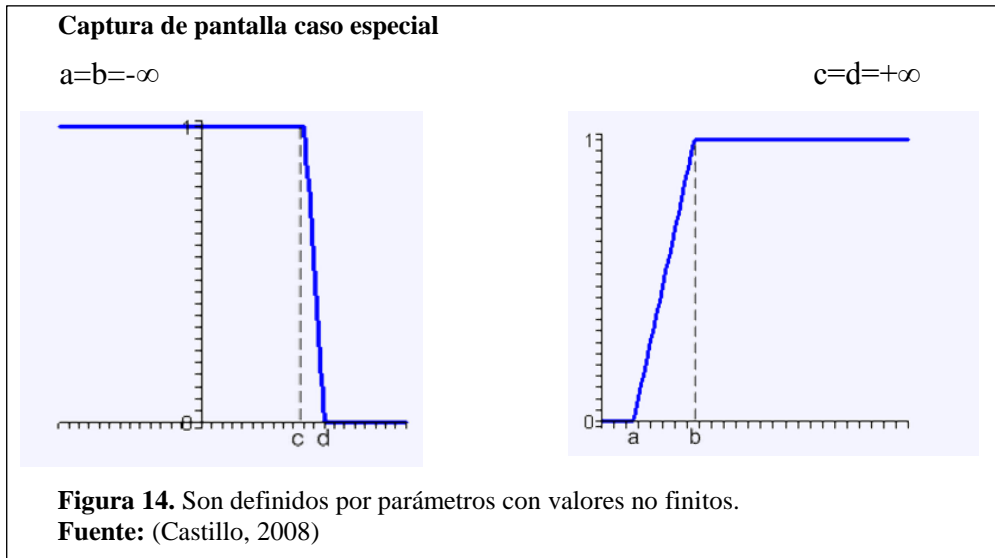
- **Función triangular**



- **Función trapezoidal**



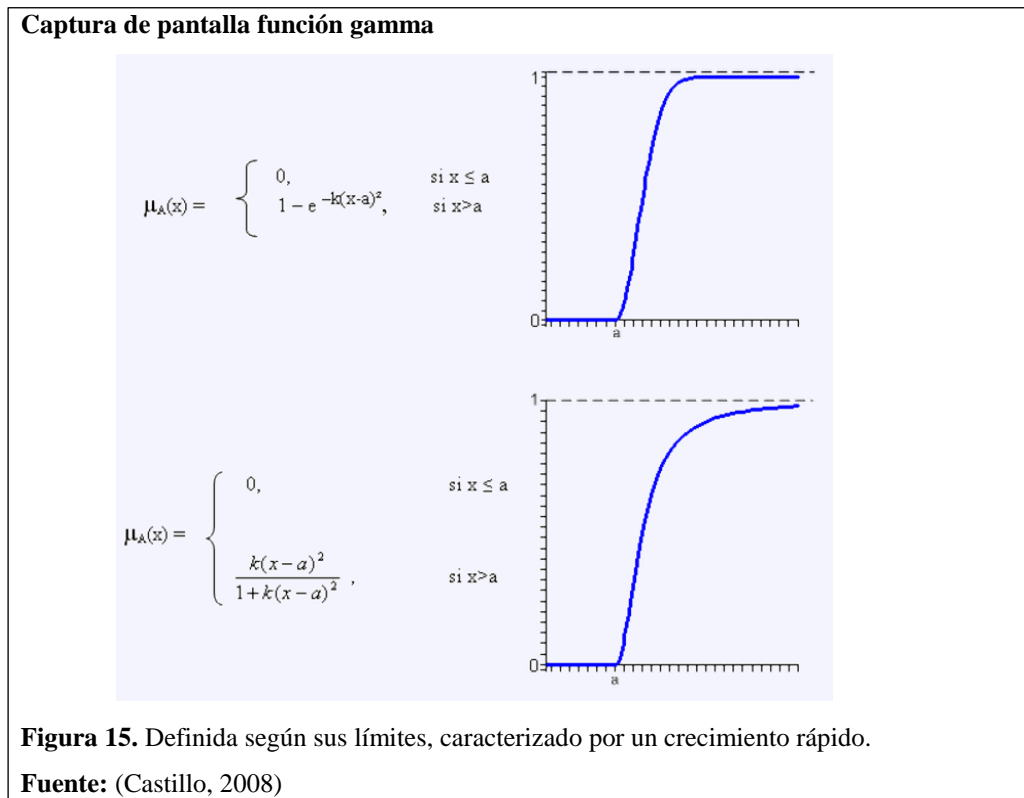
- **Caso especial**



- **Función Gamma**

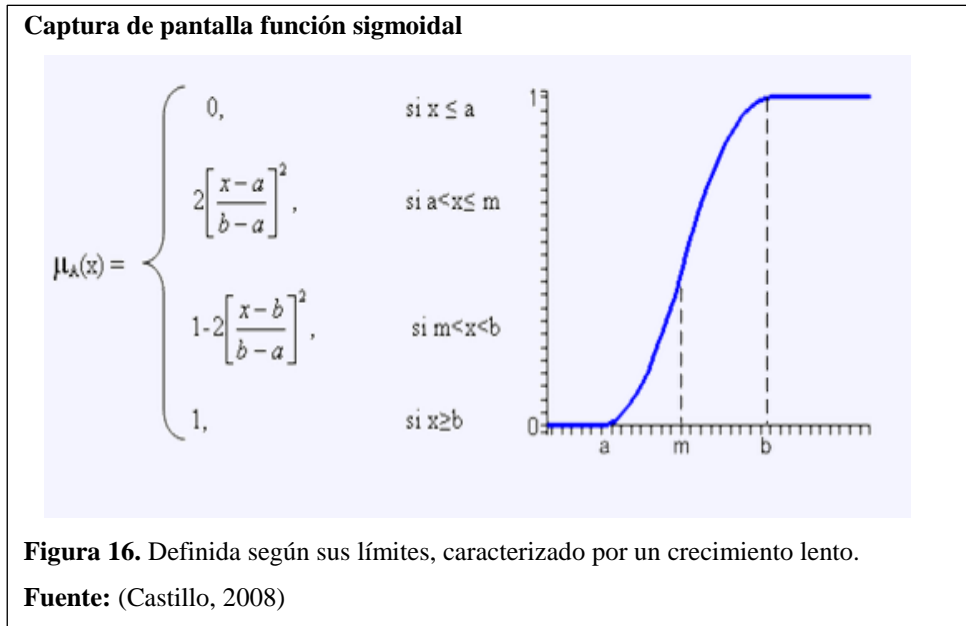
Definida por su límite inferior **a** y el valor **k>0**. Esta función es caracterizada por un rápido crecimiento a partir de **a**; cuanto mayor es el valor de **k**, el crecimiento es más rápido.

Nunca toma el valor  $\mu_{A(x)=1}$ , aunque tiene una asíntota horizontal en dicho valor.



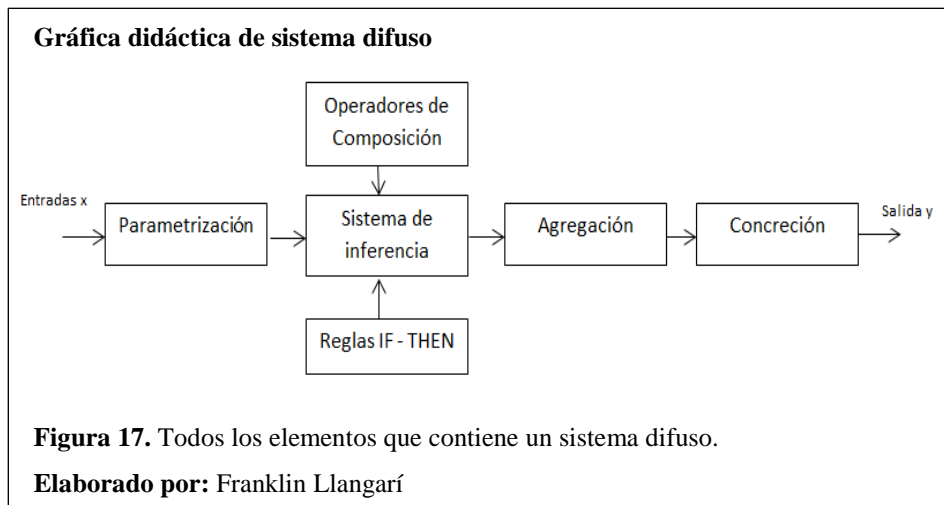
- **Función sigmoïdal**

Definida por sus límites inferior **a**, superior **b** y el valor **m** o punto de inflexión, tales que **a < m < b**. El crecimiento es más lento cuanto mayor sea la distancia **a-b**. Para el caso concreto de **m=(a+b)/2**, que es lo usual, se obtiene la siguiente gráfica.



### 2.7.3. Sistemas difusos

Los sistemas difusos son conocidos como sistemas de inferencia borrosa (FIS), es una forma de transformar un espacio de entradas en un espacio de salidas utilizando lógica difusa.



#### 2.7.4. Fuzzificación

Establece una relación entre los puntos de entrada no borrosos y sus correspondientes conjuntos difusos. En otras palabras convierte al mundo difuso en un determinado valor de entrada asignándole un grado de pertenencia en los diferentes conjuntos difusos definidos para el sistema.

#### 2.7.5. Inferencia

Se llama dispositivo de inferencia borrosa a los sistemas que interpretan las reglas de tipo **If-Then**, de una base de reglas, con el fin de obtener los valores de salida.

Las reglas se definen como lo siguiente:

**IF<ANTECEDENTE>                      THEN<CONSECUENTE>**

Dichas reglas borrosas combinan uno o más conjuntos difusos de entrada llamados antecedentes o premisas y las asocian a un conjunto borroso de salida llamado consecuente o consecuencia.

#### 2.7.6. Defuzzificación

Cuando se intenta obtener una solución a un problema de decisión lo que se necesita es un número y más no un conjunto difuso, por lo que es necesario realizar una transformación de la salida del motor de inferencia a un número.

El método más utilizado es el del centroide, que calcula el centro del área definida por el conjunto borroso obtenido de la siguiente fórmula:

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n x_i u(x_i)}{\sum_{i=1}^n u(x_i)} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Dónde:

$g$ = centro de gravedad

$x$ = variable de salida

$u(x_i)$ = función de pertenencia

$n$ = rango de integración

#### 2.8. Foto-resistencia

La foto-resistencia, como su nombre lo indica, es una resistencia cuyo valor depende de la energía luminosa incidente sobre ella, específicamente son resistencias cuyo

valor de resistividad disminuye a medida que aumenta la energía luminosa incidente sobre ella y viceversa. Una fotorresistencia es compuesta por un material semiconductor cuya resistencia varía en función de la iluminación. La presencia de rayos luminosos incide para que la fotorresistencia varíe su valor. Es por ello que es conocido también como resistencias dependientes de luz (light dependent resistors), fotoconductores o células fotoconductoras.

#### Foto-resistencia

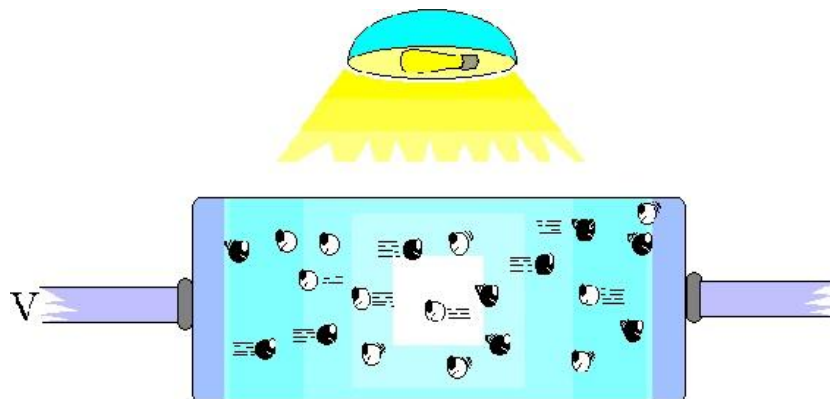


**Figura 18.** Foto de una foto-resistencia real.

**Fuente:** (Extraído del catálogo electrónico ELPS, 2009)

La resistencia de este tipo de componentes está ligada a la variación de la luz que recibe en su superficie. De este modo cuando se encuentra en la oscuridad su resistencia es alta y en presencia de luz la resistencia será baja. En el momento en que la luz incide en el material fotoconductor se generan pares electrón – hueco. Al haber mayor número de portadores, el valor de la resistencia disminuye. De esta manera, la fotorresistencia iluminada tiene un valor de resistencia bajo. Las células son también capaces de reaccionar a una amplia gama de frecuencias, incluyendo infrarrojo (IR), luz visible, y ultravioleta (UV).

#### Fotogeneración de portadores



**Figura 19.** Relación entre la resistencia y los portadores.

**Fuente:** (Osorio, 2012)

Por otro lado al momento en que se deja de iluminar, los portadores generados se recombinarán hasta regresar a sus valores iniciales. Por lo que el número de portadores disminuirá y el valor de la resistencia será mayor.

En el caso específico de las fotorresistencias existen dos tipos: las lineales y las no lineales.

- **Lineales.-** son conocidos como fotodiodos pero bajo ciertas aplicaciones es posible tratarlas como fotorresistencias debido al comportamiento lineal que presentan. Para considerar un fotodiodo como una fotorresistencia lineal simplemente se polariza en inverso.
- **No lineales.-** son aquellas fabricadas comúnmente cuyo comportamiento no dependa de la polaridad aplicada sobre ella.

## 2.9. Motor paso a paso

Al motor paso a paso se lo define como un actuador o transductor electromagnético incremental que convierte pulsos eléctricos en desplazamientos angulares de un eje.

Dichas características hacen que el movimiento sea preciso, constante y repetible; dándole al motor paso a paso una capacidad elevada de posicionamiento, haciendo que sea excelente al utilizarlo en sistemas que necesiten de un control exacto de velocidad, distancia y dirección de movimiento.

El motor paso a paso es generalmente controlado por una fuente de corriente continua y un circuito lógico (driver) y que constituye un elemento clave en el funcionamiento mismo.

Existen tres grandes grupos de motores paso a paso, según el principio de funcionamiento de los mismos que son:

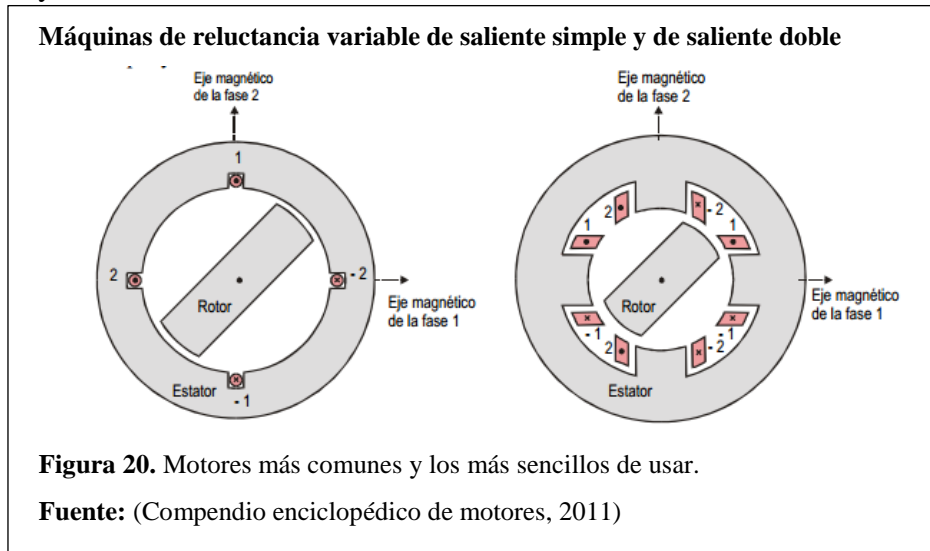
- Motores de reluctancia variable.
- Motores de imán permanente.
- Motores mixtos

Cada uno de estos grupos con sus respectivas características.

### 2.9.1. Motores de reluctancia variable

Las máquinas de reluctancia variable son quizás las más sencillas entre las máquinas eléctricas, y no son exclusivamente motores paso a paso, sino que también pueden ser usadas como motores comunes.

Las máquinas de reluctancia variable pueden ser clasificadas en dos tipos: de saliente simple y de saliente doble.

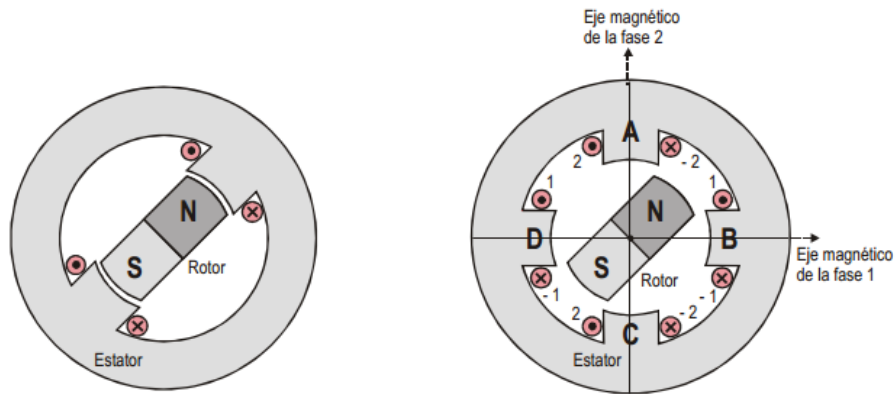


### 2.9.2. Motores paso a paso de imán permanente

En este caso el rotor resulta ser un imán permanente. Su funcionamiento se basa en el principio básico del magnetismo: polos de igual signo se repelen y polos de signo opuesto se atraen.

En los rotores de imanes permanentes se suele mecanizar un número de dientes limitado por su estructura física. El hecho de ser dentado hace que su posicionamiento no varíe aun desapareciendo la excitación. Esto permite una mayor precisión.

### Motores paso a paso de imán permanente



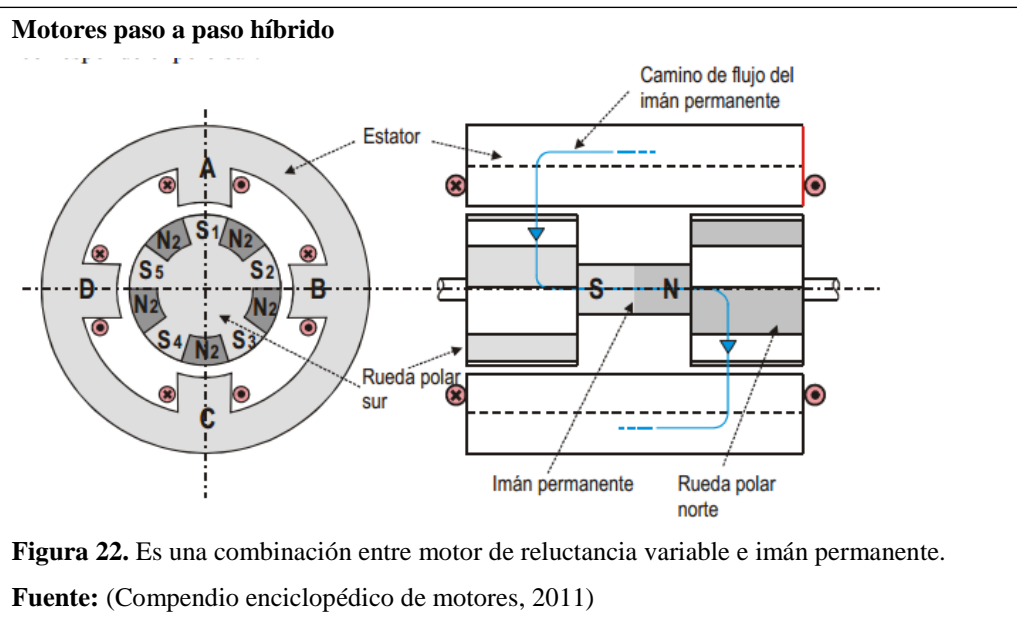
**Figura 21.** Su función se basa en el principio básico de magnetismo.

**Fuente:** (Compendio enciclopédico de motores, 2011)

### 2.9.3. Motores paso a paso híbridos

Los motores paso a paso híbridos resulta de una combinación de los dos tipos anteriores; el rotor suele estar constituido por anillos de acero dulce dentado en un número ligeramente distinto al del estator y dichos anillos montados sobre un imán permanente dispuesto axialmente.

En este caso las bobinas del estator de lados opuestos se excitan simultáneamente de forma tal que cuando a un diente le corresponde el polo norte al diente opuesto le corresponde el polo sur.



**Figura 22.** Es una combinación entre motor de reluctancia variable e imán permanente.

**Fuente:** (Compendio enciclopédico de motores, 2011)

Desde el punto de vista mecánico, se puede establecer alguna de las características principales que definen a un motor paso a paso:



- **Par dinámico de trabajo (Working Torque):** depende de las características dinámicas y es el momento máximo en que el motor es capaz de desarrollar sin perder paso, es decir, sin dejar de dar respuesta a un impulso de excitación del estator y dependiendo, evidentemente, de la carga.
- **Par de mantenimiento (Holding Torque):** es el par requerido para desviar, en régimen de excitación, es mayor que el par dinámico y actúa como freno para mantener el rotor en una posición estable dada.
- **Par de detención (Detent Torque):** es un par de freno que, siendo propio de los motores de imán permanente, es debido a la acción del rotor cuando los devanados estáticos están desactivados.

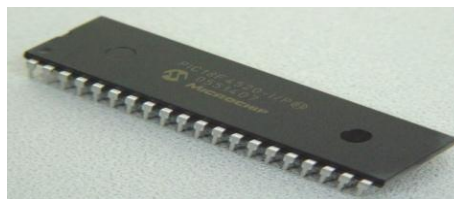
Según las premisas mencionadas, surgen las principales características de un motor paso a paso:

- **Ángulo de paso (Step Angle):** avance angular producido bajo un impulso de excitación. Se expresa en grados.
- **Número de pasos por vuelta:** es la cantidad de pasos que ha de efectuar el rotor para realizar una revolución completa.
- **Frecuencia de paso máxima:** es el máximo número de pasos por segundo que el rotor puede efectuar obedeciendo a los impulsos de control.

## 2.10. Microcontroladores

Un micro-controlador es un circuito integrado programable, capaz de realizar las órdenes grabadas en su memoria. Compuesto por bloques funcionales, los cuales poseen una función característica. Un micro-controlador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida.

**Microcontrolador**



**Figura 23.** Circuito integrado programable, realiza órdenes grabadas en la memoria.

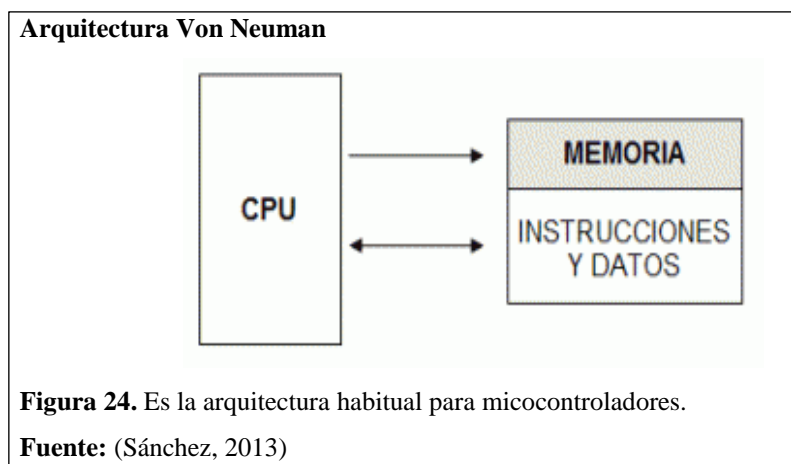
**Fuente:** (Extraído de catálogo Microchip, 2010)

Los microcontroladores son diseñados para reducir exclusivamente el costo económico, minimizar el hardware y el consumo de energía de un sistema en particular. Es por ello que el tamaño de la unidad central de procesamiento es pequeño, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación.

Los microcontroladores negocian la velocidad y la flexibilidad para facilitar su uso. Debido a que se utiliza bastante sitio en el chip para incluir funcionalidad, como los dispositivos de entrada/salida o la memoria que incluye el micro-controlador, se ha de percibir de cualquier otra circuitería.

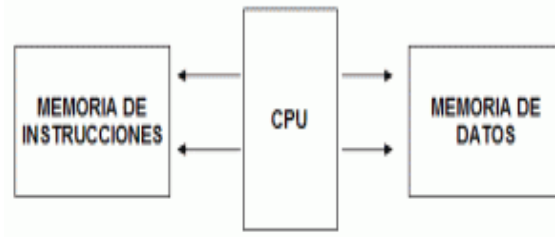
### 2.10.1. Arquitectura del microcontrolador

La arquitectura habitual de los computadores y micro-controladores se fundamenta en la representación propuesta por John Von Neuman, en el cual la unidad central de procesos (CPU), se encuentra conectada a una memoria única que contiene las instrucciones del programa y los datos. El tamaño de la unidad de datos o instrucciones está de acuerdo al ancho de bus de la memoria.



Por otra parte también se presenta la arquitectura Harvard, la cual consiste en el aumento de una memoria adicional a la tradicional conectada por medio de dos buses separados; es decir que se tiene una memoria para las instrucciones del programa y otra memoria que almacena solamente los datos ambos independientes.

### Arquitectura Harvard



**Figura 25.** En esta arquitectura se añade una memoria extra.

**Fuente:** (Sánchez, 2013)

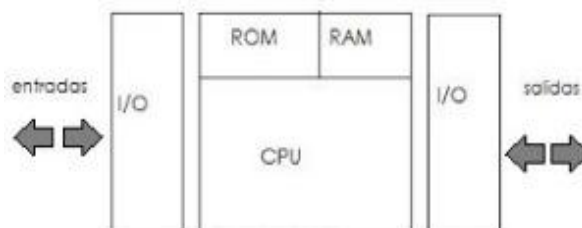
Internamente los microcontroladores están constituidos por la unidad central de proceso, la memoria y las unidades de entrada/salida.

La unidad central de proceso es el núcleo del micro-controlador, donde se ejecutan las instrucciones almacenadas en la memoria también es conocido como microprocesador.

La memoria del micro-controlador son aquellos componentes empleados para el almacenamiento de información durante un determinado lapso de tiempo. Es decir que la información que se usa para la ejecución del programa corresponde una parte al propio código y por otra parte los diferentes datos empleados en la ejecución del programa.

En cuanto a las unidades de entrada/salida, estas son consideradas como sistemas que emplea el microcontrolador para comunicarse con el exterior. Es decir que las entradas permiten introducir información en el microcontrolador y las salidas son las que se encargan de mostrar dichos datos.

### Arquitectura interna del micro-controlador



**Figura 26.** Internamente se constituye por los elementos que se observan.

**Fuente:** (Sánchez, 2013)

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

#### 3.1 Diseño del hardware

Se utilizó la herramienta PCB Wizard que permite la creación de placas para circuito impreso, así como también es diseñado para crear esquemas de circuitos electrónicos y a partir de estos, obtener de una manera sencilla el diseño del circuito impreso a una o dos caras.

Para la creación del PCB del proyecto se necesitaron de los siguientes componentes:

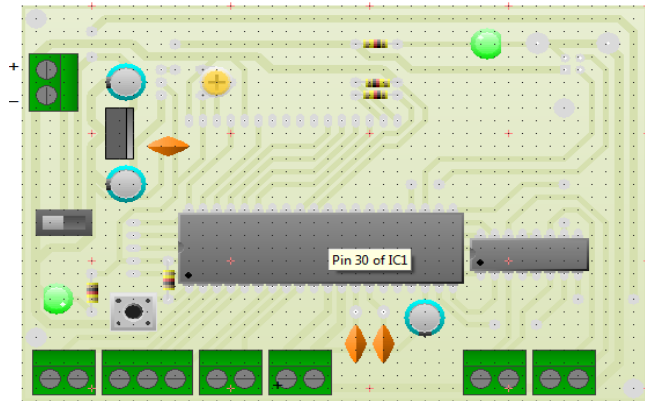
**Tabla 3.**  
**Lista de componentes del circuito impreso**

CANTIDAD	DETALLE
1	PIC 18F4550
1	7805
1	Microswitch
2	Cap. 10uF
1	Led rojo
1	Led verde
1	Cap. 100nF
2	Cap. 33pF
1	Cap. 470 nF
4	Res. 330 ohm
1	Res. 1K ohm
1	Conector USB tipo B
1	Res. Variable
6	Borneras 2 conectores
1	Bornera 3 conectores
1	Botón
1	Regleta 16 pines
1	Regleta 5 pines
1	LCD 16*2
1	L239D

**Nota.** Tabla que contiene los elementos electrónicos que se utilizó para la elaboración de la placa.

**Elaborado por:** Franklin Llangari

### Placa de la tarjeta de control en PCB Wizard



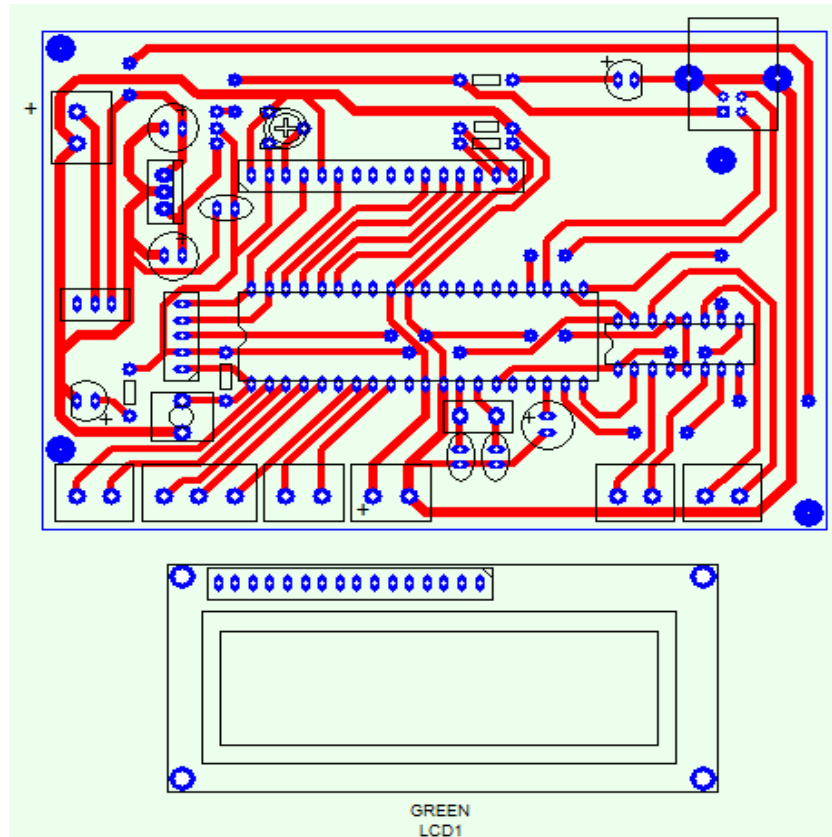
**Figura 27.** Vista previa de la tarjeta de control en el ambiente PCB Wizard.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

PCB Wizard es un programa fácil de aprender y de igual manera resulta sencillo al utilizar. Si se quiere obtener un circuito impreso, simplemente se debe arrastrar los componentes sobre un tablero o documento y para conectar los elementos se siguen pasos simples hasta formar el circuito que se desee. Una vez armado el circuito sobre el tablero se tiene que ejecutar una instrucción seleccionando la opción del menú convertir a PCB Y Wizard hará el resto, es decir que el circuito impreso aparecerá automáticamente. En sí PCB Wizard resulta ser un programa que ofrece una gran cantidad de herramientas inteligentes que permiten al diseño de circuitos impresos sea muy fácil.

El módulo que es encargado para realizar el registro recibe las señales de los sensores y ejerce un control de acuerdo a la programación realizada en el microcontrolador. En las figuras (Figura 28 y Figura 29) se pueden observar los planos tanto electrónicos como eléctricos:

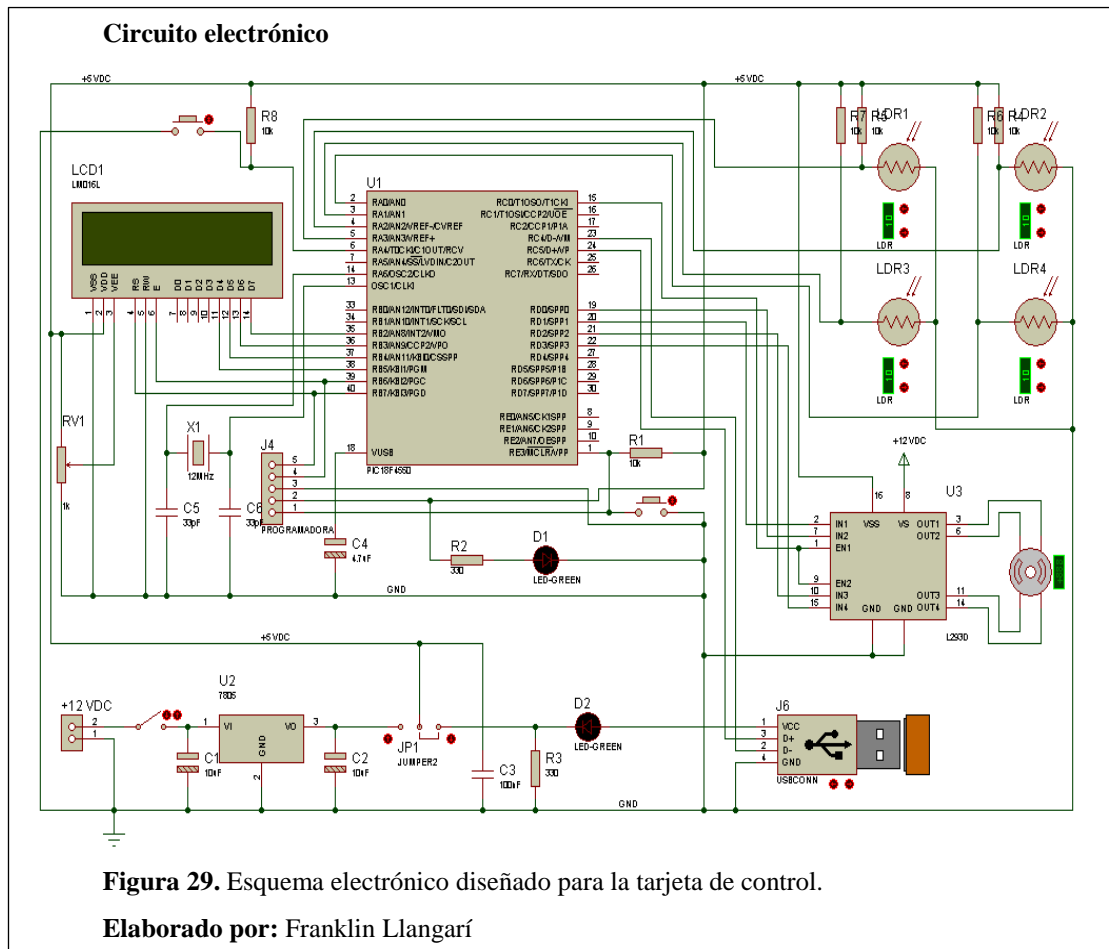
## Plano PCB



**Figura 28.** Vista previa del plano y las pistas de la tarjeta de control en PCB Wizard.

**Elaborado por:** Franklin Llangari

### 3.1.1 Planos electrónicos



En el esquema de la figura (Figura 29) se muestra la arquitectura electrónica que se ha utilizado para la realización de la tarjeta de control, que de una manera coordinada con la parte mecánica del proyecto pueda llevar a cabo la operación de posicionamiento automático.

Se especifica que para los LDR que se utiliza en el proyecto, el circuito está conformado por cuatro divisores de voltaje uno para cada uno de los LDR con una resistencia de 10 K.

En el módulo de control se captan las señales de los sensores, y este a su vez realiza el control de acuerdo a la programación realizada en el microcontrolador. Esta tarjeta también consta del circuito oscilador de frecuencia, es muy importante ya que prácticamente es la base del microcontrolador e indica a la velocidad con la cual se va trabajar, la frecuencia de oscilación se elige en base a las recomendaciones del fabricante especificado en la hoja de datos.

Para la inicialización del proceso de control de posicionamiento automático el sistema cuenta con un final de carreta, quien es el encargado de indicar que en el momento de que se accione el botón comienza el proceso.

En caso de que se requiera reiniciar el sistema de control esta tarjeta consta de un circuito de Reset, que se lleva a cabo mediante un pulsador.

El puerto USB que presenta la tarjeta se encuentra conectado en los pines D+ y D-, cabe aclarar que los pines de alimentación del conector USB pueden ser usados para alimentar la tarjeta y evitar el uso de una fuente externa.

Es así que la combinación del segmento mecánico y el segmento electrónico da como resultado el posicionamiento exacto del sistema.

### **3.1.2 Pasos para realizar un circuito impreso en PCB Wizard**

- 1) Para definir el tamaño de la placa en pantalla, es recomendable utilizar una cuadrícula que sirva como referencia. Seleccionar Show Grid (mostrar rejilla) en el menú View.

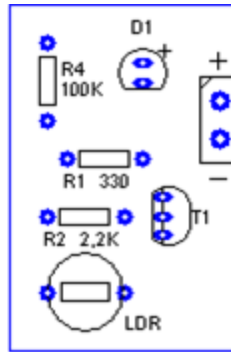
A continuación, se debe activar el botón InseRT Board de la barra de herramientas con el objeto de dibujar una placa del tamaño deseado.

La separación que existe entre las patillas de los componentes electrónicos está normalizada: es siempre un múltiplo de una décima de pulgada. Por eso, los cuadraditos de la rejilla tienen 0,1 pulgadas de lado.

- 2) El siguiente paso consiste en colocar los distintos componentes sobre la placa. Para ello, se selecciona la opción PCB Componets del botón Gallery que se encuentra en la barra de herramientas. Haciendo clic con el botón derecho del mouse sobre los componentes seleccionados, se puede modificar sus propiedades; en especial el nombre y el valor de los componentes.



### Selección de componentes

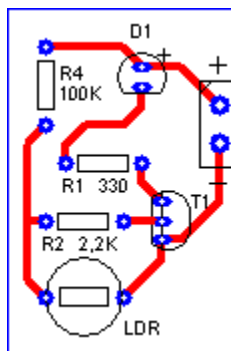


**Figura 30.** Proceso donde se escogen los distintos elementos que se utilizará.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

- 3) A continuación, se procede a montar el circuito uniendo los distintos componentes mediante pistas de cobre. En la barra de herramientas seleccionar Insert Track. Para trazar una pista, basta con hacer clic en el punto de inicio, mover el cursor y volver hacer clic en el punto final.

### Trazado de la pista



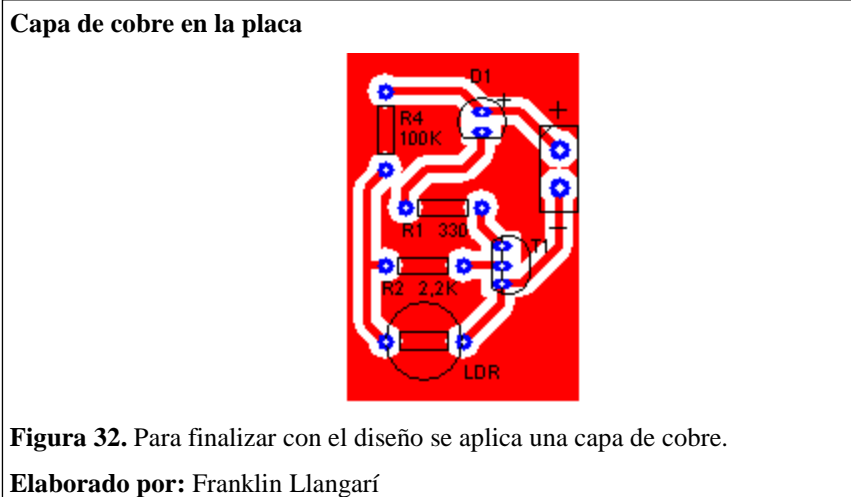
**Figura 31.** Paso en el cual se unen los componentes mediante pistas de cobre.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

- 4) Para introducir un texto en la placa, seleccionar Copper Label (etiqueta de cobre) en el menú Insert, colocar el cursor en el lugar deseado y escribir el texto. Tener en cuenta que la adecuada disposición inicial de los componentes facilita el diseño del circuito impreso.
- 5) Para terminar de diseñar la placa el último paso es el de añadir una capa de cobre. Esto es necesario realizarlo por dos razones fundamentales. La primera tiene que ver con la constitución de las placas de los circuitos impresos vírgenes. La fina capa de cobre que las recubre debe ser eliminada mediante un líquido corrosivo para dejar solamente las pistas y los pads. En el caso que

se reduzca al mínimo el cobre que hay que eliminar, se facilita la tarea. La segunda razón es que una capa de cobre (que puede hacer de masa) absorbe posibles interferencias electromagnéticas.

Para añadir la capa de cobre, se selecciona el botón Insert Copper Area y se arrastra el cursor desde el borde superior izquierdo al inferior derecho de la placa.

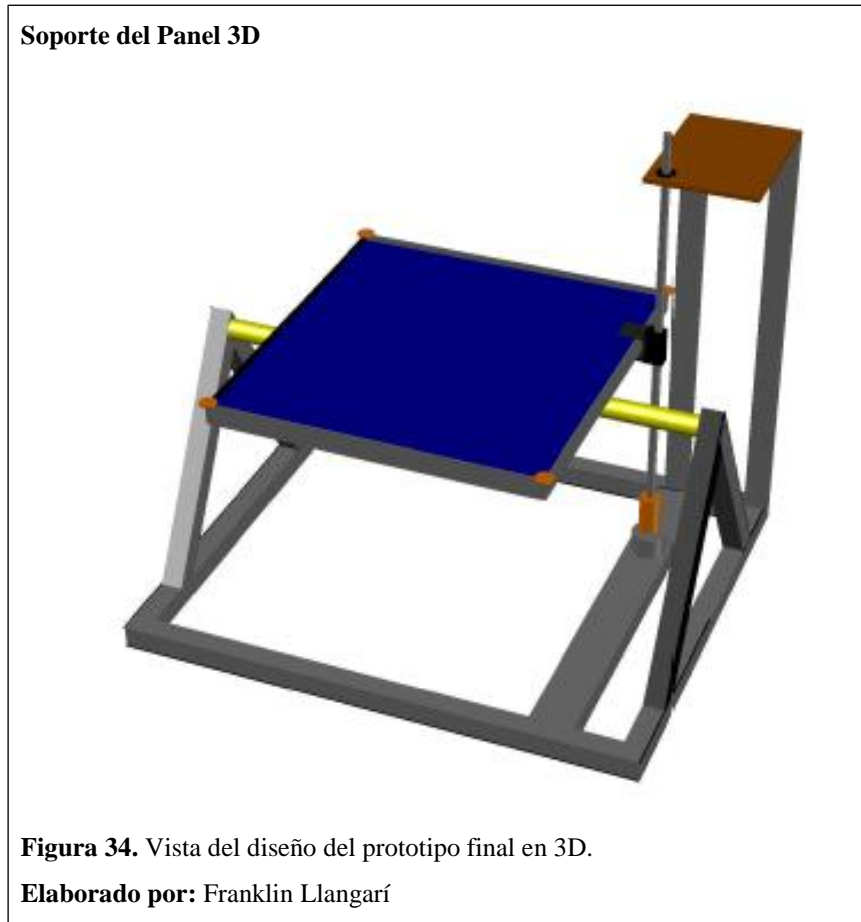


Para hacerse de una idea de cómo quedaría el circuito definitivo, seleccionar la opción Real World. Tener en cuenta que, en realidad, los componentes van por una cara, mientras que tanto las pistas como las soldaduras, van por la otra. De esta manera, el circuito está diseñado.

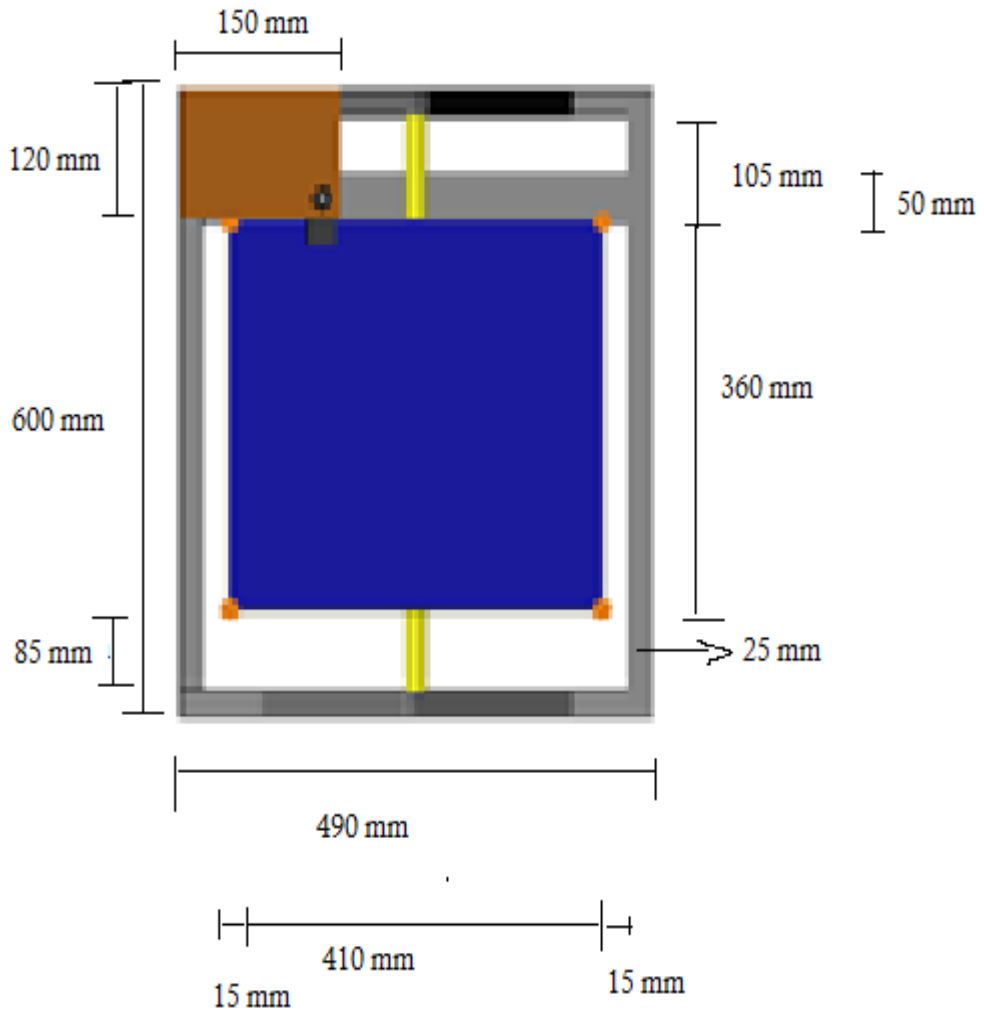


### 3.1.3 Diseño del Soporte del Panel

El seguidor solar planteado en el presente proyecto está diseñado para realizar un movimiento siguiendo la orientación del sol de este a oeste, puesto que este es el movimiento más significativo durante el día y por ende se optimizará de mejor manera la captación de la energía solar.



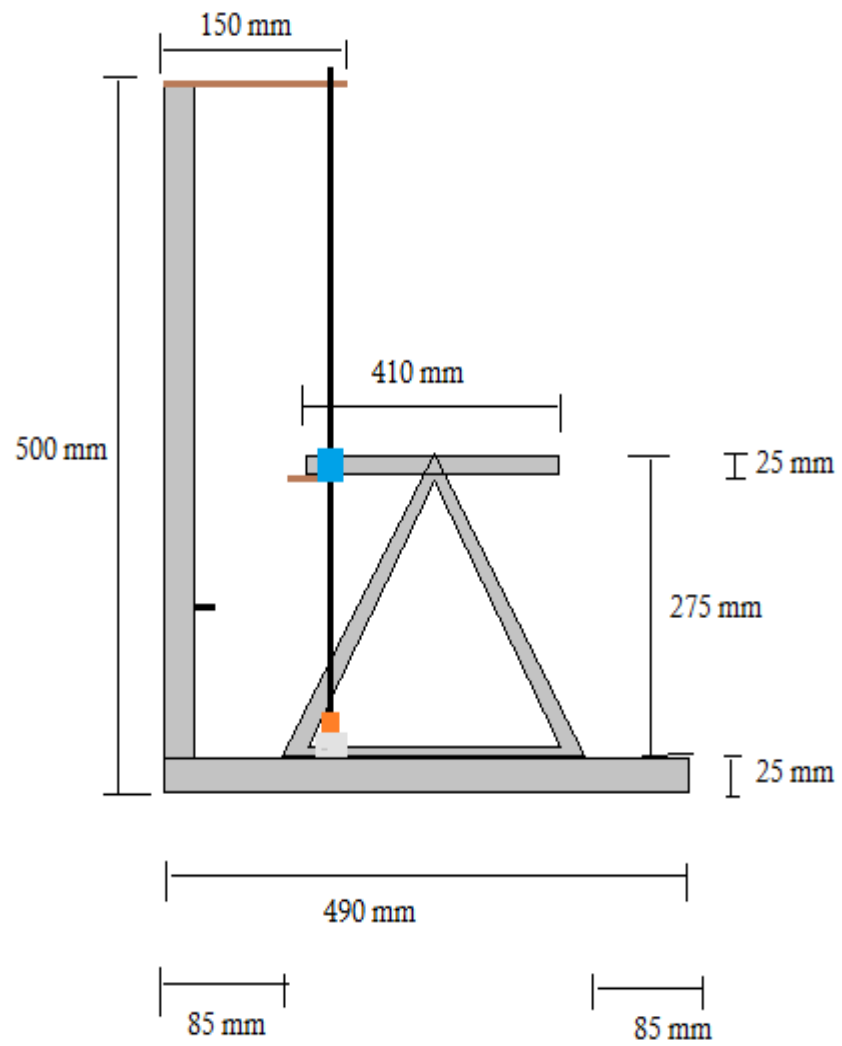
**Soporte del Panel Vista Superior y Dimensiones**



**Figura 35.** Vista superior del prototipo con sus respectivas dimensiones.

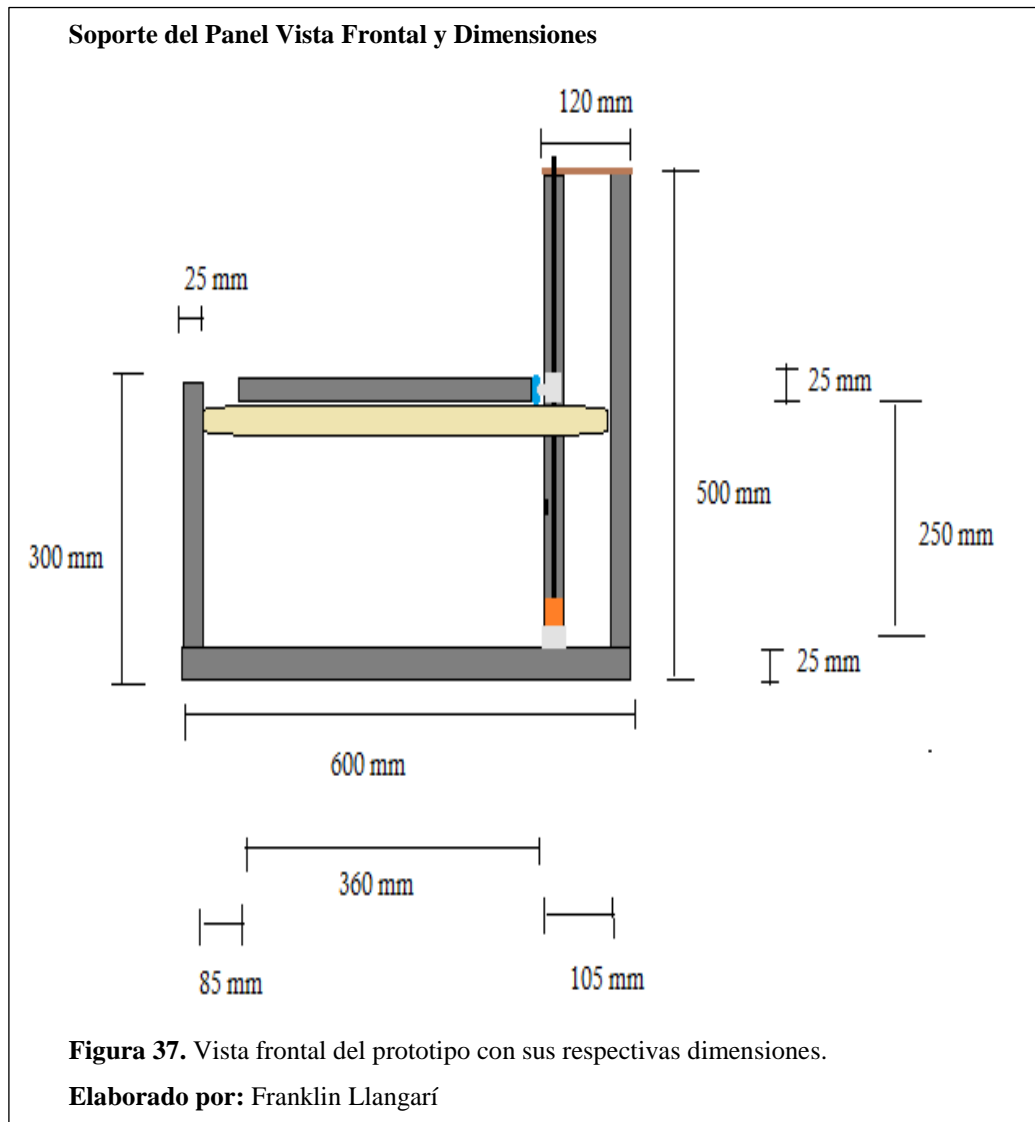
**Elaborado por:** Franklin Llangarí

### Soporte del Panel Vista Lateral Izquierda y Dimensiones



**Figura 36.** Vista lateral izquierda del prototipo con sus respectivas dimensiones.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí



Para el diseño del soporte del panel solar es necesario tomar en cuenta varios aspectos importantes, cómo el mecanismo de funcionamiento, la robustez del soporte, y las medidas del mismo.

Uno de los detalles de mayor relevancia para el diseño de la estructura del prototipo es el tipo de material a utilizarse para la elaboración en su totalidad, es por ello que se realiza un breve análisis de los materiales que se tienen a disposición para llevar a cabo la construcción de la estructura del prototipo. A continuación en la tabla (Tabla 4) se detalla las características principales de tres de los materiales con los cuales es factible realizar la elaboración de una estructura dotada de todas las necesidades para el prototipo:

**Tabla 4.**

**Análisis de materiales**

	Plástico	Madera	Aluminio
Propiedades	Baja densidad e impermeabilidad	Absorbe y desprende humedad	Resistencia a la corrosión
Factores Técnicos	Facilidad para deformar y moldear, con el aumento de temperatura	Se puede trabajar fácilmente	Se puede obtener formas especiales con máquinas
Factores Económicos	Moderado	Alto	Moderado
Factores Medioambientales	Se puede reciclar	Es biodegradable	Se puede reciclar
Factores Estéticos	Permite dar formas y colores variados	Permite una gran cantidad de acabados	Tiene brillo y textura única

**Nota.** Análisis de las características de cada material.

**Elaborado por:** Franklin Llangari

Este sistema mecánico prácticamente trata de una estructura metálica de aluminio o base donde se acopla el panel solar, motor, dispositivos de ajuste automático y engranajes para adaptar el movimiento del soporte o eje, y ubicar el panel correctamente dada la inclinación del sol.

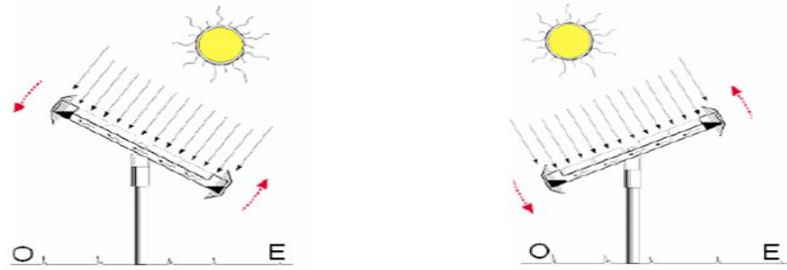
Es decir que el soporte servirá como una herramienta, que dota al panel solar de la inclinación adecuada para captar la mayor radiación solar posible, y donde se realiza cierto seguimiento a través de rotación por un solo eje.

Para el diseño en lo referente a la parte mecánica es necesario tomar en cuenta que el movimiento del panel debe ser excesivamente lento dado que el recorrido que realiza durante todo el día es relativamente corto, es por ello que el torque del motor que se utiliza es pequeño es decir no muy excesivo.

### **3.1.4 Análisis y modelo matemático del módulo**

En el presente proyecto se realiza un estudio profundo sobre el modelo de seguidor solar de un eje, este seguidor comienza el día con una orientación hacia el Este.

### Orientación del panel solar de Este a Oeste



**Figura 38.** Orientación del panel solar de acuerdo al movimiento del sol.

**Fuente:** (Beltrán, 2007)

De acuerdo con el transcurso de las horas y con los primeros rayos del sol, el seguidor se orienta utilizando un control electrónico que se encarga de ubicar la posición del sol; dicho control está basado por el uso de sensores de luminosidad y cálculos numéricos mediante lógica difusa.

En lo referente a las fuerzas actuantes sobre un seguidor solar, para el funcionamiento adecuado del sistema de posicionamiento es necesario tener en cuenta cuáles son las fuerzas y cuánto inciden en el proyecto. Es por ello que lo primero que se determina es la presión ejercida por una fuerza sobre una superficie, dicha ecuación está dada por:

$$p = F/A \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Dónde:

P= presión (kgf/cm<sup>2</sup>)

F= fuerza del viento (kgf)

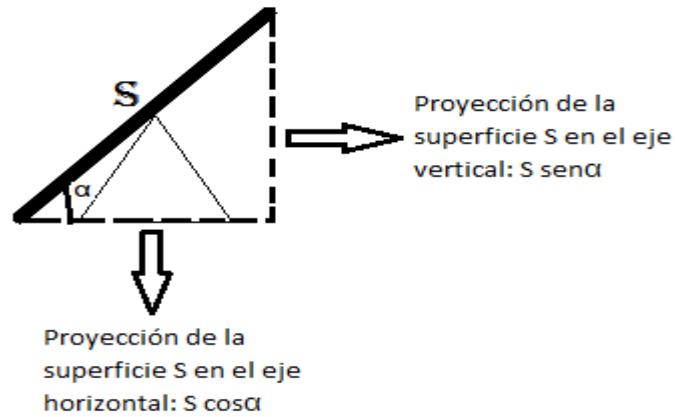
A= superficie (cm<sup>2</sup>)

Actuando la fuerza F perpendicular al área A.

Para el caso de la presión que experimenta una superficie con inclinación debido a una fuerza, ésta deberá ser calculada sobre la superficie que es perpendicular a la dirección del viento.



**Proyección de la superficie S en los ejes horizontal y vertical**



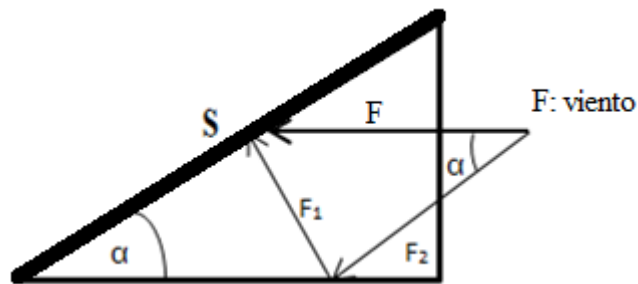
**Figura 39.** Presión ejercida por una fuerza sobre la superficie donde actúa.

**Elaborado por:** Franklin Llangari

En el caso de una superficie inclinada, la fuerza que actúe sobre ella por medio de la presión del viento está dada por:

$$F = pS \text{ sen } \alpha \quad \text{Ec. (3.2)}$$

**Descomposición de fuerzas**



**Figura 40.** Fuerzas que intervienen sobre la superficie donde trabaja el panel solar.

**Elaborado por:** Franklin Llangari

La fuerza que ejerce producto del viento que actúan sobre la superficie del panel solar se descompone en dos fuerzas:

$F_1$  que actúa perpendicularmente a la superficie S, y  $F_2$  que se presenta en forma paralela a la superficie S.

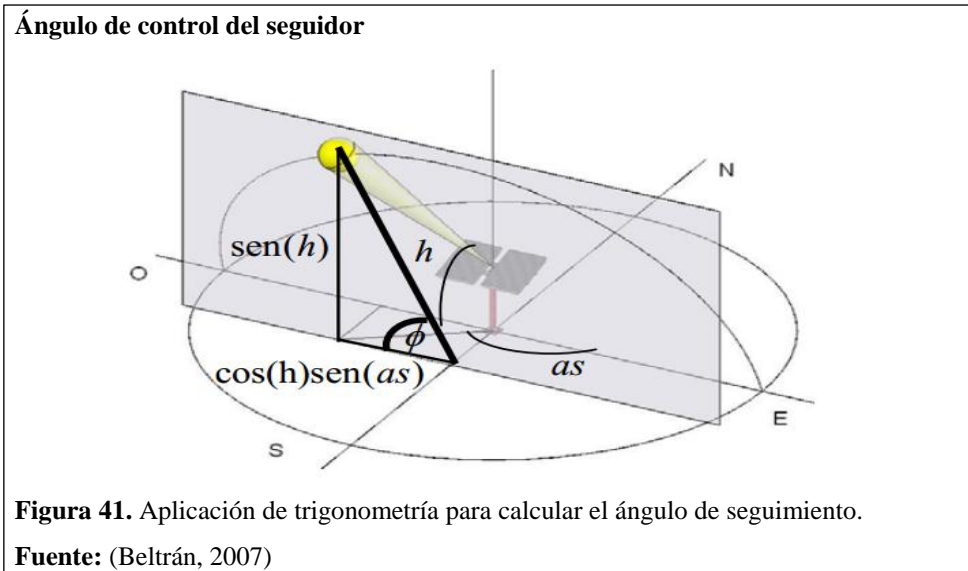
$$F_1 = F \text{ sen } \alpha \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Intentará levantar la estructura actuando sobre el anclaje.

$$F_2 = F \text{ cos } \alpha \quad \text{Ec. (3.4)}$$

Pertenece al rozamiento a lo largo de la superficie.

Este proyecto representa a un seguidor de tipo horizontal cuyo control es enfocado principalmente al seguimiento del ángulo horizontal proyectado en el plano Este-Oeste, cuyo valor angular se calcula con la proyección de la trayectoria solar en el plano.



Aplicando trigonometría el ángulo de seguimiento se lo puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{\tan(h)}{\sin(as)} \right) \quad \text{Ec. (3.5)}$$

### 3.1.5 Motor EM-50



Las características principales se las describe en la tabla (Tabla 5):

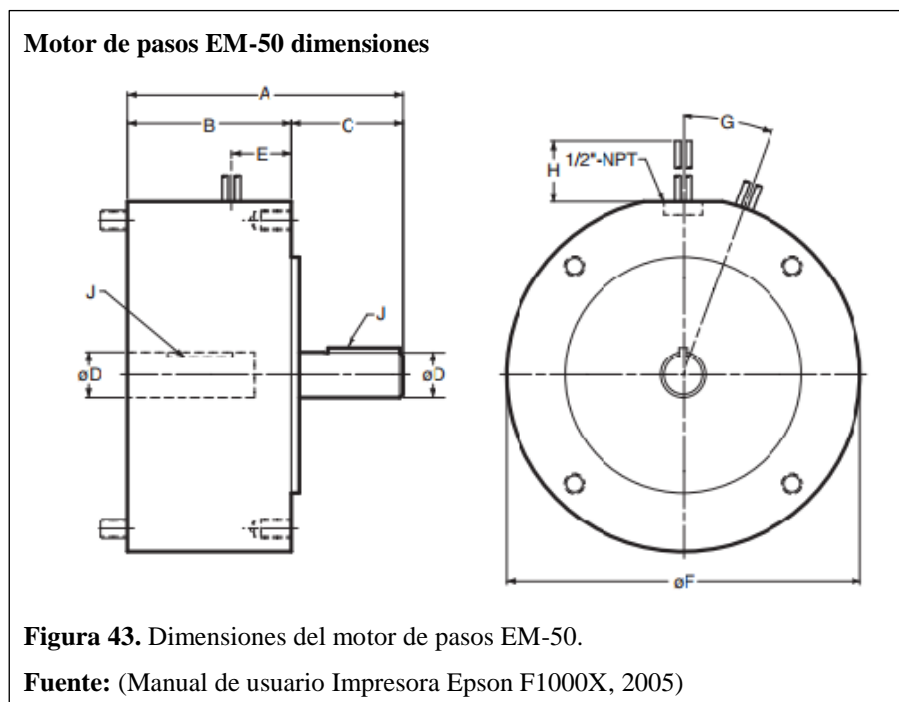
**Tabla 5.**

**Características Motor de pasos EM-50**

EM-50 Stepper Motor	Features
Type	4-phases 200-pole stepper motor
Voltaje	Driving: +36 VDC
	Holding: +5 VDC
Corriente	Driving: 1,2 A (max.)
	Holding: 0,08 A (typical)

**Nota.** Detalle de las características del motor de pasos EM-50.

**Fuente:** Manual de usuario Impresora Epson F1000X, 2005



En lo referente a las dimensiones del motor de pasos EM-50 que se ilustra en la figura (Figura 43), se detalla en la tabla (Tabla 6).

**Tabla 6.**

**Dimensiones del motor de pasos EM-50**

Motor PAF	A	B	C	D	E	F	G	H	J
EM-50 (mm)	5,165	3,125	2,040	0,625	1,150	6,750	0°	XXXX	3/16x3/16

**Nota.** Dimensiones del motor de pasos EM-50.

**Fuente:** Manual de usuario Impresora Epson F1000X, 2005

### 3.1.6 Tornillo sin fin

**Tornillo sin fin.**



**Figura 44.** Varilla que ayuda al motor a realizar movimientos para posicionar.

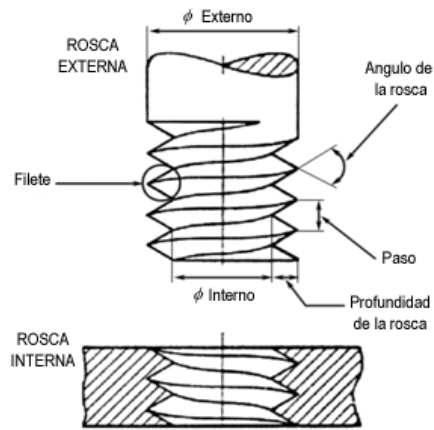
**Elaborado por:** Franklin Llangarí

La varilla que se utiliza en el presente proyecto con la ayuda del motor realiza movimientos tanto en sentido horario como anti horario, y a su vez permiten al panel solar girar de manera adecuada hacia el este y hacia el oeste puesto que son los movimientos más significativos durante el día.

La varilla empleada en el proyecto es de acero inoxidable, se aprovecha sus características previendo que el prototipo debe estar a la intemperie y que no sufra desgaste por las condiciones que puede presentarse en el ambiente.

Este elemento roscado para su utilización en el proyecto va acompañado por un elemento adicional compuesta de dos tuercas que simulan el funcionamiento de un tornillo sin fin, la cual a su vez permite una gran reducción de velocidad.

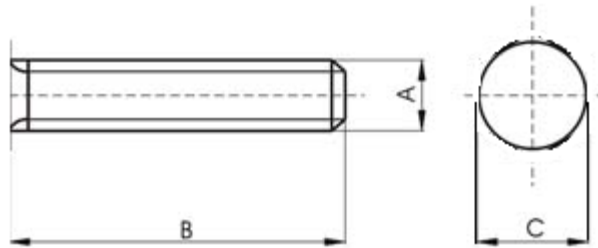
### Partes del tornillo sin fin



**Figura 45.** Partes que conforman un tornillo sin fin.

**Fuente:** (Puebla, 2013)

### Tornillo sin fin dimensiones



**Figura 46.** Vista del tornillo sin fin especificando sus dimensiones.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

Las dimensiones del tornillo sin fin se describen en la tabla (Tabla 7).

**Tabla 7.**

### Dimensiones del tornillo sin fin

Tornillo Sin Fin		
A	B	C
9 mm	470 mm	7 mm

**Nota.** Las dimensiones especificadas del tornillo sin fin.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

### 3.1.7 Tarjeta de control

Tarjeta de control

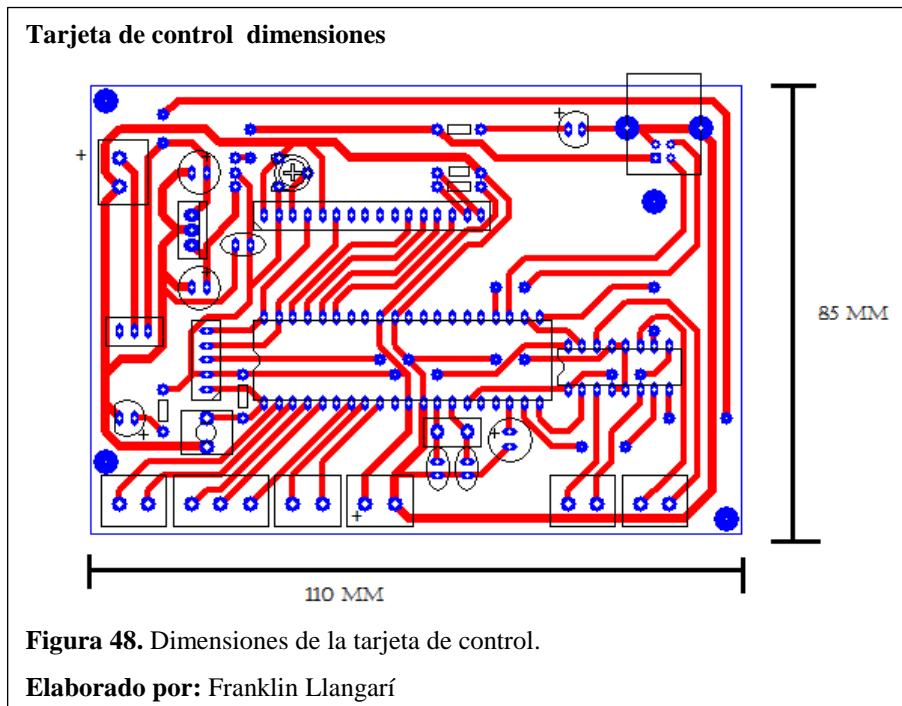


**Figura 47.** Foto de la tarjeta de control.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

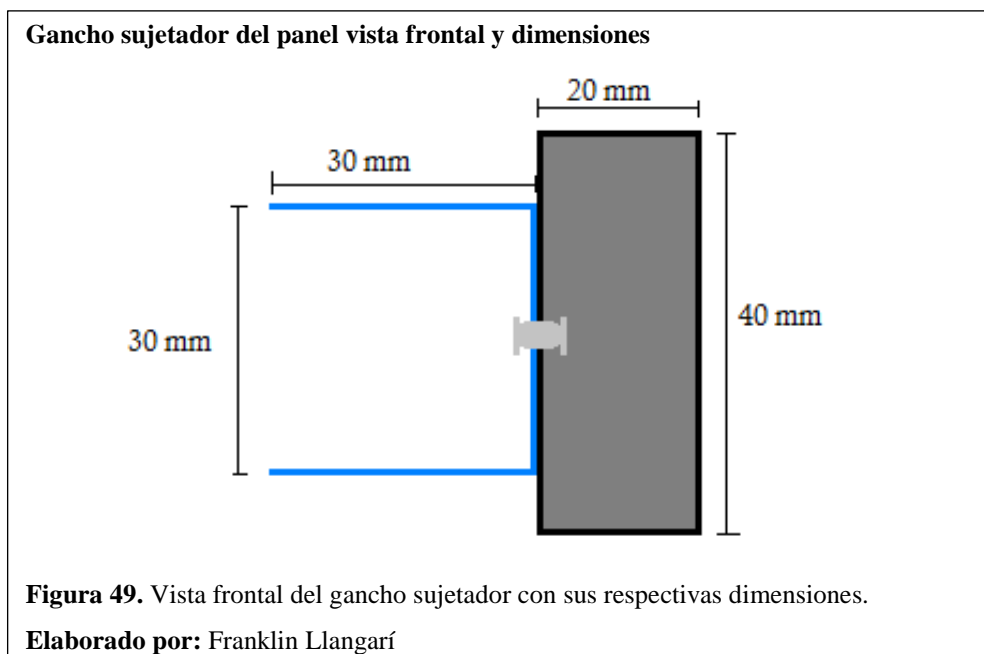
La tarjeta de control consta de todos los elementos que hacen posible enviar los datos de programación a realizar las órdenes que en ella se haya dispuesto.

Sobre la tarjeta de datos se encuentran todos los elementos utilizados pero solamente se pueden apreciar el potenciómetro que varía el contraste para el LCD, las borneras en las cuales deben ser conectadas tanto las entradas como las salidas de los dispositivos, un led rojo que indica el encendido del sistema y un led verde que indica una conexión en el USB, y el LCD donde se puede leer los datos de la luminosidad de los sensores y la salida que es la posición del panel solar.

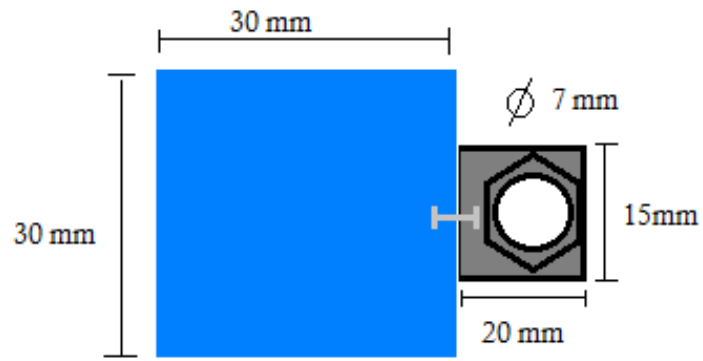


En cuanto a sus dimensiones la tarjeta de control, tiene de largo 110 mm y de ancho 85 mm; en lo referente al grosor corresponde a 2mm.

### 3.1.8 Gancho sujetador del panel



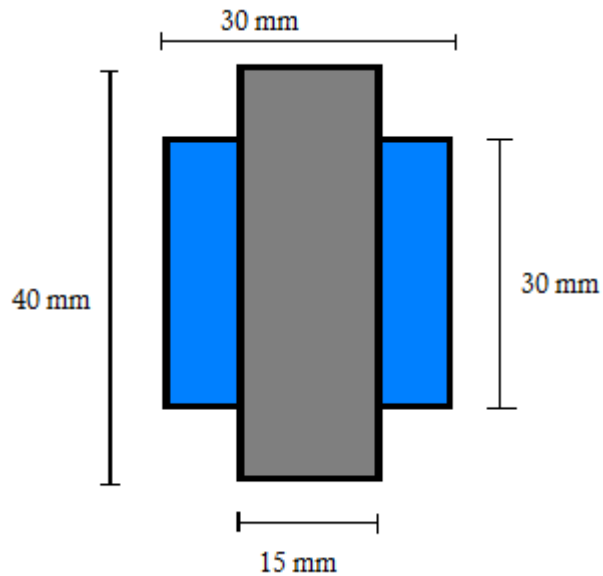
**Gancho sujetador del panel vista superior y dimensiones**



**Figura 50.** Vista superior del gancho sujetador y sus dimensiones.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

**Gancho sujetador del panel vista lateral derecha y dimensiones**



**Figura 51.** Vista lateral derecha del gancho sujetador y sus dimensiones.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

El gancho sujetador del panel está conformado por dos tuercas que fueron soldadas sobre una fina lámina de acero inoxidable, unida con una rosca a otra fina lámina de acero formando un sujetador a la medida de uno de los lados del panel solar. El mismo que permite que el panel se mueva.

Las dimensiones del gancho son ajustadas específicamente a la medida del perfil donde posa el panel solar, ambas son unidas por una rosca que le permite al gancho girar con precisión, y a su vez dota de movimiento adecuado al panel solar.



### 3.1.9 Acople mecánico por quijada

La importancia de utilizar un acople en el motor radica en que estos dispositivos permite transmitir la energía desde el eje del motor a un eje, o de un eje a otro eje con la mínima pérdida posible.

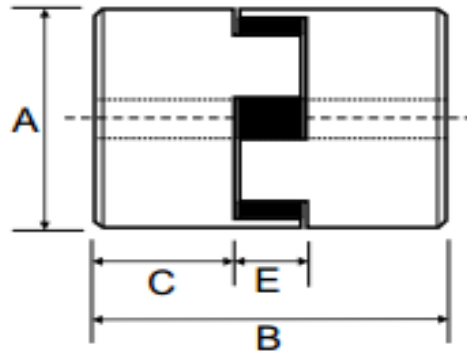


Admite que los grados de libertad del sistema sean flexibles para de esta manera se pueda transmitir la potencia en otras direcciones, logrando transmitir la potencia a sitios al cual el motor no tiene un acceso fácil debido a su ubicación o posición.

El acoplamiento que se debió utilizar para el movimiento mecánico del panel solar se trata de un acople de tipo flexible que posee una quijada de goma, también conocido como acople de estrella debido a la forma del elemento elastómero.

Consta de tres piezas: 2 quijadas y un inserto elastómero en forma de araña. Permite cierta desalineación axial, angular y paralela, y lo más importante no requiere de lubricación.

### Acople mecánico por quijada dimensiones



**Figura 53.** Dimensiones del acople mecánico por quijada proporcionado por Lovejoy.

**Fuente:** (Catálogo acoples Lovejoy, 2013)

Las dimensiones del acople mecánico que se ha utilizado se describe en la tabla (Tabla 8).

**Tabla 8.**

#### Dimensiones del acople mecánico Lovejoy

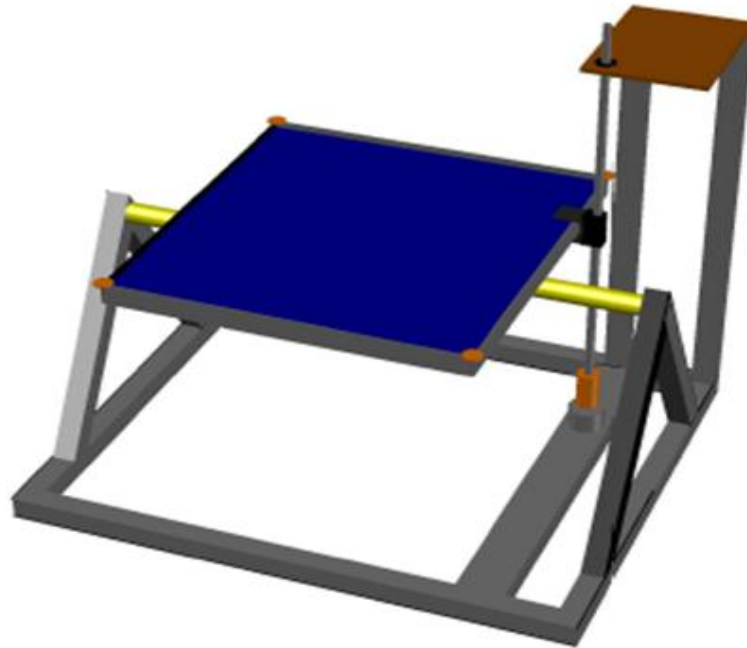
ACOPLE Lovejoy	DIÁMETRO MIN.	DIÁMETRO MAX.	A	B	C	D	E
L050 (mm)	6,4	15,9	27,4	43,4	15,7	xxx	12,2

**Nota.** Dimensiones del acople mecánico por quijada diámetros.

**Fuente:** Catálogo acoples Lovejoy, 2013

### 3.1.10 Montaje final

Montaje final 3D



**Figura 54.** Vista del prototipo finalizado.

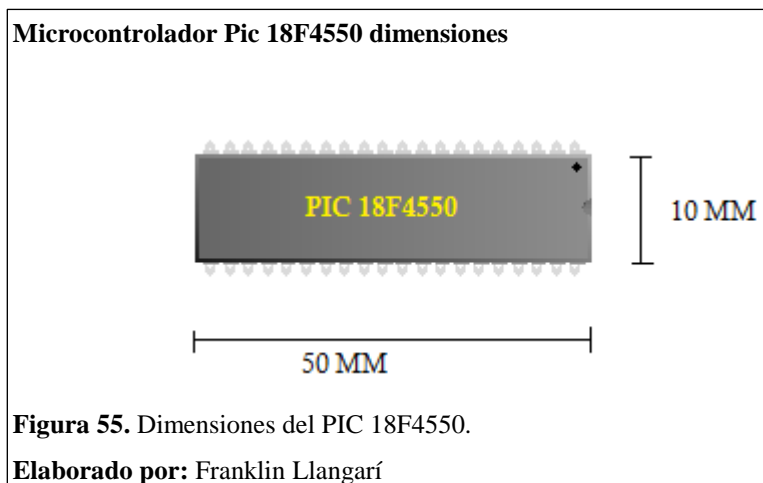
**Elaborado por:** Franklin Llangarí

El modelo original que se ha desarrollado está constituido por una base robusta hecha de aluminio, dos soportes en forma triangular las cuales a su vez tienen una varilla en la mitad que sirve de base para sostener al panel solar con los sensores de luminosidad respectivos.

En cuanto al motor este se encuentra en la parte inferior es decir en la base del prototipo, el motor está ensamblado con un acoplamiento mecánico especial que sostiene un tornillo que es el encargado de realizar los giros necesarios para posicionar al panel en la ubicación del sol.

La tarjeta de control se encuentra en una pequeña base en la parte superior del módulo, contiene las conexiones de sensores y del motor que se utilizaron.

### 3.1.11 El Microcontrolador



**Tabla 9.**

**Características microcontrolador Pic 18F4550**

Características	PIC18F4550
Frecuencia de Operación	Hasta 48MHz
Memoria de Programa (bytes)	32.768
Memoria RAM de Datos (bytes)	2.048
Memoria EEPROM Datos (bytes)	256
Interrupciones	20
Líneas de E/S	35
Temporizadores	4
Módulos de comparación/Captura/PWM (CCP)	1
Módulos de comparación/Captura/PWM mejorado (ECCP)	1
Canales de Comunicación Serie	MSSP, EUSART
Canal USB	1
Puerto Paralelo de Transmisión de Datos (SPP)	1
Canales de Conversión A/D de 10 bits	13 Canales
Comparadores Analógicos	2
Juego de Instrucciones	75 (83 ext.)
Voltaje de Alimentación Operativo	2V a 5.5 V
Voltaje de Alimentación Máx.	5.5 V
Voltaje de Alimentación Min.	4.2 V
Temperatura de Trabajo Min.	-40°C

**Nota.** Características del PIC 18F4550 proporcionado por MICROCHIP.

**Fuente:** MICROCHIP

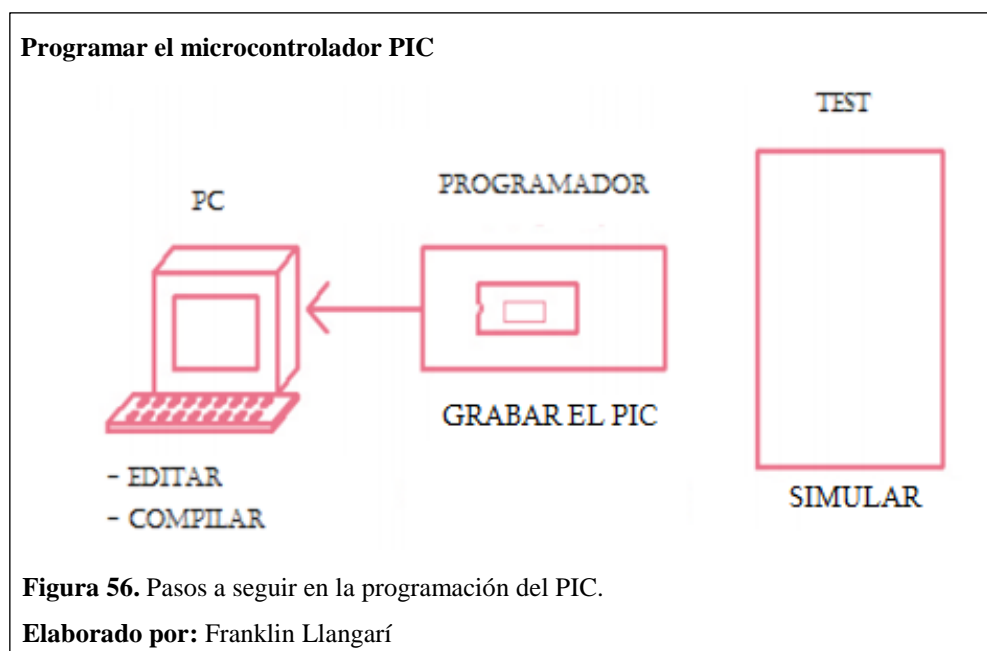
### 3.2 Software

#### ✓ Programar el microcontrolador

En esta parte del proyecto se realiza una breve explicación sobre el proceso que se debe llevar a cabo para realizar la programación del microcontrolador, en otras palabras un esclarecimiento del PIC cuya capacidad de modificar su comportamiento en función de una serie de instrucciones que es factible comunicarle.

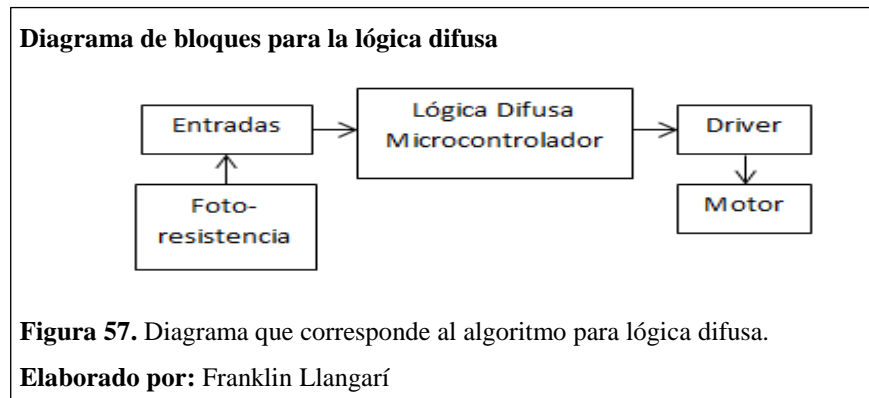
Los pasos que intervienen en la programación del PIC se lo puede dividir en cuatro etapas: editar, compilar, grabar el PIC y probar.

- **Editar** corresponde a escribir un programa, es decir realizar un listado de sentencias en un lenguaje que permita indicarle al PIC lo que se espera que haga.
- **Compilar** se refiere a una traducción del lenguaje que se emplea en la programación a un lenguaje de máquina que si interprete el PIC.
- **Programar** el PIC es donde se lleva a cabo la grabación del programa en el PIC, se realiza con la ayuda de una tarjeta electrónica y un software que transmite el programa compilado de la PC al PIC.
- **Simular** el comportamiento del sistema para verificar el correcto funcionamiento y obtener una reproducción precisa de lo que se necesita.



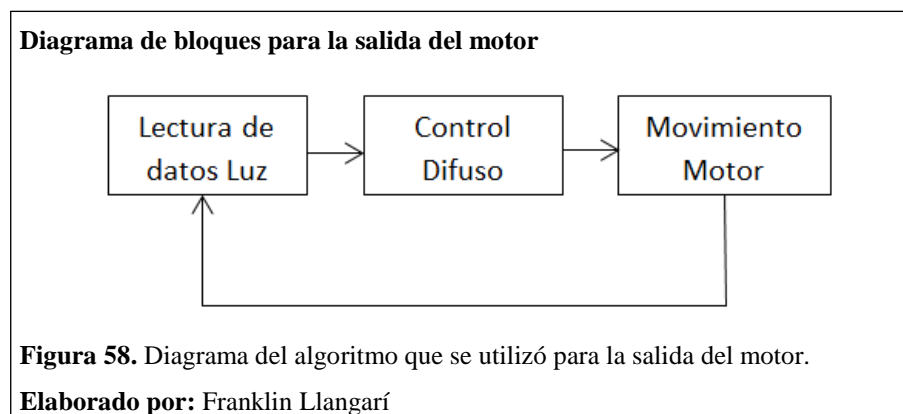
### 3.2.1 Algoritmo de lógica difusa

Para el diagrama de bloques que corresponde al algoritmo de la lógica difusa creada en el presente proyecto se toma en cuenta que el microcontrolador debe estar conectado con las entradas cuyos dispositivos que definen los datos de las entradas son las foto-resistencias; y al driver del motor que define la salida y por ende el posicionamiento del panel solar.



### 3.2.2 Algoritmo para salida del motor

En el caso del algoritmo que utilizó para especificar la salida del motor, éste trabaja con un dato principal que es la luminosidad, en el siguiente proceso se desarrolla el control difuso y como salida se obtiene el movimiento del motor que posicionará al panel solar en la ubicación con máxima incidencia.



### 3.2.3 Algoritmo de control y diagrama de flujo

Para la parte de control del proyecto, el algoritmo que se utiliza se muestra en la siguiente figura (Figura 3-33) ; comienza con la secuencia de inicio y para las condiciones iniciales se procede a declarar las variables con las cuales se va a trabajar, con lo cual se puede determinar los conjuntos difusos que existen y por ende

se debe declarar dichos conjuntos, el siguiente paso del proceso corresponde a la lectura de los datos analógicos de luminosidad mismos que deben ser mostrados, continuando con el proceso la siguiente parte trata sobre el proceso de fuzzificación donde los datos son tratados no como valores reales sino como valores inexactos, luego pasa a la parte de la inferencia donde los datos son analizados para generar los grados de pertenencia, y por último la defuzzificación donde se obtiene el producto del sistema difuso.

Para el movimiento del motor se toma en cuenta la relación existente entre las vueltas del motor y las vueltas de salida, así: en el caso de que las vueltas del motor resulte ser mayor a las vueltas de salida el panel solar se posicionará hacia la derecha, y por otra parte si las vueltas del motor es menor a las vueltas de salida el panel solar se posicionará hacia la izquierda; y para finalizar estos datos deberán ser mostrados en la salida.

Diagrama de flujo para control de posicionamiento automático

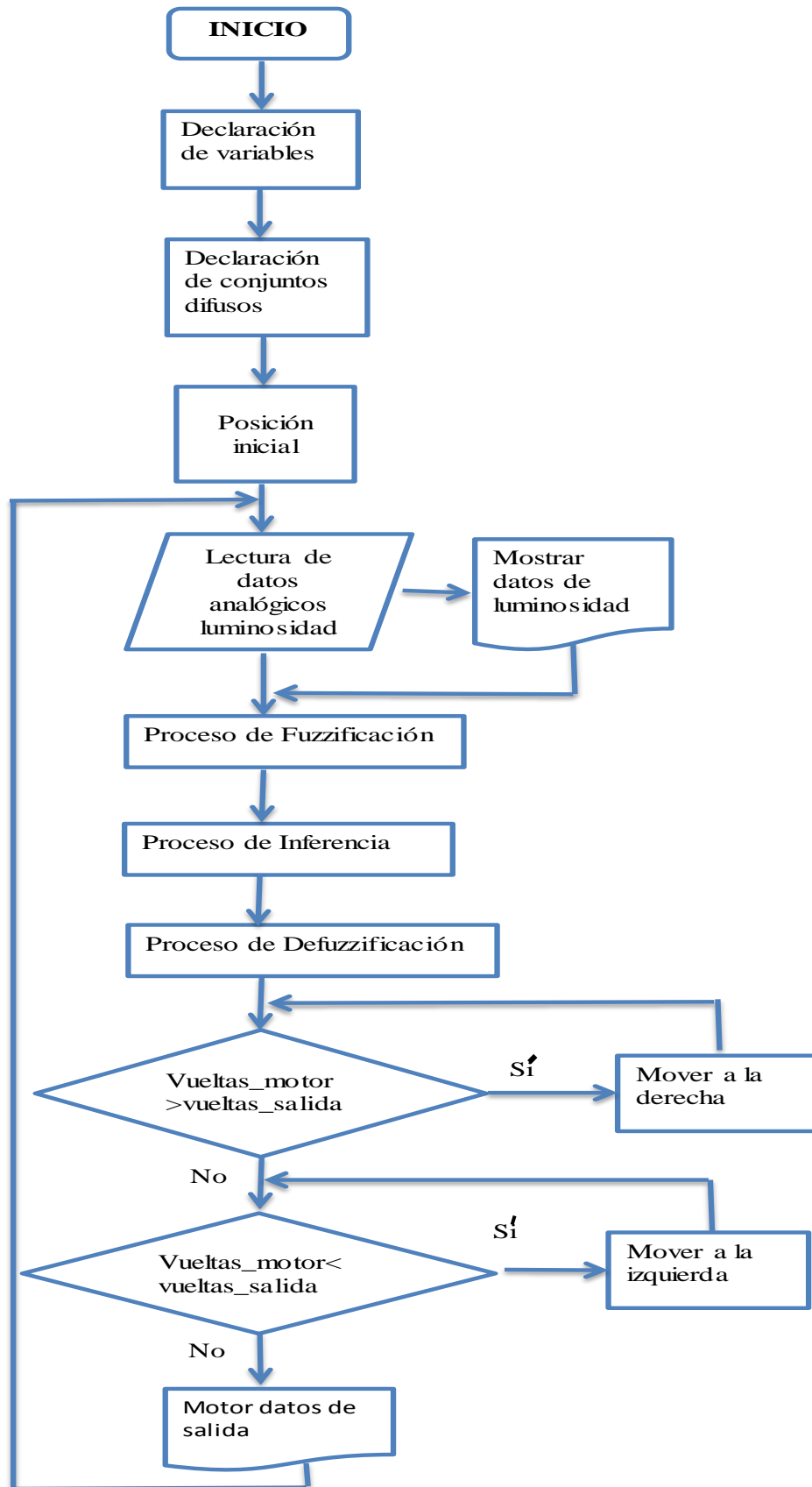


Figura 59. Diagrama de flujo elaborado para el control de posicionamiento automático

Elaborado por: Franklin Llangarí



### **3.2.4 Lógica difusa**

La lógica difusa corresponde a una parte de la inteligencia artificial que permite trabajar con datos inexactos, es decir que la lógica difusa es un método alternativo a la lógica clásica que solamente se fundamenta en utilizar datos precisos; de este modo la lógica difusa en cuanto a su funcionamiento se asemeja lo más cercanamente al comportamiento del cerebro humano.

Desde sus inicios la lógica difusa fue orientada para dar respuesta a problemas en procesos muy complejos, donde los modelos matemáticos comunes no tienen la capacidad suficiente para desarrollarlos. De igual manera es recomendable aplicar la lógica difusa cuando determinadas partes de un sistema a controlar son desconocidas y su medición no se la puede realizar de una manera confiable.

En la actualidad la lógica difusa es desarrollada en diferentes áreas de la tecnología, este mercado (el de la tecnología) abarca muchos productos que hoy en día trabajan con lo que es la lógica difusa. Muchas aplicaciones de lógica difusa son desarrolladas y puestas en práctica en países amantes de la tecnología como lo son Japón y Alemania. Entre los productos más comúnmente que utilizan lógica difusa están los siguientes:

- Lavadoras inteligentes que evitan el desperdicio de agua y energía eléctrica, realizando su trabajo exclusivamente en función del nivel de ropa y tiempo necesario para lavar.
- Medidores de presión sanguínea.
- Control de luminosidad.
- Control de humedad.
- Control de temperatura.
- Sistemas basados en inteligencia artificial.

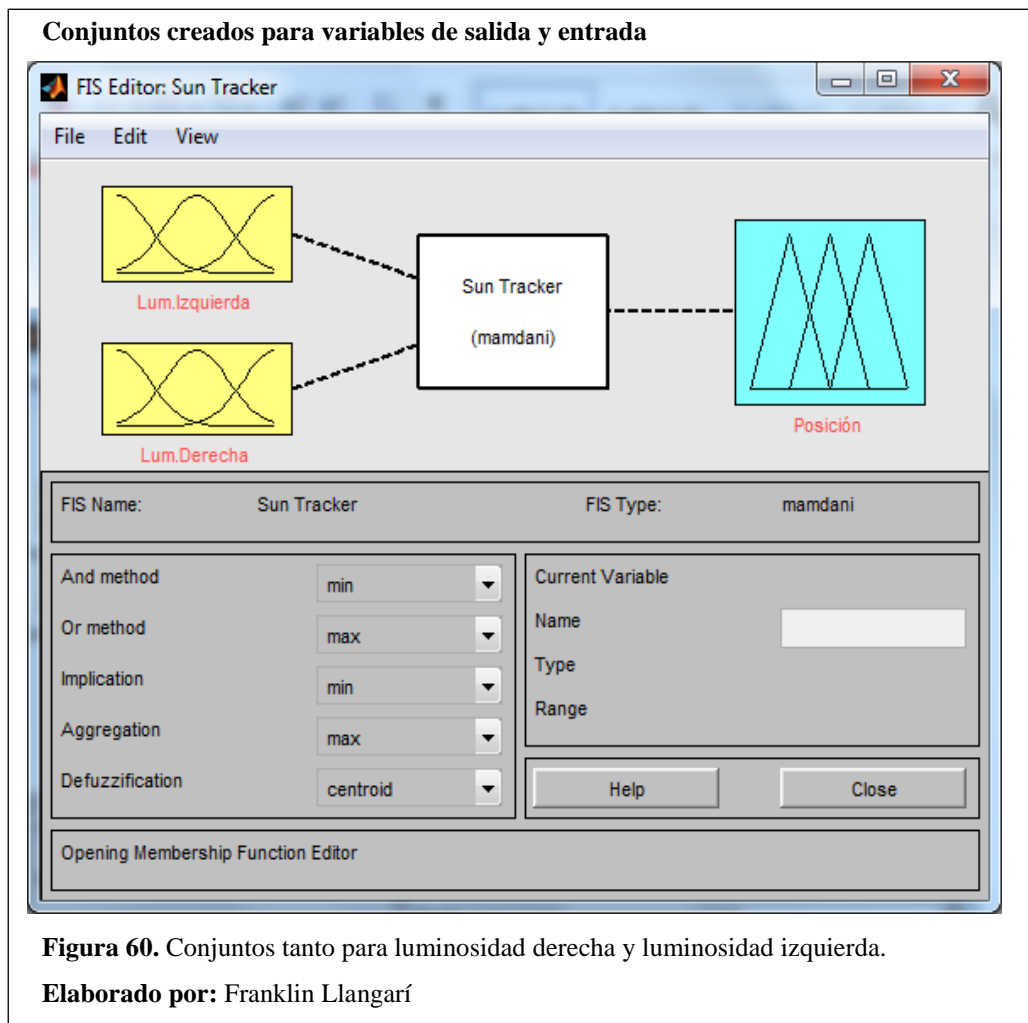
Para el presente proyecto se toma como finalidad el desarrollo de un sistema que permita un control automático para el movimiento del panel solar en función de la ubicación del sol, un método que dotado de inteligencia artificial capte con máxima precisión la radiación solar. Es por ello que el uso de lógica difusa es importante ya que precisamente la luminosidad corresponde a datos imprecisos que luego de ser

trabajados con los métodos matemáticos adecuados el resultado satisfaga el propósito.

Para el desarrollo de lógica difusa se deben realizar un sistema difuso base en el cual se proceda a realizar la fuzzificación, la inferencia y la defuzzificación del método que se está desarrollando.

### 3.2.5 Conjuntos creados

La necesidad de utilizar conjuntos difusos se basa que en lógica difusa existen conceptos cuyos límites no son claros. En lo que corresponde a conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores en un intervalo que va de 0 a 1, donde la transición de cero a uno es gradual.



**Figura 60.** Conjuntos tanto para luminosidad derecha y luminosidad izquierda.

**Elaborado por:** Franklin Llangari

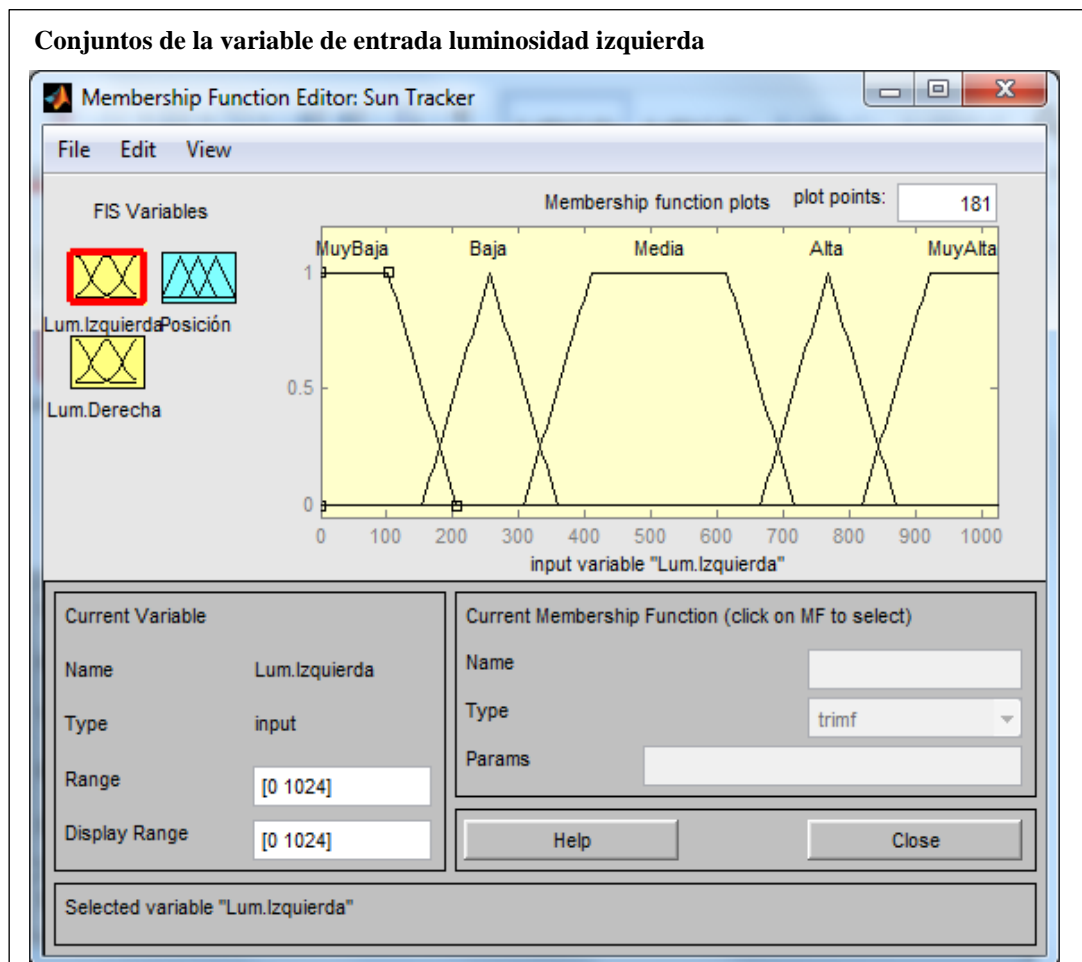
Los conjuntos que fueron creados para la realización del presente proyecto son establecidos en base a las variables con las que se cuenta y obviamente con las que se

tiene facilidad para realizar trabajos matemáticos con datos netamente informales, es así que se toma en cuenta los sensores de luz tanto de la parte izquierda como de la parte de la derecha del panel solar como variables de entrada, y como variable de salida se tiene a la posición del panel solar.

De esta manera los conjuntos difusos que se establecen son tres y quedan definidos de la siguiente manera: Luminosidad Izquierda, Luminosidad Derecha y Posición.

### 3.2.6 Relación entre conjuntos

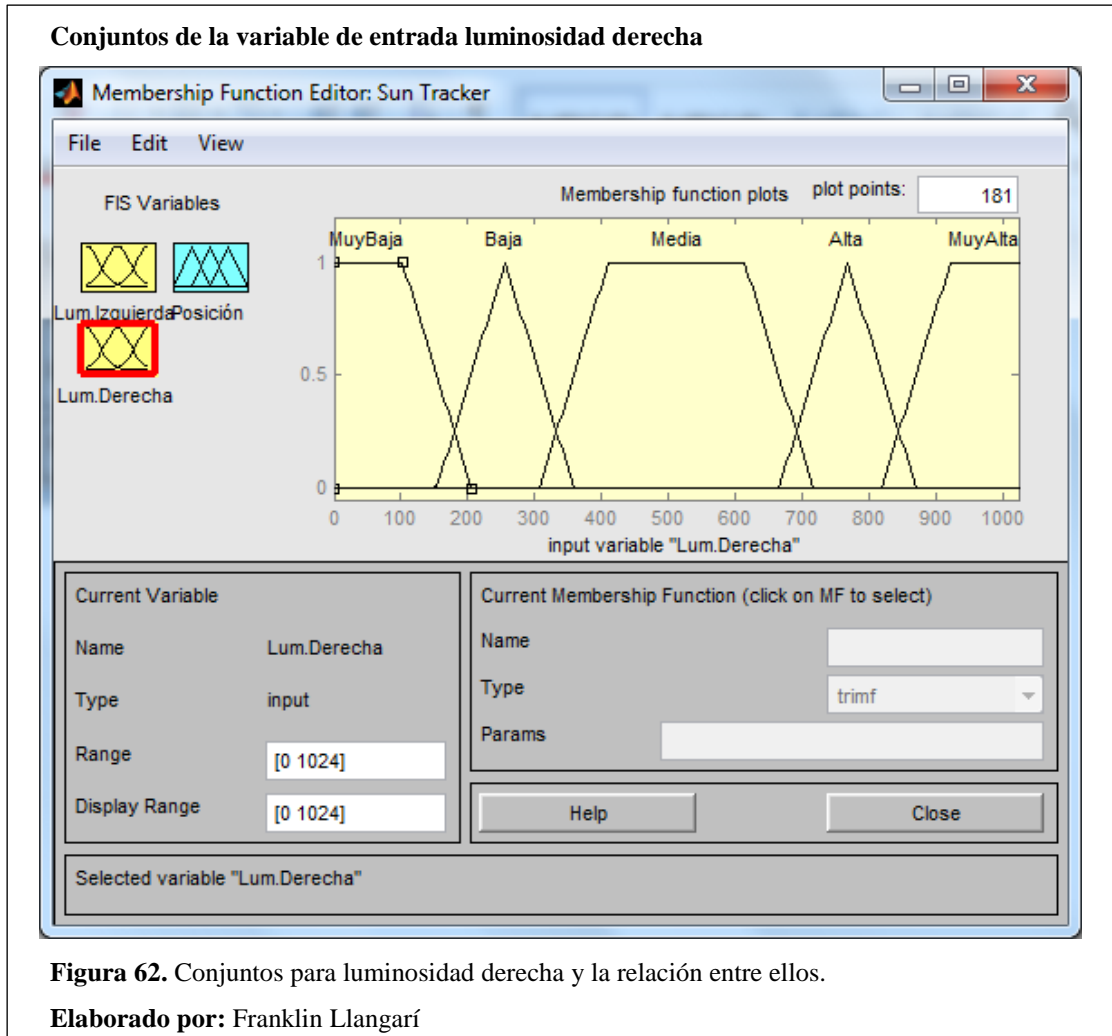
Una vez establecidos los conjuntos difusos se procede a realizar la relación existente entre estos, es decir que para cada conjunto del sistema difuso hay variables lingüísticas que lo definen como tal; definiendo de esta manera una relación de pertenencia entre los conjuntos Luminosidad Izquierda y Luminosidad Derecha de una manera gradual entre ellos.



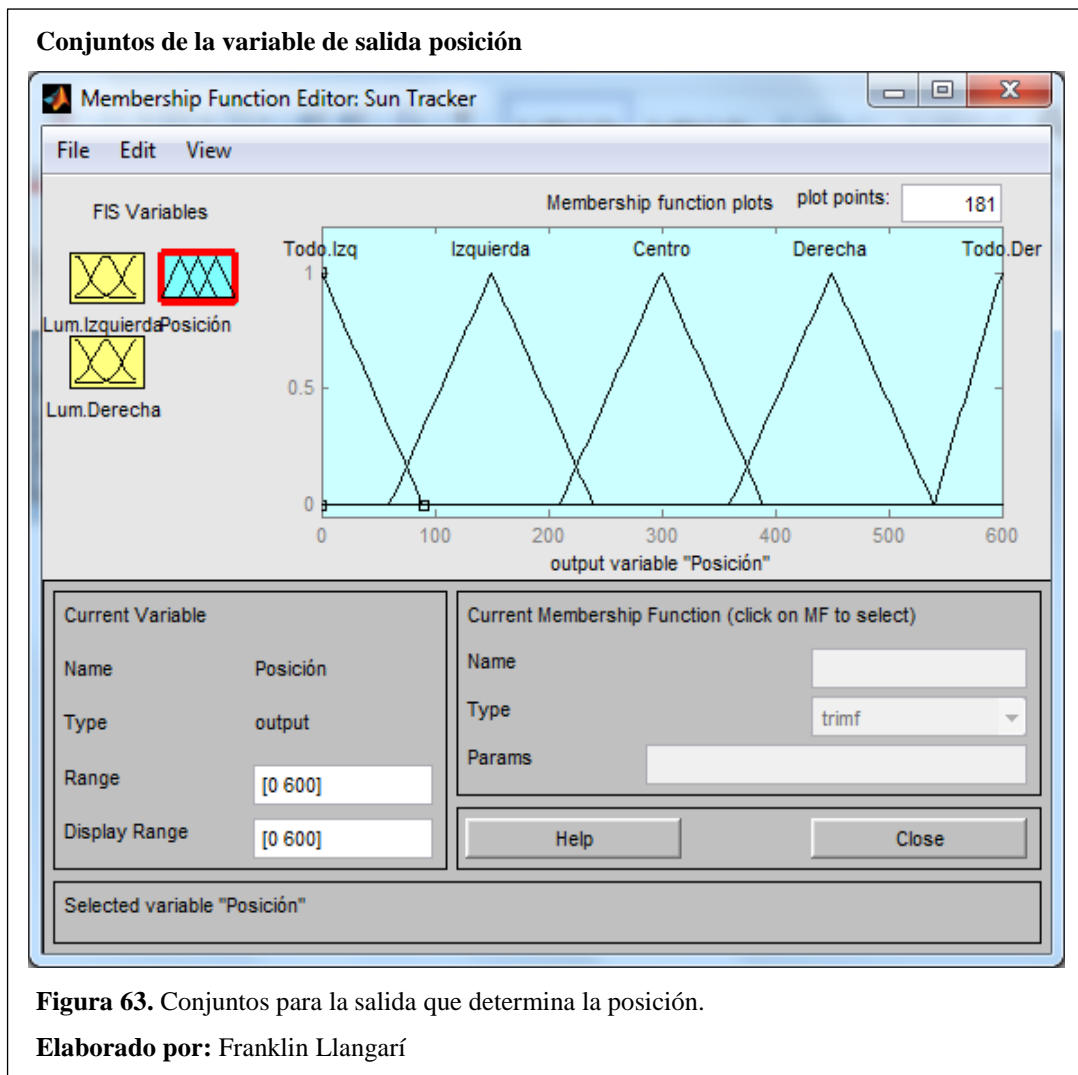
**Figura 61.** Conjuntos para luminosidad izquierda y la relación entre ellos.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

Es así que para el conjunto difuso Luminosidad Izquierda se fijan cinco etiquetas o variables lingüísticas las cuales son: muy baja, baja, media, alta y muy alta. De la misma manera para el conjunto difuso Luminosidad Derecha se establecen cinco variables lingüísticas estas son las siguientes: muy baja, baja, media, alta y muy alta.



En el caso del conjunto difuso posición que representa a la variable de salida, igual se definen cinco variables lingüísticas que son: todo izquierda, izquierda, centro, derecha y todo derecha.



En la siguiente tabla (Tabla 10) se muestra la relación existente entre los tres conjuntos difusos que se crearon y su nivel de dependencia, es decir que se establecen reglas donde el sistema difuso se encargará de crear la salida adecuada para cada caso de los conjuntos difusos.

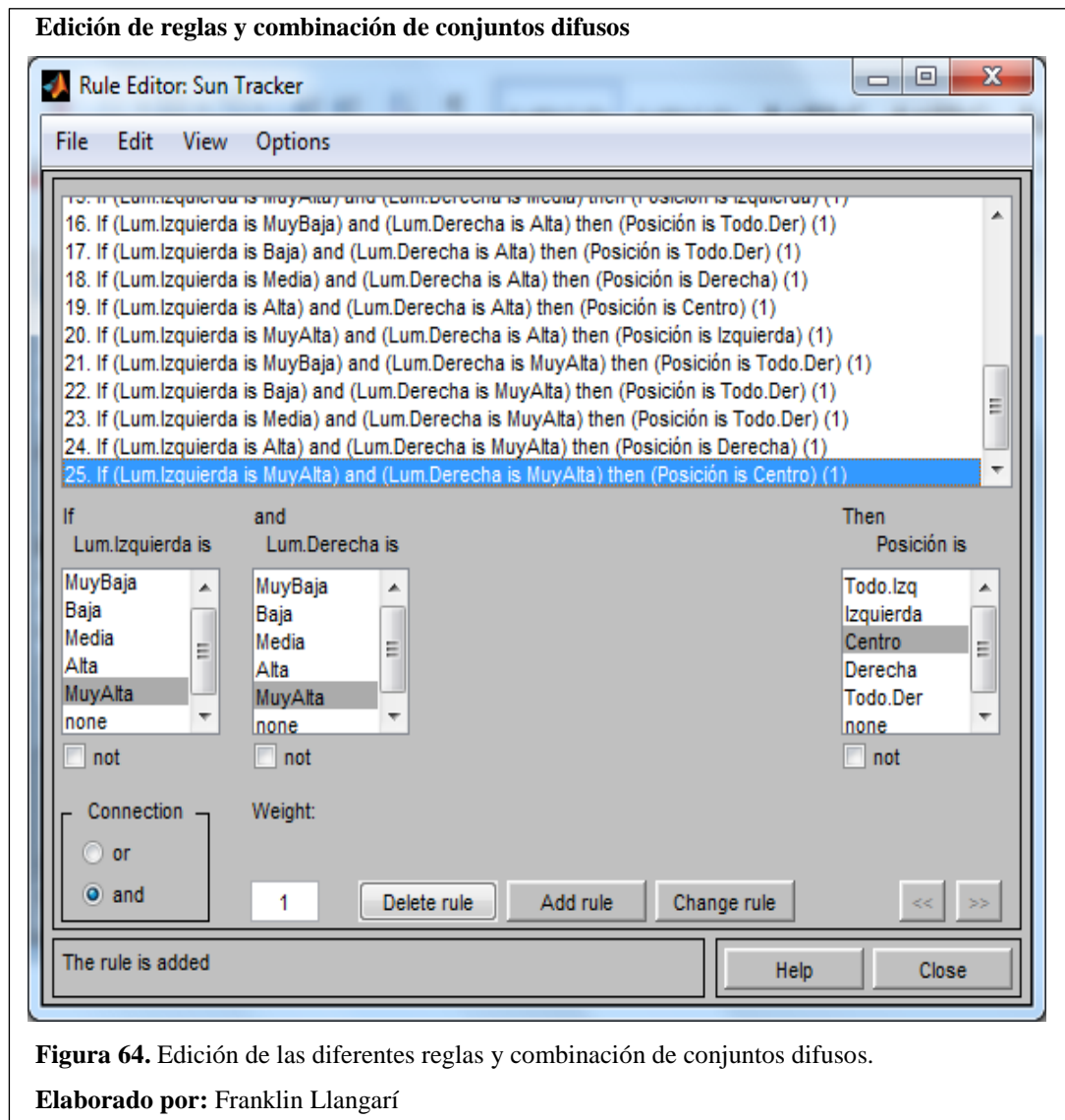
**Tabla 10.**  
**Tabla de reglas para los conjuntos difusos**

L. Izquierda \ L. Derecha	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Muy Baja	Centro	Izquierda	Izquierda	Todo Izquierda	Todo Izquierda
Baja	Derecha	Centro	Izquierda	Todo Izquierda	Todo Izquierda
Media	Derecha	Derecha	Centro	Izquierda	Izquierda
Alta	Todo Derecha	Todo Derecha	Derecha	Centro	Izquierda
Muy Alta	Todo Derecha	Todo Derecha	Todo Derecha	Derecha	Centro

**Nota.** Relación de las reglas para los diferentes conjuntos difusos.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

Tomando como base la tabla de reglas se definen las reglas de tipo If, Then; con la finalidad de obtener los valores de salida. El objetivo de dichas reglas es la de combinar los conjuntos difusos de entrada que son también llamados antecedentes y los asocian a un conjunto borroso de salida llamado consecuente.



**Figura 64.** Edición de las diferentes reglas y combinación de conjuntos difusos.

**Elaborado por:** Franklin Llangari

De esta forma el resultado de la asociación entre los conjuntos tanto de entrada como de salida se obtiene como producto la combinación de reglas que se describen en la tabla (Tabla 11):

**Tabla 11.****Tabla de combinación de reglas para los conjuntos difusos**

R1	IF Luminosidad Izquierda es Muy Baja AND Luminosidad Derecha es Muy Baja THEN Posición es Centro
R2	IF Luminosidad Izquierda es Baja AND Luminosidad Derecha es Muy Baja THEN Posición es Izquierda
R3	IF Luminosidad Izquierda es Media AND Luminosidad Derecha es Muy Baja THEN Posición es Izquierda
R4	IF Luminosidad Izquierda es Alta AND Luminosidad Derecha es Muy Baja THEN Posición es Todo Izquierda
R5	IF Luminosidad Izquierda es Muy Alta AND Luminosidad Derecha es Muy Baja THEN Posición es Todo Izquierda
R6	IF Luminosidad Izquierda es Muy Baja AND Luminosidad Derecha es Baja THEN Posición es Derecha
R7	IF Luminosidad Izquierda es Baja AND Luminosidad Derecha es Baja THEN Posición es Centro
R8	IF Luminosidad Izquierda es Media AND Luminosidad Derecha es Baja THEN Posición es Izquierda
R9	IF Luminosidad Izquierda es Alta AND Luminosidad Derecha es Baja THEN Posición es Todo Izquierda
R10	IF Luminosidad Izquierda es Muy Alta AND Luminosidad Derecha es Baja THEN Posición es Todo Izquierda
R11	IF Luminosidad Izquierda es Muy Baja AND Luminosidad Derecha es Media THEN Posición es Derecha
R12	IF Luminosidad Izquierda es Baja AND Luminosidad Derecha es Media THEN Posición es Derecha
R13	IF Luminosidad Izquierda es Media AND Luminosidad Derecha es Media THEN Posición es Centro
R14	IF Luminosidad Izquierda es Alta AND Luminosidad Derecha es Media THEN Posición es Izquierda
R15	IF Luminosidad Izquierda es Muy Alta AND Luminosidad Derecha es Media THEN Posición es Izquierda
R16	IF Luminosidad Izquierda es Muy Baja AND Luminosidad Derecha es Alta THEN Posición es Todo Derecha
R17	IF Luminosidad Izquierda es Baja AND Luminosidad Derecha es Alta THEN Posición es Todo Derecha
R18	IF Luminosidad Izquierda es Media AND Luminosidad Derecha es Alta THEN Posición es Derecha
R19	IF Luminosidad Izquierda es Alta AND Luminosidad Derecha es Alta THEN Posición es Centro
R20	IF Luminosidad Izquierda es Muy Alta AND Luminosidad Derecha es Alta THEN Posición es Izquierda
R21	IF Luminosidad Izquierda es Muy Baja AND Luminosidad Derecha es Muy Alta THEN Posición es Todo Derecha
R22	IF Luminosidad Izquierda es Baja AND Luminosidad Derecha es Muy Alta THEN Posición es Todo Derecha
R23	IF Luminosidad Izquierda es Media AND Luminosidad Derecha es Muy Alta THEN Posición es Todo Derecha
R24	IF Luminosidad Izquierda es Alta AND Luminosidad Derecha es Muy Alta THEN Posición es Derecha
R25	IF Luminosidad Izquierda es Muy Alta AND Luminosidad Derecha es Muy Alta THEN Posición es Centro

**Nota.** Combinación de todas las reglas con los conjuntos difusos.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

Es así que quedan definidas las veinticinco reglas que componen los tres conjuntos difusos que conforman al sistema difuso, es decir la manera como se conjuga cada conjunto difuso de entrada para dar como resultado un conjunto difuso de salida.

### 3.2.7 Fuzzificación

En la fuzzificación el objetivo primordial consiste en convertir valores que son reales a valores difusos, asignando grados de pertenencia a las variables de entrada en relación a los conjuntos difusos previamente definidos.

Para llevar a buen término este proceso se debe establecer una estrecha relación entre los puntos de entrada no borrosos y sus correspondientes conjuntos difusos, en otras palabras convertir al mundo difuso un determinado valor de entrada asignando un nivel de pertenencia en los conjuntos difusos determinados en el sistema.

Las funciones de pertenencia empleadas para el desarrollo del sistema difuso se exponen a continuación. Es viable emplear funciones de membresía con un alto grado de complejidad, sin embargo, las que fueron tomadas en cuenta son de fácil implementación y entregan buenos resultados en el control que es lo más importante.

Es así que para las variables de entrada de los conjuntos difusos Luminosidad Izquierda y Luminosidad Derecha, quedan de la siguiente manera las ecuaciones de la función de pertenencia.

- **Luminosidad Izquierda**

$$\mu_{Muy Baja} (LI): \quad 1 \rightarrow 0 < LI \leq 102.4 \quad \text{Ec. (3.6)}$$

$$2 - \frac{LI}{102.4} \rightarrow 102.4 < LI \leq 204.8 \quad \text{Ec. (3.7)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$\mu_{Baja} (LI): \quad \frac{LI}{120.4} - 1.5 \rightarrow 153.6 < LI \leq 256 \quad \text{Ec. (3.9)}$$

$$3.5 - \frac{LI}{102.4} \rightarrow 256 < LI \leq 358.4 \quad \text{Ec. (3.10)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$\mu_{Media} (LI): \quad \frac{LI}{120.4} - 3 \rightarrow 307.2 < LI \leq 409.6 \quad \text{Ec. (3.11)}$$

$$1 \rightarrow 409.6 < LI \leq 614.4 \quad \text{Ec. (3.12)}$$



$$7 - \frac{LI}{102.4} \rightarrow 614.4 < LI \leq 716.8 \quad \text{Ec. (3.13)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$\mu_{Alta} (LI): \quad \frac{LI}{120.4} - 6.5 \rightarrow 665.6 < LI \leq 768 \quad \text{Ec. (3.14)}$$

$$8.5 - \frac{LI}{102.4} \rightarrow 768 < LI \leq 870.4 \quad \text{Ec. (3.15)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$\mu_{Muy Alta} (LI): \quad \frac{LI}{120.4} - 8 \rightarrow 819.2 < LI \leq 921.6 \quad \text{Ec. (3.16)}$$

$$1 \rightarrow 921.6 < LI \leq 1024 \quad \text{Ec. (3.17)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

- **Luminosidad Derecha**

$$\mu_{Muy Baja} (LD): \quad 1 \rightarrow 0 < LD \leq 102.4 \quad \text{Ec. (3.18)}$$

$$2 - \frac{LD}{102.4} \rightarrow 102.4 < LD \leq 204.8 \quad \text{Ec. (3.19)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$\mu_{Baja} (LD): \quad \frac{LD}{120.4} - 1.5 \rightarrow 153.6 < LD \leq 256 \quad \text{Ec. (3.20)}$$

$$3.5 - \frac{LD}{102.4} \rightarrow 256 < LD \leq 358.4 \quad \text{Ec. (3.21)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$\mu_{Media} (LD): \quad \frac{LD}{120.4} - 3 \rightarrow 307.2 < LD \leq 409.6 \quad \text{Ec. (3.22)}$$

$$1 \rightarrow 409.6 < LD \leq 614.4 \quad \text{Ec. (3.23)}$$

$$7 - \frac{LD}{102.4} \rightarrow 614.4 < LD \leq 716.8 \quad \text{Ec. (3.24)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$\mu_{Alta}(LD): \quad \frac{LD}{120.4} - 6.5 \rightarrow 665.6 < LD \leq 768 \quad \text{Ec. (3.25)}$$

$$8.5 - \frac{LD}{102.4} \rightarrow 768 < LD \leq 870.4 \quad \text{Ec. (3.26)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

$$\mu_{Muy Alta}(LD): \quad \frac{LD}{120.4} - 8 \rightarrow 819.2 < LD \leq 921.6 \quad \text{Ec. (3.27)}$$

$$1 \rightarrow 921.6 < LD \leq 1024 \quad \text{Ec. (3.28)}$$

$$0 \rightarrow \text{Demás Casos} \quad \text{Ec. (3.8)}$$

Entonces de esta manera es como quedan definidas las funciones de pertenencia para cada conjunto difuso. Los mismos que son utilizados para realizar el proceso de defuzzificación.

### 3.2.8 Defuzzificación

Una vez ya establecidos las reglas para los conjuntos difusos, las ecuaciones en la función de pertenencia, éstos deben ser traducidos en variables cuantificables, para ser utilizados como acciones de control. Es decir que cuando se intenta obtener una solución a un problema de decisión lo que es necesario es un número y más no un conjunto difuso, por lo que resulta necesario realizar una transformación de la salida del motor de inferencia a un número.

El método que se utiliza para el desarrollo del presente proyecto es el método del centroide, el cual consiste en determinar el centro del área definida por el conjunto borroso obtenido en la salida. La ecuación del centroide es la siguiente:

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n x_i u(x_i)}{\sum_{i=1}^n u(x_i)} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

La defuzzificación es la última parte del control difuso y por ello se obtiene un resultado que representa a la salida del motor en relación con los sensores de luminosidad, cuya función consiste en seleccionar el conjunto difuso que tuvo el mayor grado de pertenencia entre todas las reglas expuestas.

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1 Análisis de datos registrados desde la tarjeta de control**

A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas experimentales del posicionamiento automático del panel solar. Es necesario recalcar que dichas pruebas serán realizadas tanto con el sistema de posicionamiento solar sin funcionamiento como el sistema de posicionamiento solar en funcionamiento.

El módulo con todo el sistema de posicionamiento solar será puesto a prueba en diferentes horarios del día puesto que, durante el día se presentan cambios repentinos en la radiación del sol, y de esta manera es como se pretende elaborar un análisis claro de los diferentes valores obtenidos en los resultados de las pruebas.

##### **4.1.1 Panel solar sin el posicionador automático**

Es necesario realizar las pruebas con el sistema sin funcionamiento para poder establecer la eficiencia del sistema automático de posicionamiento solar, y de esta manera ver en qué aspectos tiene ventaja.

Es importante recoger datos con el sistema en off debido a que es la única manera de demostrar el funcionamiento del sistema de posicionamiento automático, de esta manera se puede determinar la variación de voltaje a la salida en el panel solar. Es importante tomar datos en lapsos diferentes de tiempo debido a que en el día varía la radiación solar.

El panel solar estará en una posición fija, ya que aún no se pone en marcha el funcionamiento del sistema automático; debido a que se encuentra fijo se prevé obtener una baja respuesta con datos muy poco favorables.

##### **4.1.2 Datos obtenidos con el panel solar posición fija direccionado hacia el Este**

En la siguiente tabla se muestran los datos con el panel solar sin el funcionamiento del posicionador automático, es importante esclarecer que los datos fueron obtenidos

en un tiempo establecido de cinco horas (de 09:00 am – 14:00 pm) con lapsos de tiempo de veinte minutos para anotar los datos.

El panel solar se encuentra posicionado en dirección hacia el Este durante todo el tiempo, se realiza de esta manera con la finalidad de obtener diferencias en cuanto a resultados utilizando el panel solar en diferentes posiciones respecto a la radiación solar.

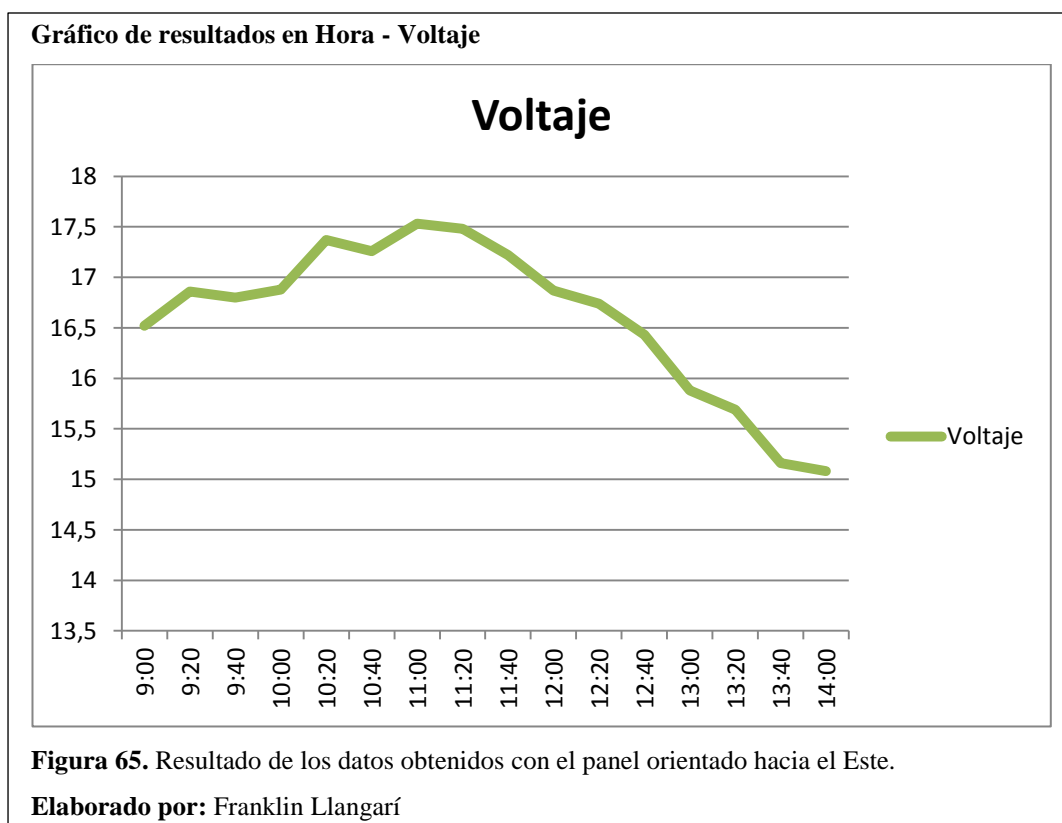
**Tabla 12.**

**Tabla de resultados en HORA – VOLTAJE**

Hora	Voltaje
9:00	16,52
9:20	16,86
9:40	16,80
10:00	16,88
10:20	17,37
10:40	17,26
11:00	17,53
11:20	17,48
11:40	17,22
12:00	16,87
12:20	16,74
12:40	16,43
13:00	15,88
13:20	15,69
13:40	15,16
14:00	15,08

**Nota.** Datos obtenidos mediante Hora y Voltaje.

**Elaborado por:** Franklin Llangari



Según los datos obtenidos, claramente se puede denotar que hay tres puntos claves; el punto de inicio, el pico más alto que se ha alcanzado y el punto de finalización. De acuerdo a las condiciones en las que se encontraba posicionado el panel y la luminosidad de los rayos solares en el día de la prueba, es claro que la variación en la salida debe presentar variaciones.

Para realizar un análisis en cuanto a eficiencia se necesita establecer las diferencias entre los tres puntos de máxima incidencia, es así que se establece un porcentaje de funcionalidad teniendo en cuenta que el 100% pertenece al máximo voltaje que se obtiene a la salida es decir a los 22 V.

En el siguiente análisis se toman los tres puntos y se establece el grado de eficiencia para cada punto:

- Para el primer punto se toma el primer dato obtenido 16.52 V a las 09:00 am, en este caso se puede diferenciar y obtener el porcentaje en cuanto a eficiencia de los 16.52 V con relación a los 22 V que en teoría es el voltaje máximo que puede alcanzar el panel solar.

Con una regla de tres se obtiene el porcentaje para el primer punto, de la siguiente manera:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$16.52 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{16.52 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.1)}$$
$$x = 75.09\%$$

La eficiencia que se obtiene corresponde a un 75% que resulta bastante bueno, teniendo en cuenta que el panel se encuentra en una posición fija respondiendo de buena manera a la posición y a la expectativa que se tenía; debido a que el panel se encuentra ubicado en una posición hacia el Este.

- En el segundo caso se determina como dato el punto más alto que se alcanzó en la salida de voltaje del panel solar que corresponde a 17.53 V a las 11:00 am, para obtener el porcentaje de eficiencia se procede de la misma manera como en el primer punto es decir, se realiza una comparación con los 22 V que es el voltaje máximo que se puede obtener del panel solar.

Es así que establecidos los datos de la siguiente manera se procede a realizar la obtención del porcentaje de eficiencia:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$17.53 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{17.53 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.2)}$$
$$x = 79.68\%$$

Con un 17.53 V en la salida del panel solar se establece que el prototipo está trabajando con un 80% de eficiencia que de acuerdo a la hora en la que se obtiene el dato (las 11:00 am) se encuentra operando positivamente, puesto que se pretendía que a esa hora debería tener la máxima incidencia de los rayos de sol.

- Para el último caso se tiene como apunte un 15.08 V que en comparación a los datos tanto del primer caso como del segundo caso, resultaría ser el punto más bajo con el que se cuenta. Al igual que en los casos anteriores se debe realizar una comparación con los 22 V que corresponde al 100% de eficiencia del trabajo del prototipo.

Se determinan los datos principales con los que se cuenta para obtener la eficiencia del último caso.

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$15.08 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{15.08 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

$$x = 68.54\%$$

Para la última parte es lógico que se debiera obtener un porcentaje bajo en comparación a los demás, 69% debido a que el panel se encuentra en una posición fija y en dirección hacia el Este; la hora en la cual se anotó el dato (14:00 pm) el sol se orienta hacia el Oeste ya que ha pasado la hora del mediodía entonces el porcentaje corresponde de buena manera a las condiciones de operación.

#### **4.1.3 Datos obtenidos con el panel solar posición fija direccionado en el centro**

Se establecen las mismas condiciones en las cuales se han realizado las pruebas, es decir que los datos serán tomados en un tiempo de cinco horas desde las 09:00 am hasta las 14:00 pm, con un intervalo de veinte minutos para obtener cada dato.

Para este proceso se determina que el panel solar debe permanecer sin el funcionamiento del posicionador automático, de esta manera el prototipo limita su orientación fija hacia el centro con la finalidad de lograr diferencias en cuanto a eficiencia cuando el panel se encuentra posicionado en diferentes enfoques con relación a los rayos del sol.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos mediante el proceso de medición del voltaje de salida en relación con la hora del día.

**Tabla 13.**

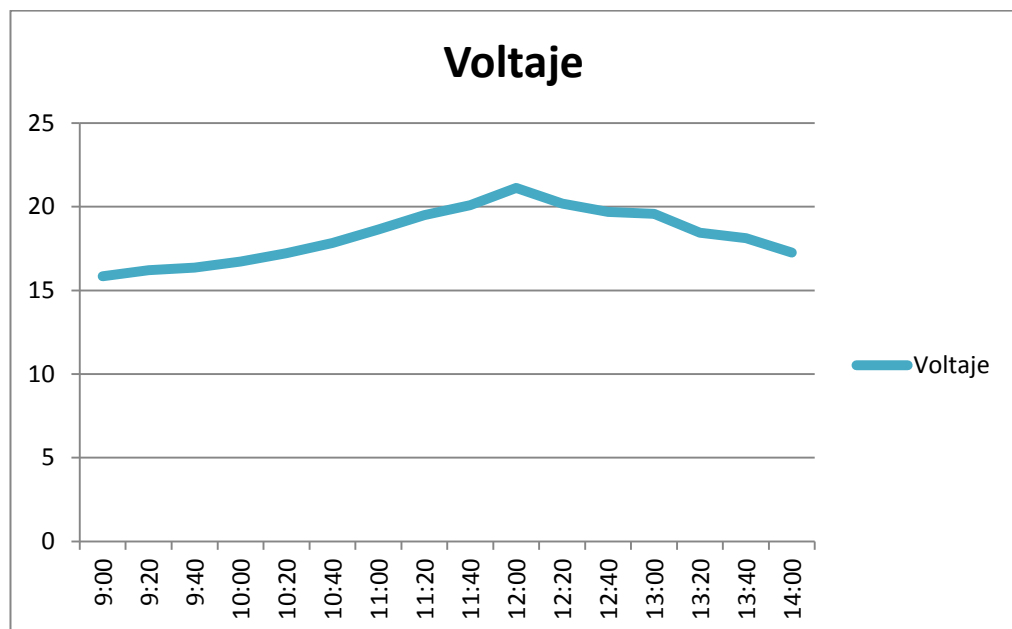
**Tabla de resultados en Hora – Voltaje**

Hora	Voltaje
9:00	15,84
9:20	16,21
9:40	16,36
10:00	16,72
10:20	17,22
10:40	17,84
11:00	18,64
11:20	19,49
11:40	20,08
12:00	21,12
12:20	20,19
12:40	19,69
13:00	19,57
13:20	18,44
13:40	18,11
14:00	17,26

**Nota.** Datos obtenidos en Hora y Voltaje.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

**Gráfico de resultados en Hora - Voltaje**



**Figura 66.** Resultado de los datos obtenidos con el panel orientado hacia el Centro.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí



De acuerdo con los datos obtenidos mediante las mediciones en las pruebas realizadas, es claro afirmar que la mayor influencia de los rayos del sol se produjera en la hora del mediodía puesto que con antelación se sabía que las condiciones en las cuales se encontraba el prototipo daban para tal supuesto.

Para poder determinar diferencias en cuanto a eficiencia se establecen tres parámetros fundamentales de trabajo o de análisis, son aquellos datos que tienen mayor denotación ante los demás; para ello se toman los datos de inicio, el máximo en relación a los demás y el dato de finalización.

Es oportuno reiterar que el cálculo para eficiencia se mide en porcentaje, teniendo como datos que una eficiencia del 100% corresponde a un voltaje máximo de 22 V.

A continuación el análisis para cada uno de los parámetros establecidos:

- El primer parámetro que se debe analizar corresponde al dato obtenido en el inicio de las pruebas, la medida del dato es de 15.84 V a las 09:00 am con estos indicios se procede a realizar la comparación en cuanto a eficiencia sabiendo que el 100% de la misma se da cuando el panel solar tiene en su salida un voltaje de 22 V.

Siguiendo con el procedimiento para calcular la eficiencia del primer dato se lleva a cabo una regla de tres con los siguientes datos:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$15.84 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{15.84 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

$$x = 72\%$$

Según el cálculo elaborado, a 15.84 V el prototipo se encuentra trabajando con una eficiencia del 72% que en relación a la hora del día (09:00 am) y teniendo claro que el panel está posicionado fijo orientado hacia el centro resulta bastante satisfactorio, creando de esta forma gran expectativa hacia el siguiente parámetro.

- En el segundo parámetro se corroboran las grandes expectativas que se tenían para el análisis cuando el voltaje que se obtiene como dato corresponde a la máxima que se pudo intuir 21.12 V a las 12:00 am, de igual forma se sigue el procedimiento para obtener el porcentaje de eficiencia en el prototipo.

Con los datos obtenidos en las pruebas se procede a realizar el cálculo para la eficiencia de trabajo del panel solar:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$21.12 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{21.12 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

$$x = 96\%$$

Mediante el análisis para la obtención de la eficiencia del prototipo con un voltaje en la salida de 21.12 V se determina que se encuentra trabajando con una eficiencia del 96%. En relación con las condiciones de trabajo del panel, satisface las expectativas generadas para este punto ya que el panel fijo orientado hacia el centro obviamente debería tener la más alta eficiencia.

- En lo que respecta al último dato pertenece a un voltaje de 17.26 V a la prueba realizada a las 14:00 pm, es justificable que el voltaje haya descendido en relación con el máximo alcanzado debido a que el sol sigue con su movimiento normal y el panel se encuentra fijo en una posición específica.

Para calcular la eficiencia en un porcentaje se procede a realizar una comparación con los 22 V que es el voltaje máximo del panel solar cuya eficiencia en ese instante es del 100%, de la siguiente forma:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$17.26 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{17.26 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.6)}$$

$$x = 78.45\%$$

Con el resultado obtenido que es del 78% en eficiencia, es posible determinar que pese a que el panel no abarca una radiación solar abundante trabaja en un nivel bastante satisfactorio ya que no ha reducido su trabajo considerablemente. Dada las circunstancias en las que se realiza las pruebas y medición de datos es indiscutible que en este parámetro se obtendrían resultados parecidos.

#### **4.1.4 Datos obtenidos con el panel solar posición fija direccionado hacia el Oeste**

Para el último desarrollo de las pruebas se imponen las mismas condiciones que en las anteriores, con la posición fija del prototipo pero con la diferencia que se encuentra orientado hacia el Oeste. Los datos son tomados en un tiempo determinado del cinco horas con intervalos de veinte minutos entre cada medición, las horas del día van de 09:00 am hasta las 14:00 pm.

Es prudente precisar que el panel solar en todo el tiempo que se recojan los datos permanece en un estado fijo, es decir que no está puesto en marcha aun el posicionador automático.

En la siguiente tabla se presenta los resultados de los datos obtenidos mediante las respectivas mediciones en cada hora del día previamente establecido:

**Tabla 14.**

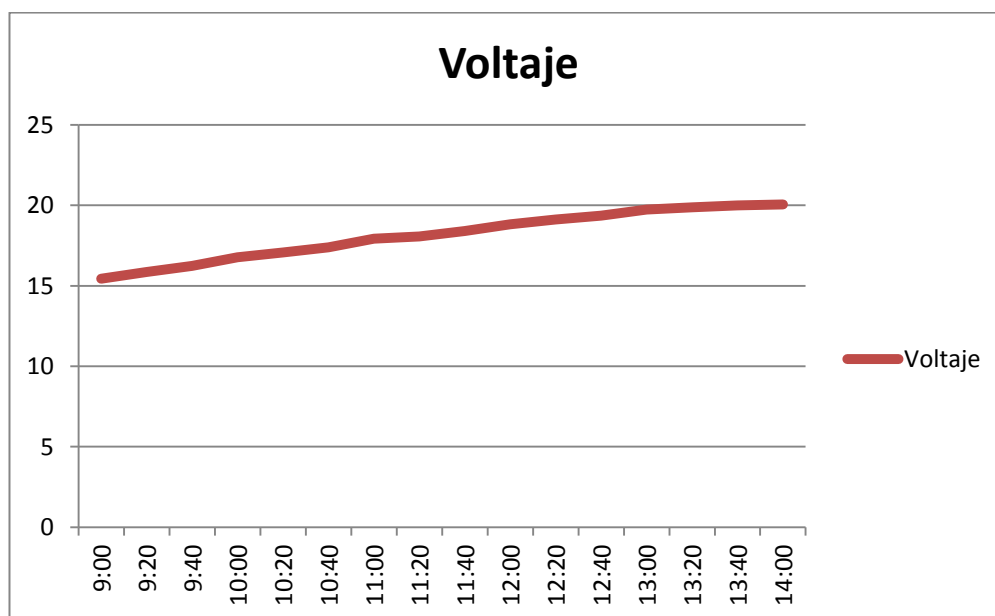
**Tabla de resultados en Hora – Voltaje**

Hora	Voltaje
9:00	15,44
9:20	15,86
9:40	16,24
10:00	16,78
10:20	17,07
10:40	17,39
11:00	17,93
11:20	18,06
11:40	18,41
12:00	18,82
12:20	19,11
12:40	19,36
13:00	19,74
13:20	19,88
13:40	20,00
14:00	20,06

**Nota.** Datos obtenidos en Hora y Voltaje.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

**Gráfico de resultados en Hora - Voltaje**



**Figura 67.** Resultado de los datos obtenidos con el panel orientado hacia el Oeste.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

De acuerdo con los resultados obtenidos, se observa un aumento paulatino hasta llegar al máximo voltaje en la salida del panel solar que es a las 14:00 pm; se

presenta de esta manera debido a que el panel solar se encuentra fijo con una orientación hacia el Oeste.

En la tarde la posición del sol obviamente se encuentra en el Oeste, de este modo los rayos del sol tienen mayor incidencia al lado donde se encuentra posicionado el panel solar.

Para realizar el análisis de los resultados se trabaja con los mismos parámetros 22 V si el prototipo abarca el 100% de la eficiencia, y con los tres datos de mayor incidencia al inicio, el dato con el voltaje máximo medido y el dato final.

A continuación se presenta el análisis para cada dato:

- Para el primer dato que se analiza se tiene como medida un voltaje en la salida del panel solar de 15.44 V a las 09:00 am, el dato obtenido a su vez será analizado creando una diferencia con respecto a los 22 V que es el voltaje máximo del prototipo donde la eficiencia del mismo es del 100% en ese instante.

Con estas premisas se procede a realizar el cálculo para la eficiencia según el dato establecido de la siguiente forma:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$15.44 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{15.44 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.7)}$$

$$x = 70.18\%$$

Luego de realizado el cálculo se establece un porcentaje del 70% para la eficiencia en ese instante del día (09:00 am), este resultado es producto de la posición en la que se encuentra orientado el panel solar que es hacia el Oeste; sin embargo resulta bastante satisfactorio la eficiencia del prototipo.

- La mayor incidencia de los rayos solares se produce a las 14:00 pm cuando el sol se encuentra en una posición dirigida hacia el Oeste de acuerdo a esto el voltaje que se presenta es de 20.06 V que a su vez es el dato máximo

recogido para motivo de análisis con respecto al voltaje tope del panel solar que corresponde a los 22 V trabajando con una eficiencia del 100%.

Cálculo de la eficiencia con el dato máximo determinado:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$20.06 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{20.06 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.9)}$$

$$x = 91.18\%$$

Durante el proceso de medición de datos se obtienen resultados coherentes con la propuesta según la hipótesis a la cual se pretende dar claridad, es por ello que en la búsqueda de la eficiencia máxima se establece que el producto es directamente proporcional a la posición del sol.

Como el panel solar en este caso se encuentra fijo y con una orientación hacia el Oeste, a las 14:00 pm presenta una eficiencia del 91% dato que tiene concordancia a lo propuesto.

- Siguiendo las condiciones propuestas para el análisis, son tres los aspectos porcentuales en eficiencia que se pretende analizar pero en este caso tanto el dato con el mayor voltaje obtenido como el último dato son el mismo; el último dato medido es a las 14:00 pm con un voltaje de 20.06 V.

Con la aclaración hecha cuando el voltaje último medido durante el proceso de pruebas del prototipo es de 20.06 la eficiencia corresponde al 91%.

## **4.2 Panel solar con el posicionador automático**

El presente proceso corresponde al análisis de las pruebas y resultados obtenidos con el sistema de posicionamiento automático en marcha.

En este punto a diferencia del análisis realizado con el posicionador apagado, el prototipo se encuentra con el sistema de posicionamiento automático encendido con

el fin de establecer las diferencias que se encuentran de acuerdo a las pruebas y resultados que se obtengan.

#### **4.2.1 Datos obtenidos del prototipo con el posicionador automático encendido**

Para el desarrollo del análisis se pone en marcha en el prototipo el sistema de posicionamiento automático seguidor de luz solar para hacer las pruebas adecuadas y por medio de ello obtener los resultados y medición de datos.

Para la obtención de los resultados y medición de datos se establecen las mismas condiciones en el proceso, es decir que las pruebas serán realizadas en un tiempo determinado de cinco horas con intervalos de tiempo de veinte minutos para anotar cada dato. El desarrollo de las pruebas empieza desde las 09:00 am hasta las 14:00 pm.

En la siguiente tabla se presentan los resultados y los datos medidos en el proceso de pruebas sobre el prototipo:

**Tabla 15.**

**Tabla de resultados en Hora – Voltaje**

Hora	Voltaje
9:00	20,08
9:20	20,46
9:40	20,66
10:00	20,62
10:20	20,55
10:40	20,88
11:00	21,02
11:20	21,50
11:40	21,50
12:00	21,55
12:20	21,48
12:40	21,18
13:00	20,72
13:20	20,43
13:40	20,22
14:00	20,22

**Nota.** Datos obtenidos en Hora y Voltaje.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

Gráfico de resultados en Hora - Voltaje

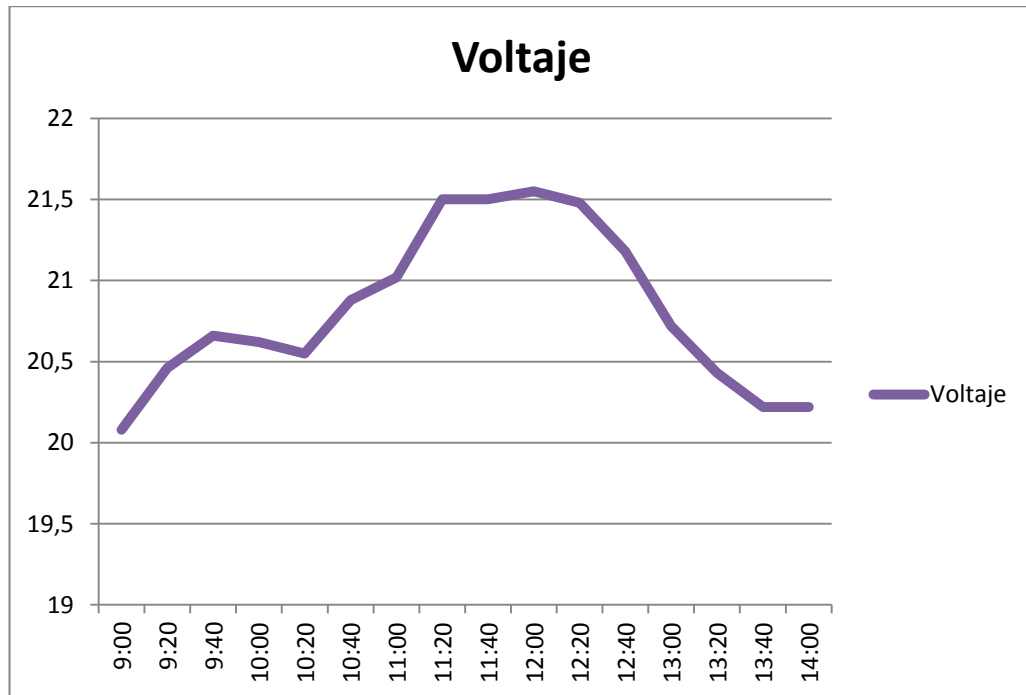


Figura 68. Resultado de los datos obtenidos con el posicionador automático.

Elaborado por: Franklin Llangarí

Según los resultados obtenidos con las pruebas realizadas se observa que existe un aumento considerable y dicho aumento se mantiene constante durante el tiempo establecido para recoger las respectivas mediciones de los datos.

Desde el inicio de las pruebas los datos son bastante altos y su aumento es paulatino, para el análisis se toman tres datos el inicio, el dato máximo y el último dato; para determinar las diferencias que existen entre ellas.

Para motivos de análisis y determinar las diferencias se establecen los siguientes parámetros: como voltaje máximo 22 V con una eficiencia del 100% del prototipo, en base a esto se realiza el análisis para cada dato y de esta manera calcular la eficiencia con al que se trabaja.

A continuación el análisis para cada uno de los parámetros establecidos:

- El primer dato que entra al análisis corresponde a los 20.08 V que es registrado a las 09:00 am, este voltaje será puesto en comparación con el



voltaje máximo del panel solar que es de 22 V para de esta manera calcular el porcentaje de eficiencia con la que trabaja el prototipo.

Con estos indicios se procede a realizar el cálculo correspondiente para obtener la eficiencia así:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$20.08 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{20.08 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.10)}$$

$$x = 91.27\%$$

Según el cálculo realizado el prototipo trabaja con una eficiencia del 91% en las primeras horas de la mañana específicamente a las 09:00 am. El trabajo que desempeña el sistema de posicionamiento automático es orientar al panel solar hacia a la posición del sol, es decir que en las primera horas del día el panel fotovoltaico se orienta hacia el Este que es el movimiento significativo del sol.

- El dato que presenta la mayor incidencia de rayos solar recae al que se midió a las 12:00 am con un voltaje de 21.55 V, de la misma forma en la que se procede con todos los datos en el análisis se establece una comparación con el voltaje máximo del panel solar que es de 22 V para deducir la eficiencia de trabajo del prototipo.

Los datos con los que se cuenta sirven básicamente para obtener mediante un proceso matemático la eficiencia como se presenta a continuación:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$21.55 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{21.55 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.11)}$$

$$x = 97.95\%$$

Por ende el dato que más sobresale corresponde a la máxima eficiencia que se obtiene, cuando el panel solar presenta en la salida un voltaje de 21.55 V la

eficiencia que se calcula es del 98% el que más se aproxima a la eficiencia absoluta.

La función que encomendada al sistema de posicionamiento se cumple a cabalidad ya que al mediodía el panel solar se encuentra posicionado en el centro, captando la mayor cantidad de radiación del sol obteniendo una eficiencia exacta.

- Para finalizar se toma el dato que se ha medido a las 14:00 pm cuando el sol se encuentra posicionado con una dirección hacia el Oeste proporcionado al panel solar en su salida un voltaje de 20.22 V. Para calcular la eficiencia del prototipo cuando el sol se encuentra en dicha orientación se establece una relación directa con el voltaje máximo del panel solar 22V y una eficiencia del 100% en ese instante con el dato proporcionado.

Con las premisas que se cuenta se procede a realizar el cálculo para determinar la eficiencia del prototipo de la siguiente manera:

$$22 \text{ V} = 100\%$$

$$20.22 \text{ V} = x$$

$$x = \frac{20.22 \text{ V} * 100 \%}{22 \text{ V}} \quad \text{Ec. (4.12)}$$

$$x = 91.90\%$$

A las 14:00 pm con el sistema de posicionamiento automático en funcionamiento la eficiencia del panel solar para obtener un voltaje ideal corresponde al 92%. En definitiva los resultados que se obtienen con las pruebas son coherentes ya que de acuerdo al movimiento del sol la eficiencia aumenta o disminuye dependiendo exclusivamente de la captación solar del panel fotovoltaico.

En el presente caso a las 14:00 pm el sol comienza una inclinación dirigida hacia el Oeste y por ello la radiación solar también disminuye gradualmente.

#### **4.2.2 Análisis y contraste de los resultados obtenidos**

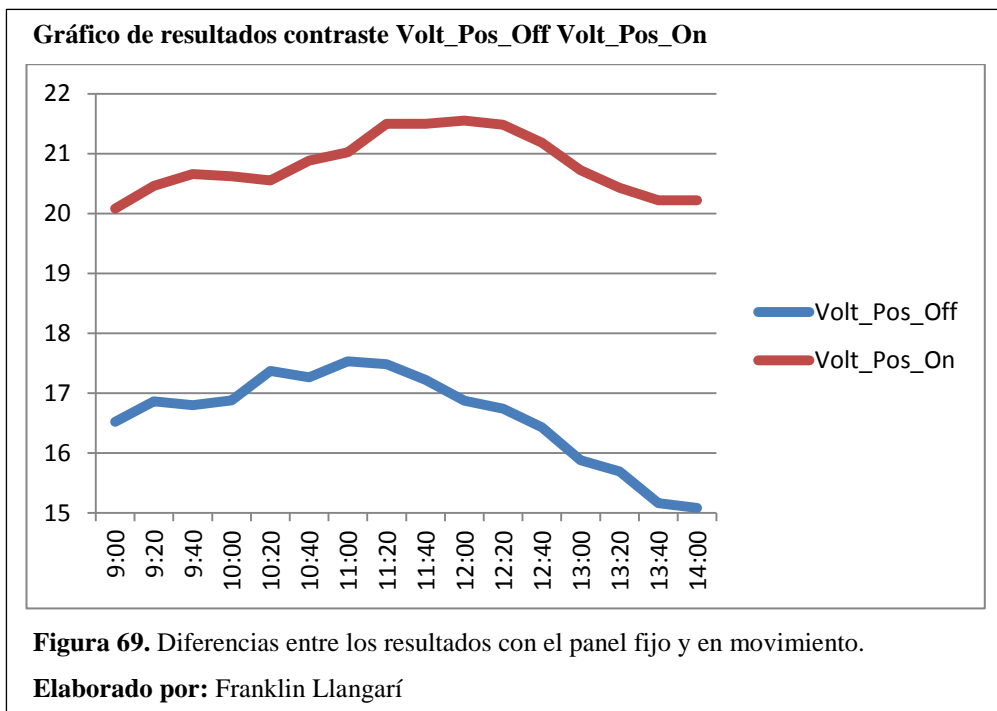
En lo concerniente al análisis con los resultados obtenidos se toma en cuenta los datos con los cuales se trabajó y los cálculos obtenidos mediante el proceso de medición tanto para el posicionador automático apagado como para el posicionador automático encendido, y de esta manera establecer las diferencias que se obtienen.

- Para el primer caso se trabaja con el panel solar en una posición fija y direccionado hacia el Este, según los datos obtenidos mediante las prácticas estableciendo que se toman tres datos el primer dato, el de mayor incidencia solar y el último dato; los resultados en porcentaje que representa a la eficiencia del prototipo son los siguientes: 75 %, 80% y 69% respectivamente para cada dato.

De la misma manera se procede a realizar las prácticas con el sistema de posicionamiento automático encendido, los datos a tener en cuenta cumplen con el mismo parámetro es decir el primer dato, el de mayor captación solar y el último dato; es así que los resultados que se obtienen son: 91%, 98%, y 92% respectivamente.

Es así que estableciendo una diferencia entre usar el sistema de posicionamiento automático y simplemente usar el panel solar para la captación de energía solar en lo que respecta a la eficiencia, es claro que el mayor porcentaje en eficiencia se obtiene con la utilización del sistema de posicionamiento automático el cual rebasa el 90% de la eficiencia. Entonces según lo observado el sistema de posicionamiento automático cumple con lo establecido que es obtener un alto grado de eficiencia en la captación de energía solar.

A continuación se muestra una gráfica con el contraste entre los datos obtenidos cuando está funcionando el posicionador automático y cuando se encuentra en una posición fija orientada hacia el Este.

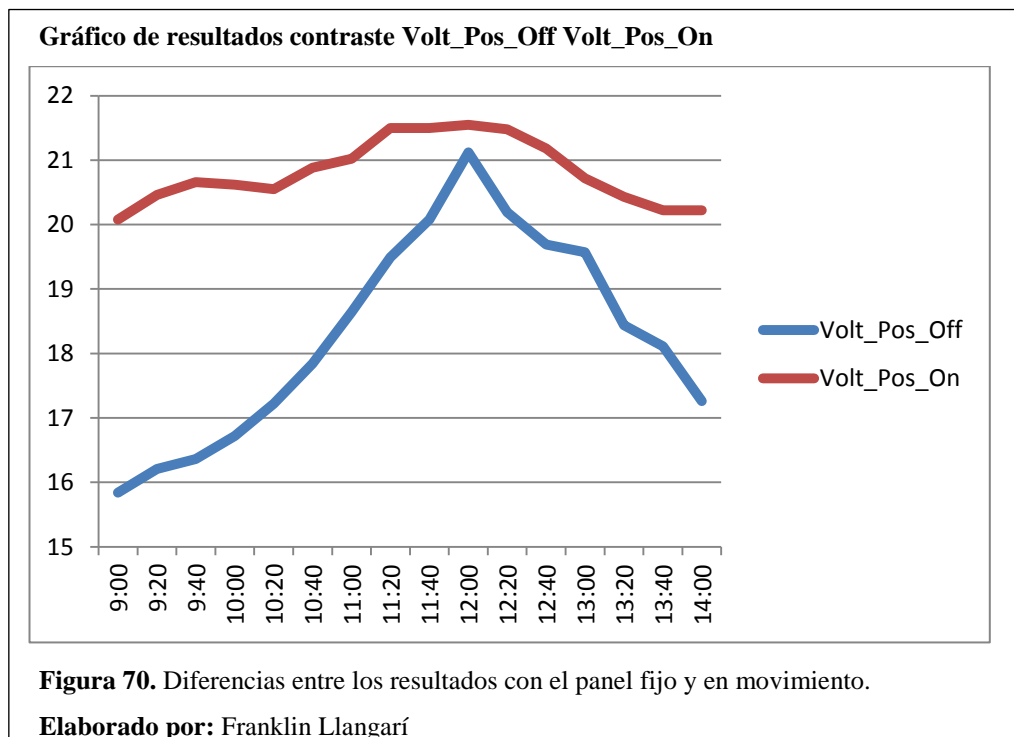


- Para la segunda parte de la práctica se utiliza el panel solar sin la utilización del posicionador automático en una ubicación fija dirigida hacia el centro, con estas condiciones los resultados de los datos a utilizarse son las siguientes: 72%, 96% y 78% en la eficiencia para la captación de los rayos solares.

A diferencia del prototipo con el posicionador automático encendido la eficiencia que se obtiene es notable puesto que sobrepasan del 90% de la eficiencia así: 91%, 98% y 92%.

Estableciendo una relación entre el porcentaje de eficiencia obtenido sin el posicionador automático y con el posicionador automático en funcionamiento, es posible corroborar que la eficiencia es mayor cuando se utiliza en el prototipo el posicionador automático en funcionamiento.

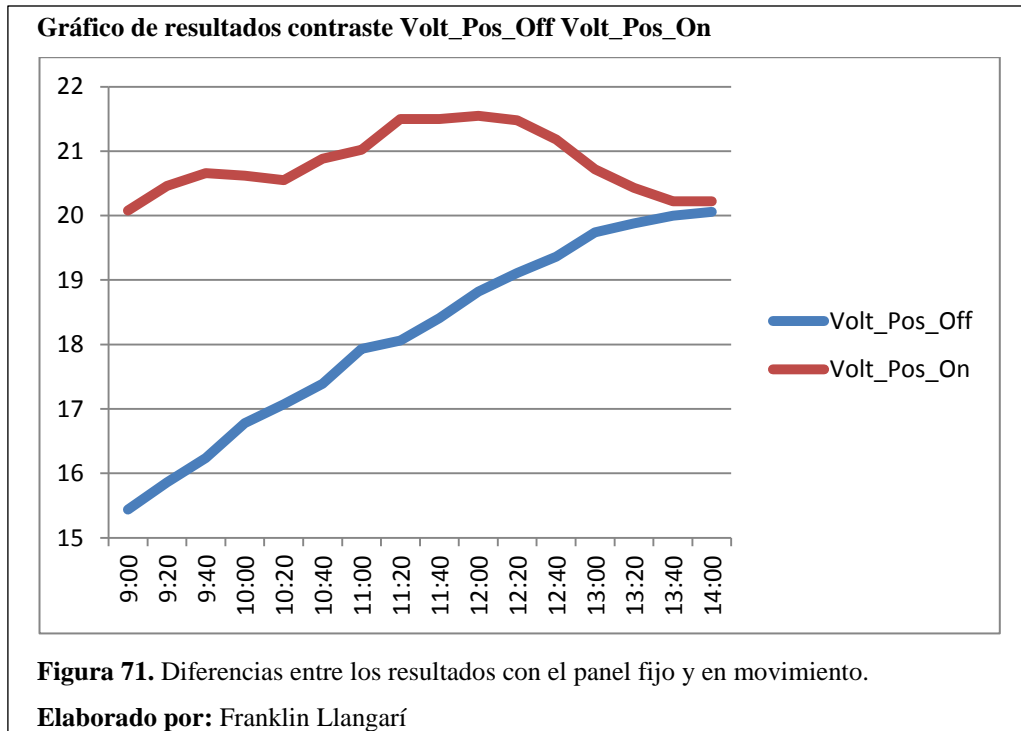
En la siguiente gráfica se demuestra el contraste en los resultados de los datos cuando se pone en marcha el posicionador automático y cuando el mismo se encuentra apagado.



- La última prueba que se realiza corresponde al posicionador automático apagado con una dirección del panel solar fijo orientado hacia el Oeste, con estas condiciones el panel solar capta la radiación del sol únicamente cuando el sol se encuentra en el Oeste, es decir que la mayor eficiencia en la captación de energía solar se presenta al atardecer del día. De acuerdo a ello los tres datos que se toman en cuenta son los siguientes: 70%, 91% y 91% del grado de eficiencia.

Por otra parte cuando el prototipo trabaja con el posicionador automático encendido la eficiencia para captar la radiación solar aumenta considerablemente puesto que su eficiencia no baja del 91%, así: 91%, 98% y 92%.

Estableciendo una diferencia la eficiencia es apreciable ya que cuando el prototipo se encuentra ubicado fijo la eficiencia solamente aumenta cuando el sol se orienta al sentido en el cual está fijado el panel y por otra parte cuando se utiliza el posicionador automático encendido la eficiencia en todo el tiempo es alta.



### 4.3 Aplicación del prototipo

Anualmente del sol emana cuatro mil veces más energía con relación a la que se consume, debido a esto el sol resulta ser una importante fuente de energía con un enorme potencial para el consumo humano. En comparación con la obtención de energía mediante combustibles fósiles, el sol es una fuente de energía renovable más segura y de contaminación nula.

Pese a que en la actualidad la tecnología e infraestructura para el aprovechamiento de la energía solar se encuentra en proceso de desarrollo, esta fuente ya está siendo utilizada en diferentes áreas para la obtención de calor y electricidad.

Hoy por hoy los principales dispositivos que se usan recurriendo a energía solar son los calentadores de agua y las estufas. De la misma manera, dicha fuente de energía renovable se puede utilizar en pequeños aparatos como cargadores, relojes y calculadoras.

La energía solar también puede tener una aplicación bastante satisfactoria en plantas de purificación o destilación de agua, sin tener la necesidad de consumir ningún tipo de combustible. Así mismo, sistemas de lavado y secado industrial aprovechan esta fuente de energía.

Como se puede ver, los usos y aplicaciones que se le puede dar a la energía solar son bastante amplios y con el pasar de los días se siguen descubriendo nuevas tecnologías para su mejor aprovechamiento. Cada vez la humanidad se une a la idea de utilizar la energía solar como fuente de sus actividades, este panorama resulta positivo para el medio ambiente pues se espera la reducción del uso de hidrocarburos y tantos de sus negativos efectos.

#### **4.3.1 Aplicación del prototipo para abastecer de energía con vehículo en movimiento**

Como una prueba adicional para el prototipo se propone medir el voltaje que se obtiene a la salida del panel solar cuando el prototipo es transportado sobre un vehículo. Cabe aclarar que el sistema de posicionamiento automático debe estar funcionando todo el tiempo para observar la respuesta con respecto al movimiento del vehículo.

Los datos deben ser registrados según las distancias que recorre el vehículo, la finalidad de esto es determinar si existen cambios apreciables en la captación de los rayos solares por el panel fotovoltaico.

Para la realización de la práctica se establece un espacio determinado de 10 km, el sector que cumple con las características adecuadas para llevar a buen término la presente práctica es la ruta desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre en Tababela hasta el intercambiador Collas de la Panamericana Norte.

La velocidad del automóvil corresponde a 20 km/h, y teniendo como dato la distancia que va a recorrer 10 km, se puede obtener el tiempo que se demora en dicho trayecto, de la siguiente manera:

Datos:

$D = 10 \text{ km}$

$V = 20 \text{ km/h}$

$$v = \frac{d}{t} \qquad \text{Ec. (4.13)}$$

$$t = \frac{d}{v} \quad \text{Ec. (4.14)}$$

$$t = \frac{10 \text{ km}}{20 \text{ km/h}}$$

$$t = \frac{1}{2} \text{ h}$$

Según el resultado obtenido en tiempo, con una velocidad constante de 20 km/h una distancia de 10 km realiza su recorrido total en ½ hora que en minutos son 30; luego de realizado el cálculo pertinente se estable que los datos serán tomados cada 3 minutos es decir cuando el automóvil recorra cada kilómetro.

Las condiciones en las cuales se realiza la práctica corresponde a una hora determinada del día (10:30 am), el prototipo se debe encontrar sobre una camioneta para que en el recorrido capte la luz solar; y con un multímetro se obtienen los resultados midiendo cada 3 minutos o a su vez cada kilómetro recorrido.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos mediante la práctica, en el cual consta la distancia recorrida, la hora en la que realiza la práctica y la resultante obtenida en voltaje:

**Tabla 16.**  
**Tabla de resultados Práctica**

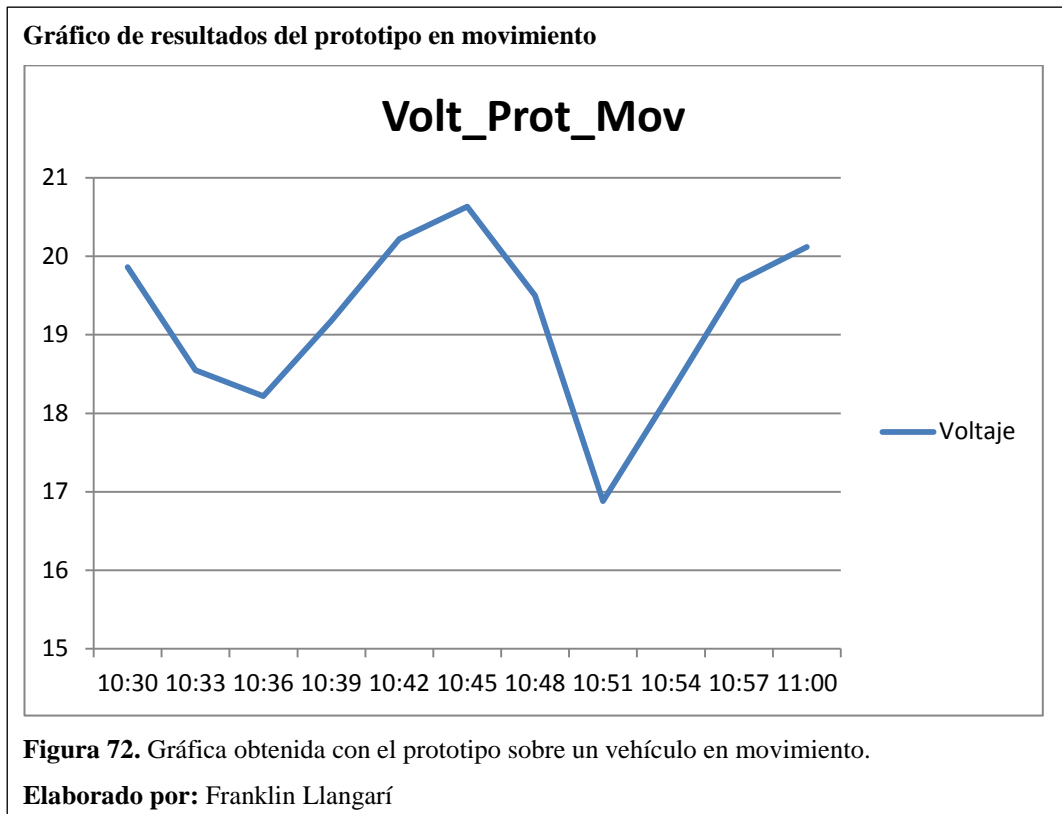
Distancia	Hora	Voltaje
0	10:30	19,86
1	10:33	18,55
2	10:36	18,22
3	10:39	19,18
4	10:42	20,22
5	10:45	20,63
6	10:48	19,50
7	10:51	16,88
8	10:54	18,27
9	10:57	19,68
10	11:00	20,12

**Nota.** Datos obtenidos en Voltaje, Tiempo y Distancia.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí



Dependiendo de la distancia recorrida el voltaje que se obtiene de acuerdo a la captación del sol por el panel fotovoltaico varía, esto se presenta debido a las características de la ruta ya que hay un tramo en el cual el voltaje baja considerablemente, pero en gran parte del recorrido el voltaje es alto y se mantiene constante por lo cual es factible utilizarlo de esta manera al prototipo.



De acuerdo a la gráfica se puede corroborar que en gran parte del recorrido de la ruta, el sistema de posicionamiento automático cumple con la función eficientemente ya que el voltaje se mantiene alto y constante, pero en determinado tramo hay una zona donde el voltaje se ve reducido debido a la obstrucción de radiación sobre el panel.

Para finalizar con la presente práctica a manera de aplicación, se puede formular una pequeña conclusión la cual responde a la posibilidad de utilizar el prototipo de esta manera ya que para aplicaciones pequeñas su función es adecuada, obtiene un voltaje que puede ser empleado para abastecer de energía para cargar baterías, emplearlo para encender algún dispositivo que no requiera de una gran energía.

Y una de las recomendaciones para este tipo de aplicaciones, cuando el prototipo se lo utiliza sobre un vehículo en movimiento para captar la radiación solar se debe

evitar rutas que sean inestables es decir evitar la presencia de perturbaciones ya que el prototipo tiende a presentar tolerancia entre el eje y el motor de pasos.

#### **4.4 Protocolo de mantenimiento para el prototipo**

##### **4.4.1 Protocolo de mantenimiento estructura soporte (prototipo)**

- **Objetivo**

El objetivo del presente procedimiento consiste en:

Describir las diferentes operaciones que se realizan para las revisiones periódicas sobre el mantenimiento preventivo y la asistencia técnica para un mantenimiento correctivo si se presenta el caso necesario, para asegurar su continuo y correcto funcionamiento en circunstancias normales.

- **Periodicidad**

Tanto el mantenimiento preventivo como el mantenimiento correctivo se llevarán a cabo en una fecha programada, lo recomendable es en un intervalo de 4 meses para el procedimiento.

Mantenimiento Preventivo: Corresponde a un examen de la estructura del prototipo, equipos que lo conforman y las conexiones, buscando evitar anomalías e incidencias que puedan provocar un comportamiento imprevisto.

Mantenimiento Correctivo: Es necesario para la corrección en el prototipo, equipos que lo conforman y las conexiones; cuando se detectan averías en los mismos.

- **Procedimiento**

Las operaciones que se tienen presentes para el mantenimiento son aquellas acciones que se tienen que realizar en el prototipo o equipo que se tiene pendiente el mantenimiento.

### Operaciones Mecánicas:

**Inspección general del motor:** Comprobar el buen estado del motor como del componente, el acople mecánico que se encuentra ensamblado.

**Estado del tornillo sin fin:** Examinar detenidamente el estado del tornillo sin fin, evitando que haya basura entre los espacios y lubricando si es necesario.

**Observación estado de rodamiento:** Inspeccionar el funcionamiento del rodamiento y lubricar en caso de que haga falta.

**Limpieza general:** Se debe realizar una adecuada limpieza de todo el prototipo.

**Estado de la estructura carcasa:** Comprobar el buen estado de la estructura metálica observar si existe presencia de óxido.

### Operaciones Eléctricas:

**Limpieza cuadro:** Comprobar ausencia de polvo y elementos ajenos a lo que respecta en la tarjeta control, y en caso de que haya basura proceder a limpiar.

**Ajuste de cables:** Examinar que las conexiones de los cables estén ajustados correctamente.

**Calibración y Estado de fotorresistencias:** Realizar una prueba del control automático basado únicamente con las fotorresistencias para su adecuada calibración.

**Control automático de arranque y prueba:** Realizar una prueba en el arranque para determinar el funcionamiento adecuado del equipo.

**Duración de prueba:** Esta prueba tiene que realizarse durante un tiempo máximo de 7 minutos.

**Tabla 17.**

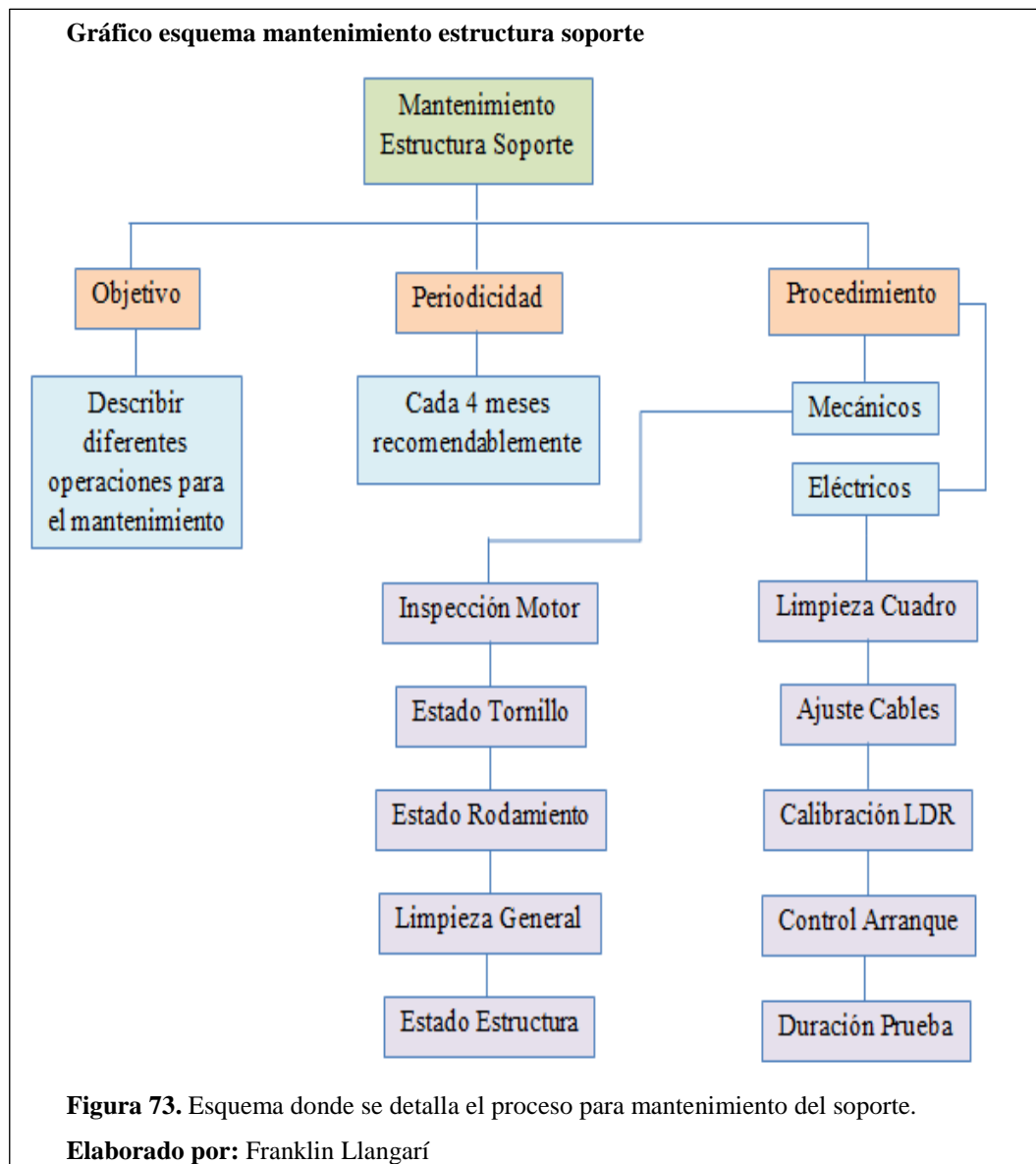
**Tabla protocolo de mantenimiento prototipo**

	Procedimiento	Observación
Mecánicos	Inspección Motor	Comprobar estado del motor
	Estado Tornillo	Examinar tornillo sin fin
	Estado Rodamiento	Lubricar e inspección estado
	Limpieza General	Adecuada limpieza
	Estado Estructura	Presencia de óxido
Eléctricos	Limpieza cuadro	Limpieza de polvo
	Ajuste Cables	Examinar conexiones
	Calibración Fotorresistencias	Prueba control fotorresistencias
	Control Arranque	Prueba del arranque
	Duración de Prueba	Tiempo prueba 7 minutos

**Nota.** Detalle para el protocolo de mantenimiento para el prototipo.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

- Esquema



#### 4.4.2 Protocolo de mantenimiento panel solar (generador voltios)

- **Objetivo**

El presente procedimiento tiene como finalidad:

Conocer el rendimiento del generador de voltios (Panel Fotovoltaico), y puntualizar los distintos pasos a seguir para constatar el buen funcionamiento.

- **Periodicidad**

El mantenimiento necesario se deberá llevar a cabo en una fecha determinada recomendable 2 días previo a la realización de una práctica con el módulo y el posicionar automático.

- **Procedimiento**

El proceso que se debe tener presente para el mantenimiento del panel fotovoltaico son aquellas acciones con las cuales se pueda definir si el rendimiento del dispositivo es el adecuado.

El procedimiento se subdivide en dos partes: las operaciones mecánicas y las operaciones eléctricas.

##### Operaciones Mecánicas:

**Inspección general del panel:** Establecer las condiciones en las cuales se encuentran el panel fotovoltaico.

**Estado de la base del panel:** Examinar exhaustivamente la situación en la que se encuentra la base donde se apoya el panel solar.

**Limpieza del conjunto:** Se debe hacer una limpieza del panel solar recomendable con una esponja humedecida para evitar la presencia de polvo.

**Ajuste entre panel y base:** Realizar ajustes en caso de que el panel y la base no se encuentren alineados correctamente.

## Operaciones Eléctricas:

**Pruebas con voltímetro:** Observar y anotar el rendimiento del panel solar, obteniendo un valor de voltaje en la salida.

**Duración de Pruebas:** El tiempo estimado para la realización de las pruebas para el panel solar es de máximo 10 minutos.

**Evaluación del panel:** Realizar una apreciación del funcionamiento del sistema de posicionamiento, tener en cuenta el tiempo de reacción.

**Estado de cables y ajuste:** Examinar el estado en las conexiones y ajustar en caso de ser necesario.

**Tabla 18.**

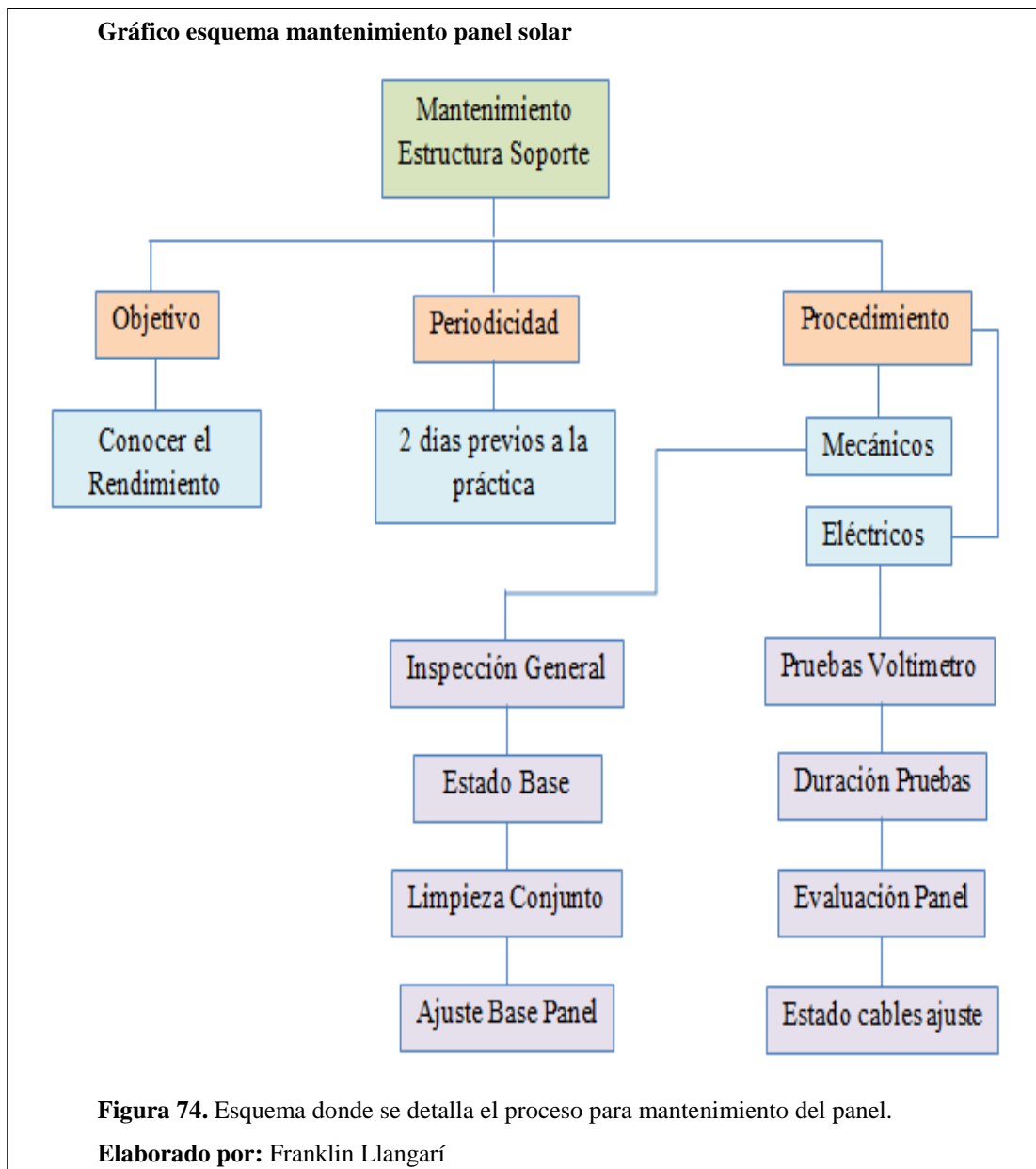
**Tabla protocolo de mantenimiento panel solar**

	Procedimiento	Observación
Mecánicos	Inspección General Panel	Condiciones del Panel
	Estado Base del Panel	Situación de la base del Panel
	Limpieza del conjunto	Limpieza con esponja húmeda
	Ajuste Panel y Base	Correcta alineación
Eléctricos	Pruebas con Voltímetro	Observar rendimiento del panel
	Duración de Pruebas	Máximo 10 minutos
	Evaluación del Panel	Funcionamiento del sistema
	Estado Cables y Ajuste	Estado de conexiones y ajuste

**Nota.** Detalle para el protocolo de mantenimiento del panel solar.

**Elaborado por:** Franklin Llangarí

- **Esquema**



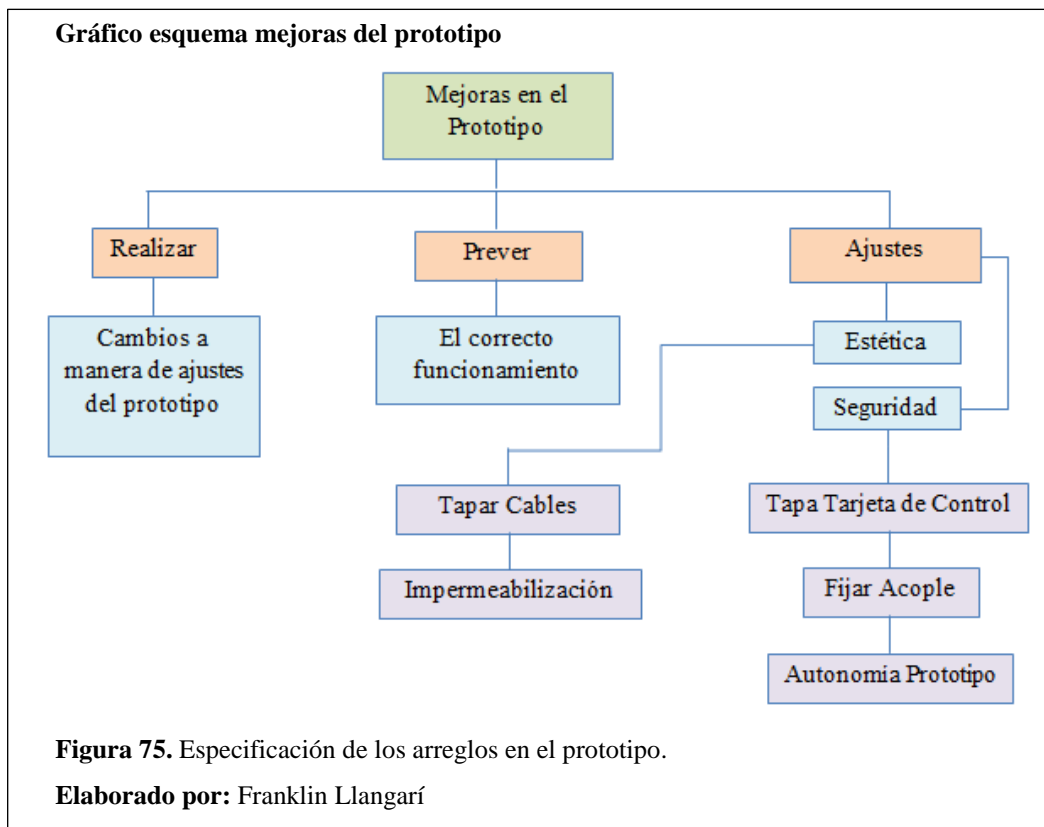


## 4.5 Mejoras del prototipo

### 4.5.1 Cambios realizados al prototipo

Durante una previa presentación del proyecto funcionando se determinó realizar algunos cambios a manera de ajustes, con la finalidad de establecer el correcto funcionamiento del prototipo.

Los cambios que se determinaron son tanto en la parte estética del proyecto como en la seguridad del prototipo, evitando daños por causa de la exposición a la intemperie.



**Figura 75.** Especificación de los arreglos en el prototipo.

**Elaborado por:** Franklin Llangari

## CONCLUSIONES

- Para conocer el funcionamiento del panel solar utilizado en el presente proyecto, que forma parte del prototipo del sistema de posicionamiento automático, se recurrió a un análisis profundo sustentado en las hojas de información y documentación técnica que detallan las características y el funcionamiento que dicho componente realiza.
- Como producto final de la elaboración del proyecto se construyó un prototipo hecho a base de aluminio, estructura robusta que sirve de soporte para el panel solar y los demás componentes del sistema de posicionamiento automático, que en conjunto y coordinado funcionamiento permiten al panel solar orientarse hacia la dirección con mayor radiación del sol.
- Se realizó, en lenguaje C, el programa de control establecido por los conjuntos difusos, mediante el cual los sensores determinan la luminosidad que permite una determinada acción de control ejecutado por el motor de pasos, para el posicionamiento del panel solar en la ubicación con mayor incidencia de los rayos del sol.
- Se desarrolló un análisis, con los resultados de las pruebas realizadas tanto con el sistema de posicionamiento automático apagado, como con el sistema de posicionamiento automático encendido, observando que se genera mayor voltaje en la salida del panel solar con el sistema de posicionamiento automático encendido, esto se puede observar en las gráficas de las figuras (Figura 4-5, Figura 4-6 y Figura 4-7), con ayuda de los datos obtenidos mediante las pruebas también se pudo determinar que la eficiencia máxima para captar los rayos solares se da con el sistema de posicionamiento automático encendido.
- Se hizo una prueba extra con el módulo del sistema de posicionamiento automático transportando la estructura en un vehículo en movimiento obteniendo datos que corroboran que el rendimiento del sistema de posicionamiento automático es satisfactorio cuando el prototipo se encuentra funcionando sobre un vehículo a una determinada velocidad.

- Previo a la utilización del acople mecánico por quijada se realizó un minucioso estudio, ya que se hicieron pruebas con dos bocines pero éstos presentaban un alto grado de tolerancia y por ende el motor de pasos tenía dificultad para moverse, comprobando que los bocines no son ideales para el sistema.
- Se desarrolló un breve compendio del protocolo de mantenimiento que se debe llevar a cabo como medida de prevención y corrección en caso de ser necesario, con la finalidad de obtener el mejor rendimiento del prototipo.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que para proyectos futuros se logre implementar la comunicación vía USB, con lo cual se lograría reducir los tiempos para determinados procesos de control, puesto que se podría utilizar un software mediante el cual se puedan leer datos en tiempo real y dicha información pueda ser utilizada para determinar la eficiencia del módulo.
- Para realizar pruebas es importante saber que el prototipo de sistema de posicionamiento automático tiende a presentar tolerancia en el eje del tornillo sin fin cuando existe presencia de perturbaciones como movimientos bruscos, o en lugares donde la geografía del suelo es inestable.
- Durante el desarrollo de la lógica difusa para los conjuntos difusos se recomienda hacer una lista de las variables que se toman en cuenta, ya que son necesarias para el control del sistema de posicionamiento automático, de esta manera se podría evitar errores comunes que se presentan como la confusión al momento de realizar la combinación de reglas y al realizar el modelo matemático para establecer las ecuaciones de los conjuntos difusos.
- Es recomendable elaborar una lista de elementos y equipos a manera de una breve caracterización, que son disponibles para el desarrollo de prácticas con el prototipo ya que varios componentes agrupados dificultan distinguir la función específica que cumplen.
- Para evitar cualquier daño o dificultad con alguno de los componentes que conforman el prototipo del sistema de posicionamiento automático se recomienda, examinar las conexiones apoyándose en los esquemas eléctricos y electrónicos antes de encender el sistema.

## LISTA DE REFERENCIAS

- [1] DÁVILA Armando, *Diseño y construcción de un control difuso de lazo cerrado de temperatura mediante el microcontrolador 18F452 para los laboratorios de teoría de control de la Universidad Politécnica Salesiana*, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2013
- [2] GARCÍA SERRANO Alberto, *Inteligencia Artificial. Fundamentos, práctica y aplicaciones*, 1ra. Edición, Editorial RC Libros, Madrid, 2012
- [3] GARCÍA Eduardo, *Compilador C CCS y simulador Proteus para microcontroladores PIC*, 1ra. Edición, Editorial Alfaomega, México D.F., 2008
- [4] LÓPEZ Andrés, *Manual de usuario del compilador PCW de CCS*, [Consultado el 17 de enero del 2013.]  
<http://www.sandorobotics.com/attachments/CCSSPANISH.pdf>
- [5] LOVEJOY, *Tipo L- Acopiamientos de mordaza estándar*, [Consultado el 1 de mayo del 2012.]  
[http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material\\_asignaturas](http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material_asignaturas)
- [6] MENDOZA Eduardo, CHACÓN Luis, *Aplicación de lenguaje C para microcontroladores y visual C# en el desarrollo de un sistema de control de acceso peatonal*, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2007
- [7] RUSSELL Stuart, NORVING Peter, *Inteligencia Artificial un enfoque moderno*, 2da. Edición, Editorial Pearson Educación, Madrid, 2009
- [8] SUNFIELDS, *Sistema fotovoltaico autónomos*, [Consultado el 18 de julio del 2013.]  
<http://www.sfe-solar.com/calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos/>
- [9] s/a, *Control de motores paso a paso mediante microcontroladores*, [Consultado el 21 marzo del 2013.]  
<http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lсед/2002-03/MotoresPasoapaso/Motorespasoapaso.pdf>
- [10] s/a, *Funciones de pertenencia*, [Consultado el 16 de noviembre del 2012.]  
<http://www.dma.fi.upm.es/java/fuzzy/tutfuzzy/contenido3.html>

## ANEXOS

### ANEXO 1

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PANEL SOLAR 50P

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

Parámetros	Tipo	50P
		Silicio Poli cristalino
Potencia máxima (watt)	W	50
Tolerancia de potencia		+3% /-3%
Voltaje óptima (Vmp)	V	17.5V
Corriente óptima (Imp)	A	2.86A
Voltaje máxima (Voc)	V	22.0V
Corriente máxima (Isc)	A	3.07A
Dimensiones		670*620*35mm
Marco (tipo, material y grosor)		Aluminium anodizado. Alloy 35mm
Voltaje máxima externa permitida		600V
Coefficiente de temperatura de Isc		±0.05%
Coefficiente de temperatura de Voc		-0.33%
Coefficiente de temperatura de P		-0.23%
Coefficiente de temperatura de Imp		+0.08%
Coefficiente de temperatura de Vmp		-0.33%
Resistencia a cargas mecánicas		200kg/m2
Eficiencia de conversión		> 15.75%

Nota: Las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de pruebas: 1 KV/m2, masa de aire: 1.5 y células 25°C.

## ANEXO 2

### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL LDR 20 mm Ø GL20537-1

spe	tipo	la máxima de tensión	la máxima power	del medio ambiente la temperatura	la luz la resistencia (10lux)	oscuro la resistencia (m& omega;)	& gamma; <sup>100,10</sup>	Tiempo de respuesta( ms)	
								aumentar	disminuir
& phi;20 de la serie	gl20516	500	500	- 30~+70	5~10	1	0.6	30	30
	gl20528	500	500	- 30~+70	10-20	2	0.6	30	30
	Gl20537-1	500	500	- 30~+70	20-30	3	0.7	30	30
	Gl20537-2	500	500	- 30~+70	30-50	5	0.7	30	30
	gl20539	500	500	- 30~+70	50-100	8	0.8	30	30

ANEXO 3

DATOS TÉCNICOS DEL ACOPLAMIENTO MORDAZA LOVEJOY L/AL050



**Jaw**

**Performance Data**

**Spider Performance Data**

**Chart 2**

Characteristics	Temperature Range	Misalignment		Shore Hardness <sup>1</sup>	Dampening Capacity	Chemical Resistance <sup>2</sup>	Color
		Angular Degree	Parallel Inch				
SOX (NBR) Rubber – Nitrile Butadiene (Buna N) Rubber is a flexible elastomer material that is oil resistant, resembles natural rubber in resilience and elasticity and operates effectively in temperature range of -40° to 212° F (-40° to 100° C). Good resistance to oil. Standard elastomer. (Also applies to SXB Cushions.)	-40° to 212° F -40° to 100° C	1°	.015	80A	HIGH	GOOD	BLACK
URETHANE – Urethane has greater torque capability than NBR (1.5 times), provides less dampening effect, and operates at a temperature range of -30° to 160° F (-34° to 71° C). Good resistance to oil and chemicals. Not recommended for cyclic or start/stop applications.	-30° to 160° F -34° to 71° C	1°	.015	55D L050-L110 90-95A L150-L225	LOW	VERY GOOD	BLUE
HYTREL® – Hytrel is a flexible elastomer designed for high torque and high temperature operations. Hytrel can operate in temperatures of -60° to 250° F (-51° to 121° C) and has an excellent resistance to oil and chemicals. Not recommended for cyclic or start/stop applications.	-60° to 250° F -51° to 121° C	1/2°	.015	55D	LOW	EXCELLENT	TAN
BRONZE – Bronze is a rigid, porous oil-impregnated metal insert exclusively for slow speed (maximum 250 RPM) applications requiring high torque capabilities. Bronze operations are not affected by extreme temperatures, water, oil, or dirt.	-40° to 450° F -40° to 232° C	1/2°	.010	—	NONE	EXCELLENT	BRONZE

Notes: ■ 1 indicates: NBR standard shore hardness is 80A±5A – Except L035=60A. Other softer or harder designs are available in NBR material; consult Lovejoy.  
 ■ 2 indicates: Chemical Resistance chart shown in Engineering Data Section (page ED-9).

**Jaw Nominal Rated Torque Data**

**Chart 3**

Size	Max Bore		Spider Material							
	in	mm	SOX (NBR) Torque		Urethane Torque		Hytrel Torque		Bronze Torque	
			in-lbs	Nm	in-lbs	Nm	in-lbs	Nm	in-lbs	Nm
L035	0.375	9	3.5	0.4	—	—	—	—	—	—
L/AL050	0.625	16	26.3	3.0	39	4.5	50	5.60	50	5.60
L/AL070	0.750	19	43.2	4.9	65	7.3	114	12.90	114	12.90
L/AL075	0.875	22	90.0	10.2	135	15.3	227	25.60	227	25.60
L/AL090	1.000	25	144.0	16.3	216	24.4	401	45.30	401	45.30
L/AL095	1.125	28	194.0	21.9	291	32.9	561	63.40	561	63.40
L/AL099	1.188	30	318.0	35.9	477	53.9	792	89.50	792	89.50
L/AL100	1.375	35	417.0	47.1	626	70.7	1,134	128.00	1,134	128.00
L/AL110	1.625	42	792.0	89.5	1,188	134.0	2,268	256.00	2,268	256.00
L150	1.875	48	1,240.0	140.0	1,860	210.0	3,708	419.00	3,708	419.00
AL150	1.875	48	1,450.0	163.8	—	—	—	—	—	—
L190	2.125	55	1,728.0	195.0	2,592	293.0	4,680	529.00	4,680	529.00
L225	2.625	65	2,340.0	264.0	3,510	397.0	6,228	704.00	6,228	704.00
L276	2.875	73	4,716.0	533.0	—	—	—	—	12,500	1,412.00
C226	2.500	64	2,988.0	338.0	—	—	5,940	671.00	5,940	671.00
C276	2.875	73	4,716.0	533.0	—	—	9,432	1,066.00	—	—
C280	3.000	76	7,560.0	854.0	—	—	13,866	1,567.00	—	—
C285	4.000	102	9,182.0	1,038.0	—	—	16,680	1,882.00	—	—
C295	3.500	89	11,340.0	1,281.0	—	—	22,680	2,563.00	22,680	2,563.00
C2955	4.000	102	18,900.0	2,136.0	—	—	37,800	4,271.00	37,800	4,271.00
H3067	4.500	114	33,395.0	3,774.0	—	—	47,196	5,333.00	47,196	5,333.00
H3567	5.000	127	46,632.0	5,269.0	—	—	63,000	7,119.00	63,000	7,119.00
H3667	5.629	143	64,812.0	7,323.0	—	—	88,200	9,966.00	88,200	9,966.00
H4067	6.250	159	88,224.0	9,969.0	—	—	126,000	14,237.00	126,000	14,237.00
H4967	7.000	178	119,700.0	13,525.0	—	—	170,004	19,209.00	170,000	19,209.00

Note: ■ Bronze has a maximum RPM capability of 250 RPM.

[www.lovejoy-inc.com](http://www.lovejoy-inc.com)





# Jaw L Type Spiders / Hub Spline Bores Item Selection

JW

### L Type Coupling

- Sizes range from L035 to L0276
- Ordering requires selecting UPC numbers for two standard L hubs and one standard open or solid center elastomer (spider)

### SW Type Coupling

- Sizes range from L090 to L190
- Ordering requires selecting UPC numbers for two standard L hubs and one snap wrap spider with snap ring
- Both L and SW Type couplings, select hubs from the standard bore and keyway chart (pages JW-11 and JW-12) maximum RPM for SW + Ring is 1,750 RPM
- LC coupling uses a snap wrap spider with a collar instead of a retaining ring

### Jaw In-Shear Coupling

- Ordering requires selecting item numbers for two standard hubs, one In-Shear elastomer and one In-Shear ring. See pages JIS-1 through JIS-4



**L Type Spider UPC Number Selection Table**

Spider Type	Coupling Size										
	L035	L050	L070	L075	L090/095	L099/100	L110	L150	L190	L225	L276
SOX (NBR) (Solid)	10118	10194	10406	10621	11070	11494	11724	12001	12274	12409	—
SOX (NBR) (open center)	—	—	10393	10620	10968	11492	11711	37880	37881	12406	12612
Urethane (Solid)	—	37786	10395	—	—	—	—	—	—	12417	—
Urethane (open center)	—	—	10411	10626	11075	11499	11729	12006	12280	—	—
Hytrel® (Solid)	—	25307	—	—	—	—	11717	11993	12265	12401	—
Hytrel® (open center)	—	—	25308	25309	25310	11486	38097	38098	38099	12400	—
Bronze (open center)	—	10198	10409	10624	11073	11497	11727	12004	12277	34517	25767
Snap Wrap (NBR) w/ring	—	—	—	—	24669	24670	24671	24672	24673	—	—
Snap Wrap (NBR) w/o ring	—	—	—	—	11071	11495	11725	12002	12275	—	—
SOX (NBR) Bulk - pk 25	50115	50116	50117	50118	50119	—	—	—	—	—	—
SOX (NBR) Bulk - pk 10	—	—	—	—	—	51020	50121	50122	—	—	—
Snap Wrap Urethane - solid ring	—	—	—	—	—	41170	41171	—	28284	26093	—
In-Shear Elastomer	—	—	—	—	67576	67577	67578	67579	67580	68559	67581
In-Shear Ring	—	—	—	—	67584	67585	67586	67587	67588	68560	67589

Note: ■ When referencing the Lovejoy UPC number in this table, include 685144 as a prefix to the number shown.

**L Type Hub - Spline Bore UPC Number Selection Table**

Teeth	Pitch	SAE	Spline Bore Diameters		Major Dia	Coupling Size								
			Major	Minor		L090	L095	L099	L100	L110	L150	L190	L225	L276
9	16/32	A	0.651	0.509	0.625	38568	37900	38571	37904	—	—	—	—	—
11	16/32		0.776	0.631	0.750	38569	37901	38572	37905	37909	37917	37925	—	—
13	16/32	B	0.901	0.754	0.875	38570	37902	38573	37906	37910	37918	37926	37935	—
13	8/16	D, E	1.798	1.506	1.750	—	—	—	—	37915	37923	37931	37940	38576
14	12/24	C	1.289	1.087	1.250	—	—	—	—	37912	37920	37928	37937	38577
15	16/32	BB	1.026	0.877	1.000	—	—	38574	37907	37911	37919	37927	37936	38578
21	16/32		1.401	1.250	1.375	—	—	—	—	37913	37921	37929	37938	—
23	16/32		1.526	1.375	1.500	—	—	—	—	37914	37922	37930	37939	—
27	16/32		1.776	1.625	1.750	—	—	—	—	37916	37924	37932	37941	38579
15	8/16	F	2.048	1.753	2.000	—	—	—	—	—	—	37933	37942	—

- Notes: ■ All pressure angles on above splines = 30°. Class 5 fit is standard, unless otherwise specified.  
 ■ All stock spline bore hubs are supplied standard with Lovejoy's exclusive L-LOC Clamping Feature. See page T-7 for description.  
 ■ When referencing the Lovejoy UPC number in this table, include 685144 as a prefix to the number shown.



# Jaw L Type Inch Bore / Keyway Item Selection

The L Type coupling consists of two standard L Type hubs and one spider. Refer to pages JW-11, JW-12, and JW-10.



JW

Bore	Keyway	L035	L050	L070	L075	L090	L095	L099	L100	L110	L150	L190	L225	L276
1/8	No Keyway	10124	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3/16	No Keyway	10126	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1/4	No Keyway	10127	10206	10416	10680	10766	--	--	--	--	--	--	--	--
1/4	1/8 x 1/16	--	--	--	35744	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5/16	No Keyway	10128	10207	10417	10681	26209	--	--	--	--	--	--	--	--
3/8	No Keyway	24887	10208	10418	10682	10767	--	--	--	--	--	--	--	--
3/8	3/32 x 3/64	--	46121	41985	37234	37235	--	--	--	--	--	--	--	--
3/8	1/8 x 1/16	--	44136	48829	35745	37236	--	--	--	--	--	--	--	--
7/16	No Keyway	--	10209	10419	10683	10768	11082	31297	11505	--	--	--	--	--
7/16	3/32 x 3/64	--	44713	44007	26089	28877	27613	36198	37237	--	--	--	--	--
7/16	1/8 x 1/16	--	--	44066	26875	28878	28879	36199	37238	--	--	--	--	--
1/2	No Keyway	--	10210	10420	10684	10769	11083	11333	11506	--	--	--	--	--
1/2	1/8 x 1/16	--	10211	10421	10685	26087	26088	11334	26089	--	--	--	--	--
9/16	No Keyway	--	10212	52338	10686	24976	37239	11335	11508	--	--	--	--	--
9/16	1/8 x 1/16	--	10213	10423	10687	28876	11084	38200	11509	--	--	--	--	--
5/8	No Keyway	--	10214	24771	44322	46052	41911	44174	44291	11733	12101	--	--	--
5/8	5/32 x 5/64	--	--	51104	37240	37241	37242	38201	37243	37244	37245	--	--	--
5/8	3/16 x 3/32	--	--	10424	10688	10771	11085	11336	11510	26211	26212	--	--	--
11/16	3/16 x 3/32	--	--	10425	10689	10772	11086	11337	11511	11734	12102	--	--	--
3/4	No Keyway	--	--	46116	56140	54282	56887	49705	45212	--	--	12285	12432	--
3/4	1/8 x 1/16	--	--	51719	35881	37246	37074	38202	37247	37248	37249	37250	--	--
3/4	3/16 x 3/32	--	--	10426	10690	10773	11087	11338	11512	11735	12103	38468	35882	--
13/16	3/16 x 3/32	--	--	--	10691	10774	11088	11339	11513	11736	12104	37252	37255	--
7/8	No Keyway	--	--	--	56941	--	--	59063	--	--	--	--	--	12582
7/8	3/16 x 3/32	--	--	--	10692	10775	11089	11340	11514	11737	12105	12286	12433	12585
7/8	1/4 x 1/8	--	--	--	--	36188	35747	38203	35686	35749	35750	37256	35753	54883
15/16	1/4 x 1/8	--	--	--	--	32332	11090	11341	11515	11738	12160	12287	12434	--
1	1/4 x 1/8	--	--	--	--	31296	11091	11342	11516	11739	12107	12288	12435	12586
1	3/16 x 3/32	--	--	--	--	37257	37258	38204	37259	37260	37261	37262	37263	--
1-1/16	1/4 x 1/8	--	--	--	--	--	11092	11343	11517	11740	12108	12289	12436	--
1-1/8	1/4 x 1/8	--	--	--	--	--	11093	11344	11518	11741	12109	12290	12437	12587
1-3/16	1/4 x 1/8	--	--	--	--	--	--	11345	11519	11742	12110	12291	12438	--
1-1/4	1/4 x 1/8	--	--	--	--	--	--	--	11520	11743	12111	12292	12439	12588
1-1/4	5/16 x 5/32	--	--	--	--	--	--	35748	35752	35751	37294	35754	12589	--
1-5/16	5/16 x 5/32	--	--	--	--	--	--	11521	11744	12112	12293	26090	--	--
1-3/8	5/16 x 5/32	--	--	--	--	--	--	11522	11745	12113	12294	12430	12590	--
1-3/8	3/8 x 3/16	--	--	--	--	--	--	44348	37265	37266	37267	37568	46758	--
1-7/16	3/8 x 3/16	--	--	--	--	--	--	--	11746	12114	12295	12431	12591	--
1-1/2	5/16 x 5/32	--	--	--	--	--	--	--	37269	37270	37271	37272	--	--
1-1/2	3/8 x 3/16	--	--	--	--	--	--	--	11747	12115	12296	12432	12592	--
1-9/16	3/8 x 3/16	--	--	--	--	--	--	--	11748	12116	37273	12433	45689	--
1-5/8	3/8 x 3/16	--	--	--	--	--	--	--	11749	12117	12297	12434	12593	--
1-11/16	3/8 x 3/16	--	--	--	--	--	--	--	--	12118	12298	12435	60057	--
1-3/4	3/8 x 3/16	--	--	--	--	--	--	--	--	12119	12299	13436	12594	--
1-3/4	7/16 x 7/32	--	--	--	--	--	--	--	--	37274	37275	37276	48250	--
1-13/16	1/2 x 1/4	--	--	--	--	--	--	--	--	12120	12300	26091	--	--
1-7/8	1/2 x 1/4	--	--	--	--	--	--	--	--	12121	12301	12437	12595	--
1-15/16	1/2 x 1/4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12302	12438	46762	--
2	1/2 x 1/4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12303	12439	12596	--
2-1/16	1/2 x 1/4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12304	26092	--	--
2-1/8	1/2 x 1/4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12305	12440	12597	--
2-3/16	1/2 x 1/4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12441	12598	--
2-1/4	1/2 x 1/4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12442	12599	--
2-3/8	5/8 x 5/16	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12443	12602	--
2-5/8	5/8 x 5/16	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	41809	12605	--
2-7/8	3/4 x 3/8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	12607	--

Notes: ■ Tolerances for bore and keyways are found in Engineering Data section (pages ED-10 and ED-11). All hubs supplied standard with one set screw.  
 ■ Non-standard bores available – consult Lovejoy Engineering.  
 ■ When referencing the Lovejoy UPC number in this table, include 685144 as a prefix to the number shown.



# Jaw L Type Metric Bore / Keyway Item Selection

JW

The L Type coupling consists of two standard L Type hubs and one spider. Refer to pages JW-10, JW-12, and JW-10.



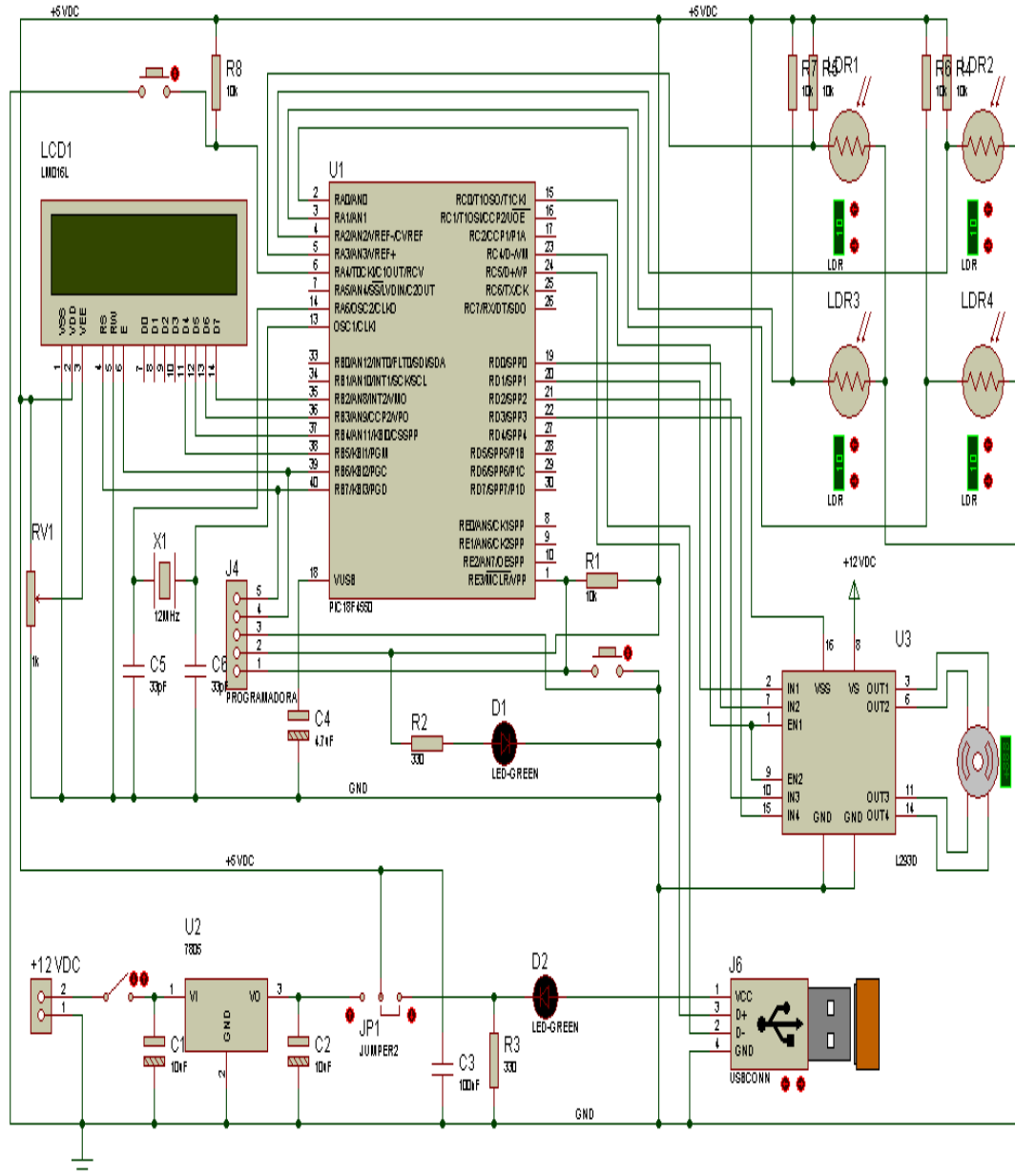
L Type Hub - Metric Bore and Keyway UPC Number Selection Table

Bore	Keyway	L035	L050	L070	L075	L090	L095	L099	L100	L110	L150	L190	L225	L276
4	No Keyway	41850	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	No Keyway	47419	48214	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	No Keyway	45872	50351	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	No Keyway	60679	10215	58803	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	No Keyway	55169	41460	46151	—	60945	—	—	—	—	—	—	—	—
9	3 x 1.4	—	41313	56177	44298	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	No Keyway	—	10216	41452	41456	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	3 x 1.4	—	41450	49870	41457	52828	—	—	—	—	—	—	—	—
11	4 x 1.8	—	41314	41453	50811	—	49424	—	—	—	—	—	—	—
12	No Keyway	—	48510	51562	—	48276	—	—	—	—	—	—	—	—
12	4 x 1.8	—	41315	41454	44153	44329	44832	—	55195	—	—	—	—	—
14	No Keyway	—	58036	47505	—	41461	41465	—	—	—	—	—	—	—
14	5 x 2.3	—	41316	41317	41321	51231	41466	60094	45101	—	—	—	—	—
15	No Keyway	—	60708	—	10693	—	48561	52697	41469	—	—	—	—	—
15	5 x 2.3	—	41451	41455	41454	52096	45778	46972	47123	—	—	—	—	—
16	5 x 2.3	—	56176	41318	41322	49198	41325	52098	55534	52092	52471	—	—	—
17	5 x 2.3	—	—	45333	49398	—	49704	—	56178	60067	60156	—	—	—
18	6 x 2.8	—	—	59724	41884	46433	46626	44647	41926	44288	—	—	—	—
19	No Keyway	—	—	—	—	10777	—	—	—	41471	—	—	—	—
19	6 x 2.8	—	—	41319	41323	41462	41326	44157	14329	49700	48821	46717	—	—
20	6 x 2.8	—	—	—	41459	41925	41467	47122	52093	41804	61218	61497	—	—
22	6 x 2.8	—	—	—	58246	41968	44827	41959	44467	45214	44720	—	—	—
24	8 x 3.3	—	—	—	—	41463	41327	41990	41330	48301	48182	59109	—	—
25	8 x 3.3	—	—	—	—	41464	41468	45055	41470	41906	46751	52153	—	—
28	No Keyway	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56179	56182	—	—
28	8 x 3.3	—	—	—	—	—	41328	50103	41331	41333	45679	52976	—	—
30	8 x 3.3	—	—	—	—	—	—	47132	48317	45681	41738	44471	48982	—
32	No Keyway	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41472	41473	48319	56232
32	10 x 3.3	—	—	—	—	—	—	—	—	41334	41873	45562	41849	41885
35	No Keyway	—	—	—	—	—	—	—	41332	—	56180	56183	56184	—
35	10 x 3.3	—	—	—	—	—	—	—	—	45682	46562	58035	52197	—
38	10 x 3.3	—	—	—	—	—	—	49925	41335	41337	41474	49684	52961	—
40	12 x 3.3	—	—	—	—	—	—	—	45683	48318	48320	49605	59308	—
42	12 x 3.3	—	—	—	—	—	—	—	—	41336	41338	41475	47492	45609
45	14 x 3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	45102	56017	52674	50292
48	No Keyway	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56181	—	—	—
48	14 x 3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56227	48322	47569	61202
50	No Keyway	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56228	56230	56233
50	14 x 3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44392	48797	45062
55	No Keyway	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56229	56231	56234
55	16 x 4.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	47006	44089	56067
60	No Keyway	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56185	56235
60	18 x 4.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44598	56236
65	No Keyway	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56237
65	18 x 4.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	56544	50102
70	20 x 4.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	58268

Notes: ■ Tolerances for bore and keyways are found in Engineering Data section (page ED-17 and ED-18). All hubs supplied standard with one set screw.  
 ■ Non-standard bores available – consult Lovejoy Engineering.  
 ■ When referencing the Lovejoy UPC number in this table, include 685144 as a prefix to the number shown.

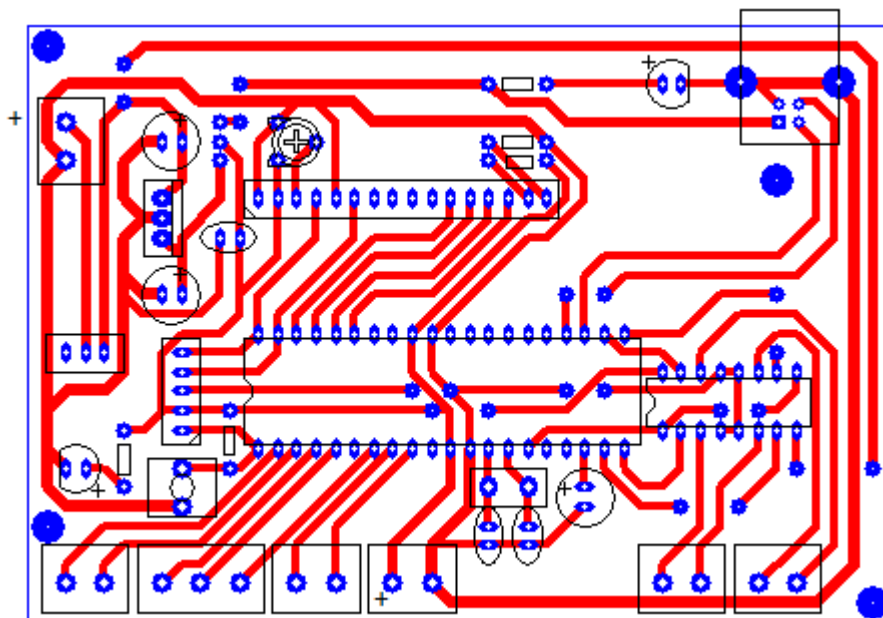
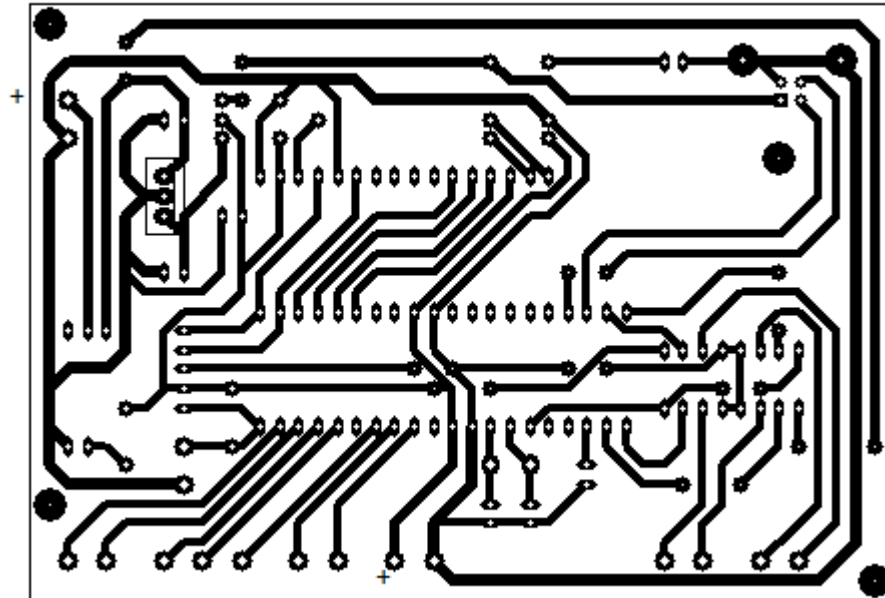
## ANEXO 4

# PLANO ELECTRÓNICO DE LA TARJETA DE CONTROL PARA EL PROYECTO



## ANEXO 5

### DISEÑO DE PISTAS PARA LA TARJETA



## ANEXO 6

### CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN REALIZADO EN PIC C COMPILER

#### FLEX\_LCD.C

```
// flex_lcd.c

// These pins are for the Microchip PicDem2-Plus board,
// which is what I used to test the driver. Change these
// pins to fit your own board.

//#define LCD_DB4    PIN_B4
//#define LCD_DB5    PIN_B5
//#define LCD_DB6    PIN_B6
//#define LCD_DB7    PIN_B7
//
//#define LCD_RS     PIN_C0
//#define LCD_RW     PIN_C1
//#define LCD_E      PIN_C2

// If you only want a 6-pin interface to your LCD, then
// connect the R/W pin on the LCD to ground, and comment
// out the following line.

//#define USE_LCD_RW    1

//=====

#define lcd_type 2      // 0=5x7, 1=5x10, 2=2 lines
#define lcd_line_two 0x40 // LCD RAM address for the 2nd line

int8 const LCD_INIT_STRING[4] =
{
    0x20 | (lcd_type << 2), // Func set: 4-bit, 2 lines, 5x8 dots
    0xc,                    // Display on
    1,                      // Clear display
    6                       // Increment cursor
};

//-----
void lcd_send_nibble(int8 nibble)
{
    // Note: !! converts an integer expression
    // to a boolean (1 or 0).
    output_bit(LCD_DB4, !(nibble & 1));
    output_bit(LCD_DB5, !(nibble & 2));
    output_bit(LCD_DB6, !(nibble & 4));
    output_bit(LCD_DB7, !(nibble & 8));

    delay_cycles(1);
    output_high(LCD_E);
    delay_us(2);
    output_low(LCD_E);
}

//-----
// This sub-routine is only called by lcd_read_byte().
// It's not a stand-alone routine. For example, the
// R/W signal is set high by lcd_read_byte() before
```

```

// this routine is called.

#ifdef USE_LCD_RW
int8 lcd_read_nibble(void)
{
int8 retval;
// Create bit variables so that we can easily set
// individual bits in the retval variable.
#define retval_0 = retval.0
#define retval_1 = retval.1
#define retval_2 = retval.2
#define retval_3 = retval.3

retval = 0;

output_high(LCD_E);
delay_cycles(1);

retval_0 = input(LCD_DB4);
retval_1 = input(LCD_DB5);
retval_2 = input(LCD_DB6);
retval_3 = input(LCD_DB7);

output_low(LCD_E);

return(retval);
}
#endif

//-----
// Read a byte from the LCD and return it.

#ifdef USE_LCD_RW
int8 lcd_read_byte(void)
{
int8 low;
int8 high;

output_high(LCD_RW);
delay_cycles(1);

high = lcd_read_nibble();

low = lcd_read_nibble();

return( (high<<4) | low);
}
#endif

//-----
// Send a byte to the LCD.
void lcd_send_byte(int8 address, int8 n)
{
output_low(LCD_RS);

#ifdef USE_LCD_RW
while(bit_test(lcd_read_byte(),7)) ;
#else
delay_us(60);
#endif

if(address)
output_high(LCD_RS);
else

```

```

    output_low(LCD_RS);

    delay_cycles(1);

#ifdef USE_LCD_RW
    output_low(LCD_RW);
    delay_cycles(1);
#endif

    output_low(LCD_E);

    lcd_send_nibble(n >> 4);
    lcd_send_nibble(n & 0xf);
}

//-----
void lcd_init(void)
{
    int8 i;

    output_low(LCD_RS);

#ifdef USE_LCD_RW
    output_low(LCD_RW);
#endif

    output_low(LCD_E);

    delay_ms(15);

    for(i=0 ;i < 3; i++)
    {
        lcd_send_nibble(0x03);
        delay_ms(5);
    }

    lcd_send_nibble(0x02);

    for(i=0; i < sizeof(LCD_INIT_STRING); i++)
    {
        lcd_send_byte(0, LCD_INIT_STRING[i]);

        // If the R/W signal is not used, then
        // the busy bit can't be polled. One of
        // the init commands takes longer than
        // the hard-coded delay of 60 us, so in
        // that case, lets just do a 5 ms delay
        // after all four of them.
#ifdef USE_LCD_RW
        delay_ms(5);
#endif
    }
}

//-----

void lcd_gotoxy(int8 x, int8 y)
{
    int8 address;

    if(y != 1)
        address = lcd_line_two;
    else

```



```

    address=0;

address += x-1;
lcd_send_byte(0, 0x80 | address);
}

//-----
void lcd_putc(char c)
{
    switch(c)
    {
        case '\f':
            lcd_send_byte(0,1);
            delay_ms(2);
            break;

        case '\n':
            lcd_gotoxy(1,2);
            break;

        case '\b':
            lcd_send_byte(0,0x10);
            break;

        default:
            lcd_send_byte(1,c);
            break;
    }
}

//-----
#ifdef USE_LCD_RW
char lcd_getc(int8 x, int8 y)
{
    char value;

    lcd_gotoxy(x,y);

    // Wait until busy flag is low.
    while(bit_test(lcd_read_byte(),7));

    output_high(LCD_RS);
    value = lcd_read_byte();
    output_low(lcd_RS);

    return(value);
}
#endif

void lcd_setcursor_vb(short visible, short blink) {
    lcd_send_byte(0, 0xC|(visible<<1)|blink);
}

```

## POSICIONADOR PANEL SOLAR

```
#include <PosicionadorPanelSolar.h>
#include <fast_io(D)>
#define LCD_DB4 PIN_B5
#define LCD_DB5 PIN_B4
#define LCD_DB6 PIN_B3
#define LCD_DB7 PIN_B2
#define LCD_RS PIN_B7
#define LCD_E PIN_B6
#include <flex_lcd.c>
#include <math.h>

//-----CONJUNTOS GRÁFICA DE SALIDA-----//
#define TodoIzq 1
#define Izquierda 2
#define Centro 3
#define Derecha 4
#define TodoDer 5
//-----ECUACIONES GRAFICA DE SALIDA-----//
#define ytodoizq(y) (45*(float)y)
#define yizquierda(y) (90*(float)y)+60
#define ycentro(y) (90*(float)y)+210
#define yderecha(y) (90*(float)y)+360
#define ytododer(y) (45*(float)y)+510
/*#define ytodoizq(y) (8*(float)y)
#define yizquierda(y) (30*(float)y)+10
#define ycentro(y) (30*(float)y)+35
#define yderecha(y) (30*(float)y)+60
#define ytododer(y) (8*(float)y)+85*/
//-----Límites de Luminosidad Izquierda-----//
#define D_MUYBAJA (xd>=0 && xd<=204.8)
#define D_BAJA (xd>=153.6 && xd<=358.4)
#define D_MEDIA (xd>=307.2 && xd<=716.8)
#define D_ALTA (xd>=665.6 && xd<=870.4)
#define D_MUYALTA (xd>=819.2 && xd<=1024)
//-----Límites de Luminosidad Derecha-----//
#define I_MUYBAJA (xi>=0 && xi<=204.8)
#define I_BAJA (xi>=153.6 && xi<=358.4)
#define I_MEDIA (xi>=307.2 && xi<=716.8)
#define I_ALTA (xi>=665.6 && xi<=870.4)
#define I_MUYALTA (xi>=819.2 && xi<=1024)

#define Out1 PIN_D1
#define Out2 PIN_D0
#define Out3 PIN_D2
#define Out4 PIN_D3
#define En_motor PIN_C0

float LumIzq[5],LumDer[5],dato_reglas[25];
unsigned char conj_salida[25];
float salida,adc_lder1, adc_lder2, adc_lizq1, adc_lizq2, lumi, lumd;
int16 leer, vueltas;
int16 i, cont;
int1 done = adc_done();

// conjuntos luminosidad izquierda
float umuybajaizq(float x){
    if(x>=0 && x<=102.4){
        return 1;
    }
    else if(x>102.4 && x<=204.8){
        return (2-(x/102.4));
    }
}
```

```

    else{
        return 0;
    }
}

float ubajaizq(float x){
    if(x>=153.6 && x<=256){
        return ((x/102.4)-1.5);
    }
    else if(x>256 && x<=358.4){
        return (3.5-(x/102.4));
    }
    else{
        return 0;
    }
}

float umediaizq(float x){
    if(x>=307.2 && x<=409.6){
        return ((x/102.4)-3);
    }
    else if(x>409.6 && x<=614.4){
        return 1;
    }
    else if(x>614.4 && x<=716.8){
        return (7-(x/102.4));
    }
    else{
        return 0;
    }
}

float ualtaizq(float x){
    if(x>=665.6 && x<=768){
        return ((x/102.4)-6.5);
    }
    else if(x>768 && x<=870.4){
        return (8.5-(x/102.4));
    }
    else{
        return 0;
    }
}

float umuyaltaizq(float x){
    if(x>=819.2 && x<=921.6){
        return ((x/102.4)-8);
    }
    else if(x>921.6 && x<=1024){
        return 1;
    }
    else{
        return 0;
    }
}

// conjuntos luminosidad derecha
float umuybajader(float x){
    if(x>=0 && x<=102.4){
        return 1;
    }
    else if(x>102.4 && x<=204.8){
        return (2-(x/102.4));
    }
}

```

```

    else{
        return 0;
    }
}

float ubajader(float x){
    if(x>=153.6 && x<=256){
        return ((x/102.4)-1.5);
    }
    else if(x>256 && x<=358.4){
        return (3.5-(x/102.4));
    }
    else{
        return 0;
    }
}

float umediader(float x){
    if(x>=307.2 && x<=409.6){
        return ((x/102.4)-3);
    }
    else if(x>409.6 && x<=614.4){
        return 1;
    }
    else if(x>614.4 && x<=716.8){
        return (7-(x/102.4));
    }
    else{
        return 0;
    }
}

float ualtader(float x){
    if(x>=665.6 && x<=768){
        return ((x/102.4)-6.5);
    }
    else if(x>768 && x<=870.4){
        return (8.5-(x/102.4));
    }
    else{
        return 0;
    }
}

float umuyaltader(float x){
    if(x>=819.2 && x<=921.6){
        return ((x/102.4)-8);
    }
    else if(x>921.6 && x<=1024){
        return 1;
    }
    else{
        return 0;
    }
}

void fuzzificar(float luzizq,float luzder){
    LumIzq[0]=umuybajaizq(luzizq);
    LumIzq[1]=ubajaizq(luzizq);
    LumIzq[2]=umediaizq(luzizq);
    LumIzq[3]=ualtaizq(luzizq);
    LumIzq[4]=umuyaltaizq(luzizq);
    LumDer[0]=umuybajader(luzder);
    LumDer[1]=ubajader(luzder);
}

```

```

    LumDer[2]=umediader(luzder);
    LumDer[3]=ualtader(luzder);
    LumDer[4]=umuyaltader(luzder);
}

void minimo(float d1,float d2,unsigned char u_salida){
    if(d1<d2){
        dato_reglas[i]=d1;
    }else{
        dato_reglas[i]=d2;
    }
    conj_salida[i]=u_salida;
}

void inferencia(float xi,float xd){
    if (I_MUYBAJA && D_MUYBAJA){
        minimo(LumIzq[0],LumDer[0],Centro);
        i++;
    }
    if (I_BAJA && D_MUYBAJA){
        minimo(LumIzq[1],LumDer[0],Izquierda);
        i++;
    }
    if (I_MEDIA && D_MUYBAJA){
        minimo(LumIzq[2],LumDer[0],Izquierda);
        i++;
    }
    if (I_ALTA && D_MUYBAJA){
        minimo(LumIzq[3],LumDer[0],TodoIzq);
        i++;
    }
    if (I_MUYALTA && D_MUYBAJA){
        minimo(LumIzq[4],LumDer[0],TodoIzq);
        i++;
    }
    if (I_MUYBAJA && D_BAJA){
        minimo(LumIzq[0],LumDer[1],Derecha);
        i++;
    }
    if (I_BAJA && D_BAJA){
        minimo(LumIzq[1],LumDer[1],Centro);
        i++;
    }
    if (I_MEDIA && D_BAJA){
        minimo(LumIzq[2],LumDer[1],Izquierda);
        i++;
    }
    if (I_ALTA && D_BAJA){
        minimo(LumIzq[3],LumDer[1],TodoIzq);
        i++;
    }
    if (I_MUYALTA && D_BAJA){
        minimo(LumIzq[4],LumDer[1],TodoIzq);
        i++;
    }
    if (I_MUYBAJA && D_MEDIA){
        minimo(LumIzq[0],LumDer[2],Derecha);
        i++;
    }
    if (I_BAJA && D_MEDIA){
        minimo(LumIzq[1],LumDer[2],Derecha);
        i++;
    }
    if (I_MEDIA && D_MEDIA){

```

```

        minimo(LumIzq[2],LumDer[2],Centro);
        i++;
    }
    if (I_ALTA && D_MEDIA){
        minimo(LumIzq[3],LumDer[2],Izquierda);
        i++;
    }
    if (I_MUYALTA && D_MEDIA){
        minimo(LumIzq[4],LumDer[2],Izquierda);
        i++;
    }
    if (I_MUYBAJA && D_ALTA){
        minimo(LumIzq[0],LumDer[3],TodoDer);
        i++;
    }
    if (I_BAJA && D_ALTA){
        minimo(LumIzq[1],LumDer[3],TodoDer);
        i++;
    }
    if (I_MEDIA && D_ALTA){
        minimo(LumIzq[2],LumDer[3],Derecha);
        i++;
    }
    if (I_ALTA && D_ALTA){
        minimo(LumIzq[3],LumDer[3],Centro);
        i++;
    }
    if (I_MUYALTA && D_ALTA){
        minimo(LumIzq[4],LumDer[3],Izquierda);
        i++;
    }
    if (I_MUYBAJA && D_MUYALTA){
        minimo(LumIzq[0],LumDer[4],TodoDer);
        i++;
    }
    if (I_BAJA && D_MUYALTA){
        minimo(LumIzq[1],LumDer[4],TodoDer);
        i++;
    }
    if (I_MEDIA && D_MUYALTA){
        minimo(LumIzq[2],LumDer[4],TodoDer);
        i++;
    }
    if (I_ALTA && D_MUYALTA){
        minimo(LumIzq[3],LumDer[4],Derecha);
        i++;
    }
    if (I_MUYALTA && D_MUYALTA){
        minimo(LumIzq[4],LumDer[4],Centro);
        i++;
    }
}

float defuzzificar(){
    float num=0,div=0,resultado=0;
    for(cont=0;cont<i;cont++){
        if (conj_salida[cont]==TodoIzq){
            num=num+(ytodoizq(dato_reglas[cont])*dato_reglas[cont]);
        }
        if (conj_salida[cont]==Izquierda){
            num=num+(yizquierda(dato_reglas[cont])*dato_reglas[cont]);
        }
        if (conj_salida[cont]==Centro){
            num=num+(ycentro(dato_reglas[cont])*dato_reglas[cont]);
        }
    }
}

```

```

    }
    if (conj_salida[cont]==Derecha){
        num=num+(yderecha(dato_reglas[cont])*dato_reglas[cont]);
    }
    if (conj_salida[cont]==TodoDer){
        num=num+(ytododer(dato_reglas[cont])*dato_reglas[cont]);
    }
    div=div+dato_reglas[cont];
}
resultado=(num)/(div);
i=0;
return resultado;
}

void retardo(){
    delay_ms(20);
}

void retdisp(){
    delay_ms(300);
}

void prg_main(){
    //-----Datos Luz Izquierda-----//
    set_adc_channel(0);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    while (!done){
        done = adc_done();
    }
    leer = read_adc();
    adc_lizq1=leer;

    set_adc_channel(1);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    while (!done){
        done = adc_done();
    }
    leer=read_adc();
    adc_lizq2=leer;

    lumi=(adc_lizq1+adc_lizq2)/2;
    lcd_gotoxy(6,1);
    printf(lcd_putc,"%4.0g"(lumi));
    retdisp();

    //-----Datos Luz Derecha-----//
    set_adc_channel(2);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    while (!done){
        done = adc_done();
    }
    leer = read_adc();
    adc_lder1=leer;

    set_adc_channel(3);
    read_adc(ADC_START_ONLY);
    while (!done){
        done = adc_done();
    }
    leer=read_adc();
    adc_lder2=leer;

    lumd=(adc_lder1+adc_lder2)/2;
    lcd_gotoxy(6,2);

```

```

    printf(lcd_putc,"%4.0g",(lumd));
    retdisp();

    //-----Procesos Lógica Difusa-----//
    fuzzificar(lumi,lumd);
    inferencia(lumi,lumd);
    salida=defuzzificar();
    lcd_gotoxy(12,2);
    printf(lcd_putc,"%4.0g"(salida));
    retdisp();
}

void main(){
    setup_adc_ports(AN0_TO_AN3|VSS_VDD);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
    //setup_pp(PMP_DISABLED);
    setup_spi(SPI_SS_DISABLED);
    setup_wdt(WDT_OFF);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    setup_ccp1(CCP_OFF);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);

    set_tris_D(0);

    i=0;

    output_D(0);
    output_high(En_motor);

    lcd_init();
    lcd_putc("\f");
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc(" REFERENCIANDO ");

    while(input(pin_A5)==1){
        output_D(0);
        output_high(Out4);
        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out3);
        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out2);
        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out1);
        retardo();
    }
    vueltas=600;

    lcd_putc("\f");
    lcd_gotoxy(1,1);
    lcd_putc("LIZQ:      |OUT|");
    lcd_gotoxy(1,2);
    lcd_putc("LDER:");

    while (1){
        prg_main();
        if (salida>vueltas){
            for (i=vueltas;i<=salida;i++){
                output_D(0);
                output_high(Out4);

```



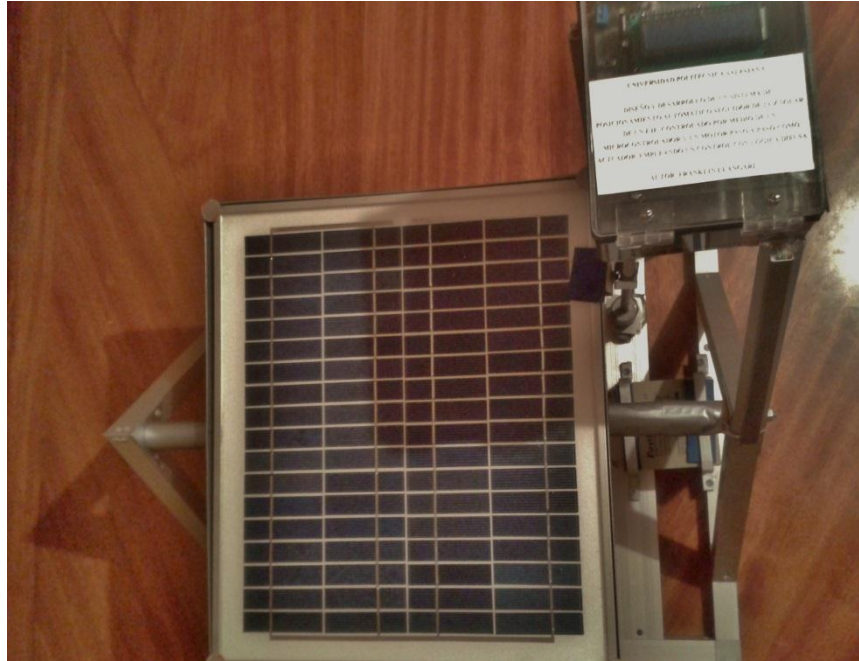
```

        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out3);
        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out2);
        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out1);
        retardo();
    }
}
else{
    for (i=salida;i<=vueltas;i++){
        output_D(0);
        output_high(Out1);
        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out2);
        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out3);
        retardo();
        output_D(0);
        output_high(Out4);
        retardo();
    }
}
vueltas=salida;
prg_main();
}
}

```

## ANEXO 7

### FOTOGRAFÍAS DEL PROTOTIPO SISTEMA DE POSICIONAMIENTO AUTOMÁTICO



**MONTAJE DEL PROTOTIPO CON LAS SEGURIDADES NECESARIAS**



**INICIALIZANDO PROCESO PARA DIRECCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO**



**DETERMINACIÓN DE LUMINOSIDAD Y SALIDAD EN  
POSICIONAMIENTO**



**PROTOTIPO EN UNA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO**