



FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

MENCIÓN: SISTEMAS INDUSTRIALES

Tesis previa a la obtención del Título de: Ingeniero en Electrónica

**TEMA: POSICIONAMIENTO DE PANELES SOLARES
USANDO LÓGICA DIFUSA PARA PRÁCTICAS DE
LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO**

**AUTORES: CARLOS ANDRÉS TEJADA DUQUE
LEONARDO CÉSAR MOTOCHÉ RIVERA**

DIRECTOR: ING. BYRON LIMA

Guayaquil, Diciembre del 2012.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Carlos Andrés Tejada Duque portador de cédula de ciudadanía N° 092248511-5 y Leonardo César Motoche Rivera portador de cédula de identidad N° 070523429-2 estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana declaramos que la responsabilidad del contenido de esta tesis de grado, nos corresponde exclusivamente y es propiedad intelectual de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Diciembre del 2012

Carlos Tejada Duque
CI: 0922485115

Leonardo Motoche Rivera
CI: 0705234292

DEDICATORÍAS

A mis padres por su invaluable apoyo que me ha permitido llegar a estas instancias
con un futuro prometedor a sus lados.

A mi prima Vanessita que es el ejemplo más noble que tengo de fortaleza y dulzura y
será uno de mis pilares durante el resto de mi vida.

Carlos Tejada D.

A mi familia, especialmente a mi madre; ya que sin sus consejos y ayuda no hubiera
sido posible la culminación de este proyecto.

Leonardo Motoche R.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por sus consejos y bendiciones, cada herramienta y cada enseñanza que me han dado me han permitido desarrollarme y ser mejor persona cada día.

A mis familiares y amigos que han estado pendientes de mí, dando su apoyo aun sin pedírselo. A mis profesores por compartir sus conocimientos y experiencias.

Carlos Tejada D.

Quiero agradecer de forma muy especial a todas las personas que de una o de otra forma me brindaron de su apoyo, paciencia y consejos para terminar de forma exitosa este proyecto.

Leonardo Motoche R.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	5
ÍNDICE DE GRÁFICOS	10
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
1. CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA.	15
1.1 Planteamiento del problema.	15
1.2 Delimitación del problema.	15
1.3 Objetivos.	15
1.3.1 Objetivo general.	15
1.3.2 Objetivos específicos.	15
1.4 Justificación.	16
1.5 Hipótesis.	16
1.6 Variables e indicadores.	17
1.7 Metodología.	17
1.7.1 Métodos.	17
1.7.2 Técnicas.	17
1.7.3 Instrumentos de investigación y recolección de datos.	17
1.8 Población y muestra.	18
1.9 Descripción de la propuesta.	18
1.9.1 Beneficiarios.	18
1.9.2 Impacto.	18
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.	19
2.1 Antecedentes.	19
2.2 Energía solar.	21
2.2.1 El sol.	21
2.2.2 Radiación solar.	22
2.2.2.1 Radiación directa.	25
2.2.2.2 Radiación difusa.	25
2.2.2.3 Radiación solar reflejada (albedo):	25
2.2.2.4 Radiación total.	26
2.3 Sistema solar fotovoltaico.	27
2.3.1 Instalaciones conectadas a la red eléctrica.	28
2.3.1.1 Centrales fotovoltaicas.	28
2.3.1.2 Sistemas fotovoltaicos en edificios o industrias.	29

2.3.2 Instalaciones aisladas de la red eléctrica.	29
2.3.2.1 Paneles solares.	31
2.3.2.1.1 Principio fotovoltaico.	32
2.3.2.1.1.1 Célula fotovoltaica.	32
2.3.2.2 Regulador de voltaje.	35
2.3.2.3 Banco de baterías.	36
2.3.2.3.1 Batería de ciclo profundo.	36
2.3.2.4 Inversor.	37
2.3.3 Sistema de seguimiento solar.	37
2.3.3.1 Soporte estático.	37
2.3.3.2 De un solo eje.	37
2.3.3.3 De dos ejes.	38
2.3.4 Sistemas mecánicos.	38
2.3.4.1 Dispositivos de ajuste automático.	38
2.3.4.2 Actuador.	38
2.3.4.2.1 Pasivo.	38
2.3.4.2.2 Activo.	38
2.3.4.3 Controlador.	39
2.4 Control basado en Lógica Difusa.	39
2.4.1 Lógica Difusa.	39
2.4.2 Conjuntos difusos.	39
2.4.3 Función de pertenencia.	41
2.4.4 Operaciones con conjuntos difusos.	41
2.4.5 Variables lingüísticas.	43
2.4.6 Reglas difusas.	43
2.4.7 Conectores.	44
2.4.8 Implicación difusa.	46
2.4.9 Sistemas basados en técnicas de lógica difusa.	46
2.4.9.1 Bloque fusificador.	46
2.4.9.2 Bloque de inferencia.	47
2.4.9.3 Bloque defusificador.	47
2.4.9.3.1 Método del máximo.	47
2.4.9.3.2 Método del centroide.	47
2.4.9.3.3 Método de la altura.	48
3. CAPÍTULO 3: DISEÑO	49
3.1 Diseño electrónico.	49

3.1.1	Módulo de sensores.	49
3.1.1.1	Relación entre resistencia de los LDR vs Lux.	49
3.1.1.2	Esquemático.	51
3.1.2	Módulo de medición de potencia.	51
3.1.2.1	Esquemático.	52
3.1.3	Módulo de control.	53
3.1.3.1	Esquemático.	53
3.1.3.2	Partes del circuito.	54
3.1.3.2.1	Conexionado del microcontrolador.	54
3.1.3.2.2	Circuito regulador de voltaje.	55
3.1.3.2.3	Circuito del oscilador de frecuencia.	56
3.1.3.2.4	Circuito de reset externo.	56
3.1.3.2.5	Puerto A, B, C.	56
3.1.3.2.6	Puerto USB.	57
3.1.4	Módulo de fuerza.	58
3.1.4.1	Esquemático.	59
3.2	Diseño mecánico.	59
3.2.1	Estructura del seguidor solar.	59
3.2.2	Partes de la estructura.	60
3.2.2.1	Motor limpiavidrios.	60
3.2.2.2	Caja reductora sinfin.	61
3.2.2.3	Chumaceras.	61
3.2.2.4	Base del seguidor solar.	62
3.2.2.5	Acople motor limpiavidrios – caja reductora	62
3.2.2.6	Acople base del seguidor solar – eje del panel solar.	63
4.	CAPÍTULO 4: CONTROLADOR DIFUSO Y MONITOREO.	64
4.1	Diseño del Controlador Difuso.	64
4.1.1	Identificar las variables.	64
4.1.2	Particionar el universo.	64
4.1.3	Asignación de relación	66
4.1.4	Implementación del controlador difuso en lenguaje C.	66
4.1.4.1	Función fuzzificador.	67
4.1.4.2	Función reglas.	67
4.1.4.3	Función defuzzificador.	68
4.2	Monitoreo en Labview mediante USB.	69
4.2.1	Arquitectura del puerto USB.	69

4.2.2	Interconexión.	70
4.2.3	Comunicación entre la PC y el dispositivo USB.	71
4.2.4	Flujo de datos mediante transferencia bulk.	71
4.2.5	Archivo mpusbapi.dll de microchip.	72
4.2.6	Ventajas del puerto USB.	72
4.2.7	Descripción del VI para el monitoreo del seguidor solar.	73
4.2.7.1	Link de enlace con el archivo mpusbapi.dll.	73
4.2.7.2	Habilitación del lazo de transferencia de datos.	73
4.2.7.3	Led indicador de conexión.	74
4.2.7.4	Barras indicadoras de nivel de luminiscencia.	74
4.2.7.5	Gráfica de error de los sensores de luz.	75
4.2.7.6	Led virtual de identificación de pronóstico del día.	75
4.2.7.7	Leds de límite del panel solar.	75
4.2.7.8	Habilitación de simulación.	76
4.2.7.9	Registro y visualización de datos.	76
4.2.7.10	Variación de pendientes en las funciones de membresía.	77
5.	CAPÍTULO 5: PRÁCTICAS DE LABORATORIO	78
5.1	Práctica N°1.	78
5.1.1	Objetivos de la práctica.	78
5.1.2	Desarrollo.	78
5.2	Práctica N°2	83
5.2.1	Objetivos de la práctica.	83
5.2.2	Desarrollo.	83
5.3	Práctica N°3	85
5.3.1	Objetivos de la práctica.	85
5.3.2	Desarrollo.	85
5.4	Práctica N°4	88
5.4.1	Objetivos de la práctica.	88
5.4.2	Desarrollo.	88
	CRONOGRAMA	90
	PRESUPUESTO	91
	CONCLUSIONES	93
	RECOMENDACIONES	94
	BIBLIOGRAFÍA	95
	ANEXOS	96
	ANEXO A	97

ANEXO B	98
ANEXO C	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: La energía solar genera una importante cantidad de energía. _____	20
Gráfico 2: Sistema de paneles y seguidores solares. _____	21
Gráfico 3: El sol. _____	21
Gráfico 4: Energía que emite el sol sobre la tierra _____	23
Gráfico 5: Pérdidas de energía solar en la atmósfera _____	24
Gráfico 6: Irradiación sobre el panel. _____	26
Gráfico 7: Esquema de una central fotovoltaica. _____	28
Gráfico 8: Central fotovoltaica. _____	28
Gráfico 9: Uso de energía solar y de la red eléctrica. _____	29
Gráfico 10: Electrificación rural. _____	30
Gráfico 11: Iluminación pública con paneles solares. _____	30
Gráfico 12: Sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica. _____	31
Gráfico 13: Efecto fotovoltaico _____	32
Gráfico 14: Celda solar. _____	33
Gráfico 15: Composición de una celda solar _____	34
Gráfico 16: Panel solar _____	34
Gráfico 17: Celdas y paneles solares. _____	35
Gráfico 18: Regulador de voltaje _____	36
Gráfico 19: Batería _____	37
Gráfico 20: Inversor _____	37
Gráfico 21: Definición de un conjunto clásico y difuso. _____	40
Gráfico 22: Tipos de funciones de pertenencia. _____	41
Gráfico 23: Variables lingüísticas. _____	43
Gráfico 24: Correspondencia entre operadores lógicos y teoría de conjuntos. _____	44
Gráfico 25: Esquema general de un sistema basado en lógica difusa. _____	46
Gráfico 26: Módulo para medición de luz. _____	49
Gráfico 27: Cell resistance vs. Illuminance. _____	50
Gráfico 28: Relación ADC-Voltaje. _____	50
Gráfico 29: Esquemático del módulo de medición de luz. _____	51
Gráfico 30: Módulo para medición de potencia. _____	52
Gráfico 31: Esquemático del módulo de medición de potencia. _____	52

Gráfico 32: Tarjeta de control y adquisición de datos. _____	53
Gráfico 33: Esquemático de la tarjeta de control y adquisición de datos. _____	54
Gráfico 34: Esquemático del Microcontrolador PIC 18f2550 con sus conexiones. _	55
Gráfico 35: Esquemático del circuito regulador de voltaje. _____	55
Gráfico 36: Esquemático del circuito oscilador de frecuencia. _____	56
Gráfico 37: Esquemático del circuito de reset externo. _____	56
Gráfico 38: Esquemático de los puerto I/O del microcontrolador _____	57
Gráfico 39: Esquemático de conector USB. _____	57
Gráfico 40: Puente en H del seguidor solar. _____	58
Gráfico 41: Esquemático del puente en h. _____	59
Gráfico 42: Vista frontal de la estructura del seguidor solar. _____	60
Gráfico 43: Motor limpiaparabrisas de carro. _____	60
Gráfico 44: Caja reductora sinfín-piñón. _____	61
Gráfico 45: Chumacera de 1 pulgada. _____	61
Gráfico 46: Base del seguidor solar con sus elementos. _____	62
Gráfico 47: Acople entre el motor DC y la caja reductora. _____	62
Gráfico 48: Acople del eje del panel solar y la base mediante chumaceras. _____	63
Gráfico 49: Funciones de membresía de las variables Ldr1 y Ldr2. _____	65
Gráfico 50: Funciones de membresía de la variable Delta. _____	65
Gráfico 51: Funciones de membresía de la variable de salida. _____	65
Gráfico 52: Conjunto de reglas. _____	66
Gráfico 53: Función fuzzificador programado en C. _____	67
Gráfico 54: Función reglas programado en C. _____	68
Gráfico 55: Función defuzzificador programado en C. _____	69
Gráfico 56: Estructura de capas del bus USB _____	70
Gráfico 57: Conectores USB _____	70
Gráfico 58: Pines de conexión USB. _____	71
Gráfico 59: Etapas de comunicación entre la PC y el USB. _____	72
Gráfico 60: Cable USB. _____	72
Gráfico 61: Panel Frontal del sistema de monitoreo. _____	73
Gráfico 62: Pestaña con la ruta al archivo mpusb. _____	73
Gráfico 63: Interruptor de lazo de comunicación. _____	74
Gráfico 64: Led virtual de indicación de conexión. _____	74

Gráfico 65: Barras de indicación de luminiscencia. _____	74
Gráfico 66: Gráfica de error entre Ldr1 y Ldr2 _____	75
Gráfico 67: Led indicador de pronóstico del día _____	75
Gráfico 68: Leds indicadores de límite del panel. _____	76
Gráfico 69: Simulación de los valores de los sensores de luz. _____	76
Gráfico 70: Registro y visualización de datos _____	77
Gráfico 71: Variación de las pendientes en las funciones de membresía _____	77
Gráfico 72: Acceso a Fuzzy System Designer. _____	78
Gráfico 73: Pantalla principal Fuzzy System Designer.. _____	79
Gráfico 74: Añadir una variable de entrada. _____	79
Gráfico 75: Variable LDR1 y sus conjuntos difusos. _____	80
Gráfico 76: Parametrización de todas la variables. _____	81
Gráfico 77: Definición de reglas. _____	81
Gráfico 78: Test del sistema. _____	82
Gráfico 79: Reglas que participan con determinadas entradas. _____	82
Gráfico 80: Panel Solar. _____	83
Gráfico 81: Regulador. _____	84
Gráfico 82: Batería de ciclo profundo. _____	84
Gráfico 83: Inversor. _____	84
Gráfico 84: Pestaña con la ruta al archivo mpusbapi.dll. _____	85
Gráfico 85: Cable USB. _____	86
Gráfico 86: Interruptor de lazo de comunicación. _____	86
Gráfico 87: Led virtual de indicación de conexión. _____	86
Gráfico 88: Panel Frontal del sistema de monitoreo. _____	87
Gráfico 89: Simulación de los valores de los sensores de luz. _____	89
Gráfico 90: Variación de las pendientes en las funciones de membresía. _____	89
Gráfico 91: Registro y visualización de datos. _____	89

ABSTRACT

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE TESIS	TEMA TESIS
2012	Carlos Andrés Tejada Duque Leonardo César Motoche Rivera	Ing. Byron Lima	“POSICIONAMIENTO DE PANELES SOLARES USANDO LÓGICA DIFUSA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO”.

La presente tesis **“POSICIONAMIENTO DE PANELES SOLARES USANDO LÓGICA DIFUSA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO”** presenta el diseño, construcción e implementación de un sistema modular para posicionamiento de un panel solar según la mayor incidencia del sol en una determinada área por medio de una estructura sólida, circuito eléctrico y electrónico aplicando para ello un control basado en lógica difusa para controlar el movimiento de un motor DC que está acoplado mecánicamente al eje del panel solar, en donde dicho panel entrega energía a una batería a través de un regulador de voltaje para su posterior uso por medio de un inversor de corriente.

Esta investigación se contempla en el área de la ingeniería electrónica y pretende elaborar una herramienta para los estudiantes de las materias de control automático y energía y medio ambiente. Durante el desarrollo se procura también medir la potencia que puede darnos el panel solar, con este mismo equipo podemos visualizar variables de proceso en una aplicación elaborada en el programa Labview.

INTRODUCCIÓN

Los diversos acontecimientos que ocurren en todo el planeta como el calentamiento global, contaminación ambiental, escasez de recursos, demanda energética, nos han motivado a la búsqueda de nuevas alternativas energéticas más limpias y eficientes tales como energía eólica, biocombustible, energía solar, las cuales han cobrado gran importancia a nivel mundial.

Surge entonces la idea de implementar un sistema que permita a los dispositivos generadores de energía, por medio de la radiación solar, obtener una mayor generación de esta, haciendo un movimiento para seguir el recorrido del sol durante el día y posicionándose frente a la incidencia de los rayos del sol de forma perpendicular.

El presente trabajo trata sobre el diseño, construcción e implementación de una estructura, circuito electrónico y control, usando lógica difusa para que un sistema de posicionamiento solar fotovoltaico se encargue de controlar la posición de un panel solar en un solo eje, mediante un actuador y en donde se pueda mediante el software Labview, visualizar los datos de corriente y voltaje así como el estado de los sensores que forman parte del sistema. A este proyecto también se le ha añadido algunos experimentos y pruebas que hacen que el sistema sea didáctico para que los estudiantes de la materia de control automático realicen prácticas.

1. CAPÍTULO 1: EL PROBLEMA.

1.1 Planteamiento del problema.

La energía renovable es cada vez más utilizada a nivel mundial, ya que no contamina el medio ambiente y protege el planeta. Los paneles solares utilizan la luz del sol la cual es abundante y no contamina; pero al ser estos paneles estáticos no se aprovecha al máximo dicha energía, es por eso que es necesario un sistema que nos ayude aumentar su eficiencia.

El presente proyecto trata de almacenar mediante un sistema de posicionamiento la mayor cantidad de energía posible en una batería, al seguir y ubicar el panel solar frente a la incidencia de luz.

1.2 Delimitación del problema.

El presente proyecto trata de abarcar el método de control utilizado en este caso lógica difusa en un sistema fotovoltaico de un solo eje. Se realiza una retroalimentación mediante sensores de luz. Adicionalmente se pueden monitorear ciertas variables del sistema.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general:

- Construir un sistema de posicionamiento para un panel solar con un movimiento de inclinación bidireccional, controlado mediante lógica difusa el cual nos permita almacenar energía en una batería.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Diseñar e implementar un sistema de control por medio de un microcontrolador aplicando lógica difusa para un motor DC, el cual posicione el panel solar.
- Armar una estructura robusta que soporte el panel y permita el movimiento del mismo.

- Diseñar e implementar una tarjeta de control y adquisición de datos para controlar el movimiento del panel y comunicar mediante USB la tarjeta con Labview.
- Elaborar una aplicación en Labview para monitorear y supervisar el estado del panel solar.
- Diseñar, implementar e instalar un sistema, utilizando equipos del medio que permitan realizar el almacenamiento energía en una batería.
- Elaborar prácticas de laboratorio con el sistema de posicionamiento.

1.4 Justificación.

La razón por cual se eligió este proyecto es fomentar el uso de la energía limpia, verde o renovable como lo es la energía solar e implementarla utilizando un panel solar, aumentando su eficacia al realizar un control automático mediante lógica difusa para posicionarlo frente la incidencia de los rayos del sol.

Aunque actualmente la eficiencia energética de los paneles fotovoltaicos no es muy alta, esta tecnología está reduciendo sus costos y está siendo cada día más utilizada debido a la preocupación de obtener energía sin dañar el medio ambiente. Ya que la energía solar es la una de las mejores opciones, es conveniente obtener del panel solar la máxima energía posible a través de un seguidor solar.

1.5 Hipótesis.

La energía solar es abundante pero aún no se la aprovecha a su máxima potencia con el presente proyecto se demostrará que se puede aumentar la eficiencia en la recolección de potencia del panel, haciendo el panel solar móvil y siguiendo la trayectoria de sol durante el día. Se hará el control del movimiento del panel con lógica difusa y veremos que el campo de aplicación de este método de control se extiende a todos los campos de la ingeniería. Sé aumentará el interés de los estudiantes en el estudio de las energías renovables y la implementación de proyectos con ello.

1.6 Variables e indicadores.

Las variables de nuestro sistema serán en nuestro caso la señal de error que hay entre los circuitos de medición de luz que nos permitirá posicionar correctamente el panel y la intensidad de luz de cada circuito por individual para ver si es idóneo el movimiento del panel. El indicador es la potencia que nos entrega el panel lo que demostrará si en efecto hemos conseguido que el panel entregue mayor potencia con determinado movimiento.

1.7 Metodología.

1.7.1 Métodos.

Se están aplicados dos métodos; primero el método experimental haciendo la recolección de datos del error en tiempo real y tomando los valores de potencia de salida del módulo solar y el método deductivo al obtener nuestros datos sacamos una conclusión para determinar el rango de error necesario para realizar el movimiento del panel solar.

1.7.2 Técnicas.

Se hace un análisis, primero moviendo el panel manualmente hasta la posición de $error=0$ y observando la ganancia en potencia a la salida del panel solar al realizar dicho movimiento. Luego vemos los cambios de error que se van produciendo a lo largo del tiempo y vamos haciendo el movimiento manual del panel en diferentes errores verificando las ganancias de potencia obtenidas en los diferentes movimientos que fuimos realizando.

1.7.3 Instrumentos de investigación y recolección de datos.

Hacemos uso de un microcontrolador para la adquisición de datos en tiempo real de todas las variables involucradas en el sistema en este caso de los circuitos de medición de luz. Todos estos datos los podemos visualizar y almacenarlos en archivos gracias a nuestro VI diseñado para este proyecto. También se posee un circuito para la medición de potencia que entrega el panel, esto también se lo puede observar en nuestro VI.

1.8 Población y muestra.

Este proyecto va ser de gran utilidad para todos los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica y Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana específicamente en la materia de energía y medio ambiente para complementar sus conocimientos adquiridos durante la carrera con un módulo real en la materia de control automático como método alternativo de control a los métodos clásicos.

1.9 Descripción de la propuesta.

Se pretende crear un módulo para el posicionamiento de un panel solar siguiendo en un punto la trayectoria del sol de este a oeste para poder almacenar esta energía captada durante el día en una batería que posteriormente se puede aprovechar durante las noches haciendo uso de una energía alterna que no perjudica al medio ambiente.

Para ello también se elaborarán algunos diseños de tarjetas electrónicos tales como:

- Tarjeta de control y adquisición de datos.
- Tarjeta de fuerza.
- Tarjeta electrónica de medición.

Las cuales servirán para el control del sistema y para poder visualizar los datos en tiempo real en un VI del software Labview.

1.9.1 Beneficiarios.

Estudiantes de las materias de control automático y energía y medio ambiente para prácticas de laboratorio y por ende complemento a la teoría previamente estudiada.

1.9.2 Impacto.

Motivación del estudiante al ver que con los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería electrónica es posible crear y mejorar los métodos de energía alternativa usados en la actualidad. Lo que provocará que el estudiante desarrolle proyectos en beneficio a la conservación del medio ambiente para ayuda a la comunidad más necesitada.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.

2.1 Antecedentes.

En nuestro país no existen seguidores solares implementados para generar energía, por lo que mediante este proyecto queremos impulsar un método de control aplicado a seguidores solares.

En otros lugares como el Museo Explora de la ciudad de León en el estado de Guanajuato en México están instalados los prototipos de seguidores solares uno fijo, y un par con uno y dos ejes, respectivamente los cuales generan 20,000 KW/h al año; de esta manera, mediante este trabajo se divulga y promueve el uso de energías renovables entre las nuevas generaciones.¹

“Ya tenemos prototipos de seguidores solares de bajo costo que vamos a escalar hasta alcanzar áreas de 25 metros cuadrados siguiendo al Sol. La idea de tener tres configuraciones es para comparar y optimizar lo que le conviene a una región determinada, y esto dependerá del tipo de radiación solar que pueda recibirse”, indicó el doctor Luis Efraín Regalado, titular del proyecto de Centro de Innovación Aplicada en Tecnología Competitiva (CIATEC).²

El equipo de investigación de CIATEC diseñó la estructura del seguidor solar de 25 metros cuadrados; el mástil que lo sostiene, de tres metros de largo, es en donde el dispositivo va a girar. De esta manera, afirmó el especialista, 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.³

^{1 2 3} Informador Redacción / NBVV, Permiten seguidores solares ahorrar energía, Agosto 5 del 2012, <http://www.informador.com.mx/tecnologia/2012/395337/6/permiten-seguidores-solares-ahorrar-energia.htm>.



Gráfico 1: La energía solar genera una importante cantidad de energía.
Fuente: Agencia ID - www.informador.com.mx

Otro caso particular se da en Colombia que con el objetivo de incrementar el servicio de energía eléctrica al Centro de Salud y a la Institución Educativa de Isla Fuerte - Bolívar- 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.

El sistema cuenta con módulos solares poli-cristalinos, así como una estructura móvil que permite hacer un seguimiento diario a la posición de la tierra respecto al sol. Adicionalmente, cuenta con un mecanismo que transforma la energía continúa en corriente alterna con sistemas de inyección a red. Cada uno de los dos seguidores instalados produce 12,5 kilovatios, que en conjunto pueden alimentar de 60 a 70 viviendas con un consumo promedio de 600 vatios. Los seguidores, que tienen una vida útil de 25 a 30 años, ya se encuentran instalados.⁴

Los habitantes de Isla Fuerte ven con satisfacción como el servicio de energía eléctrica no solo llegó sino que ha ido mejorando 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 pescadores, principales renglones de la economía de la isla.⁵

⁴ ⁵ Inter Eléctricas Ltda, Energía renovable para isla fuerte: Seguidores, Febrero del 2010, www.aisladores.com.co/NOTICIAS/imprimir.php?idnoticiasn=2632¬tip=1



Gráfico 2: Sistema de paneles y seguidores solares.
Fuente: <http://www.minminas.gov.co/minminas>

2.2 Energía solar.

La energía solar, se define como la energía obtenida mediante la captación de luz y calor emitidos por el sol, los cuales son producidos por reacciones nucleares en el interior del mismo y transmitidos en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio.⁶

Esta energía es universal y gratuita, es una de las llamadas energías renovables, catalogada como no contaminante, también llamada energía limpia o energía verde, su captación es directa y fácil.

2.2.1 El sol.

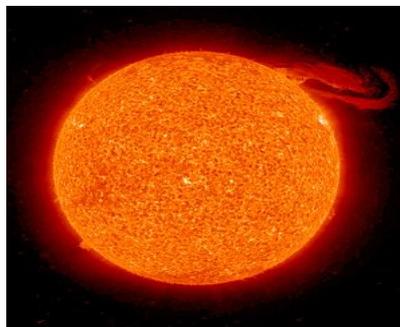


Gráfico 3: El sol.
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sol>.

⁶ Edgar Vivar, Tipos de Energía, Octubre del 2012, <http://www.monografias.com/trabajos84/tipos-energia/tipos-energia.shtml>

Es la estrella que está más cerca a la Tierra y la de mayor tamaño del sistema solar, está formada, casi en su totalidad por Hidrógeno (H) y Helio (He). La energía emitida por el sol es originada por una reacción química llamada fusión nuclear, en la que los núcleos de los átomos de hidrógeno se unen formando núcleos más grandes de helio, razón por la cual se libera una gran cantidad de energía, que llega a la tierra propagándose por el vacío en forma de diferentes radiaciones electromagnéticas.

La energía que recibe la tierra del sol, es también nuestra principal fuente de energía, que se manifiesta, en forma de luz y calor, produce transformaciones que determinan la fotosíntesis, el clima, calienta la superficie terrestre y permite el desarrollo de los seres vivos.

2.2.2 Radiación solar.

El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 °K en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la *radiación solar*.⁷

La radiación, es la transferencia de energía por ondas electromagnéticas, que viajan a través del vacío y se producen directamente desde la fuente hacia afuera en todas las direcciones. Entonces la radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, que no tienen la misma intensidad, si no que tienen una distribución espectral y se distribuyen desde el infrarrojo hasta el ultravioleta.

La magnitud que mide la radiación solar que llega a nuestro planeta es la irradiancia, que calcula la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el (W/m^2) (vatio por metro cuadrado).⁸

⁷ ⁸ Wikipedia, Radiación Solar, Noviembre del 2007, es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_solar

Ubicado el sol en el punto más alto, es decir al medio día, la radiación es mucho mayor que cuando esta cerca del horizonte, entonces el sol irradia una energía sobre la superficie terrestre que esta alrededor de unos 1000 vatios por metro cuadrado.

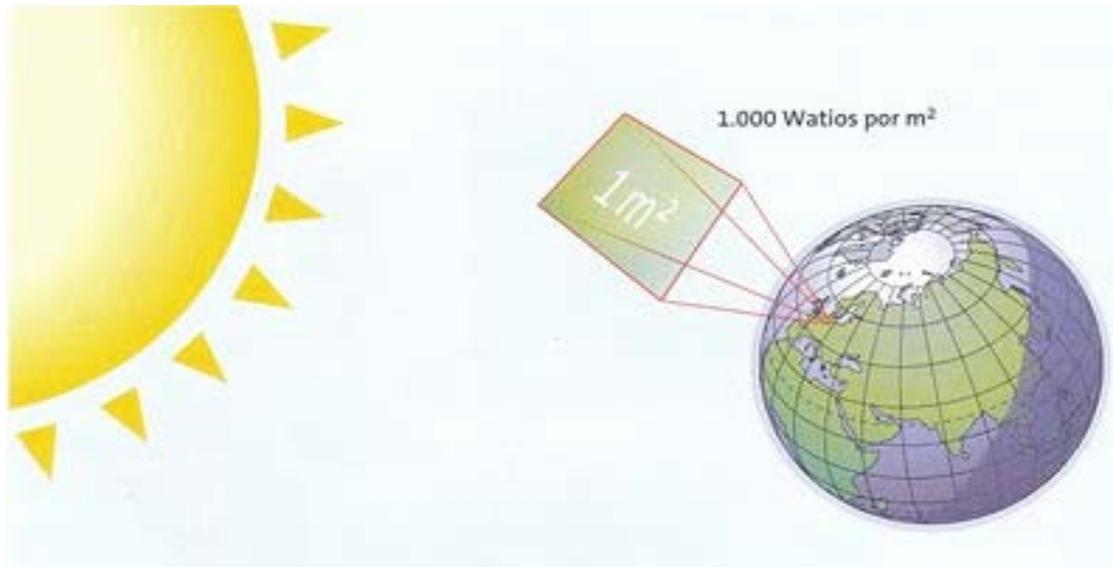


Gráfico 4: Energía que emite el sol sobre la tierra

Fuente: http://oficioapuntos.blogspot.com/2010_06_01_archive.html

La intensidad de la radiación fuera de la atmosfera terrestre es conocida como constante solar, que es la cantidad de energía recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos del sol y su valor más aceptado es $1372,7 \text{ W}/\text{m}^2$, este valor varía a lo largo del año.

La radiación que sale del sol, no es la misma que llega a la tierra debido a que atraviesa la atmosfera terrestre, como por ejemplo las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono y algunas otras reflejadas por las nubes, como se puede observar en la figura siguiente:

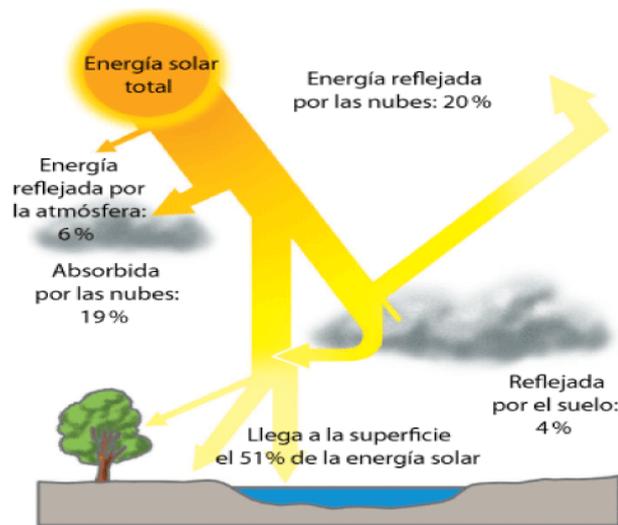


Gráfico 5: Pérdidas de energía solar en la atmósfera

Fuente: http://www.kalipedia.com/ecologia/tema/graficos-esquema-distribucion-radiacion.html?x1=20070418klpcnaecl_1.Ees&x=20070418klpcnaecl_2.Kes

Continuamente existen variaciones con respecto a la radiación solar recibida, ya que la composición de las radiaciones varía según la época del año, la hora del día y dependen de la distancia entre el sol y la tierra dado que nuestro planeta gira alrededor del sol, describiendo una órbita elíptica, así que habrán días en los que esté más cerca al sol y otros en los que se encuentre más lejos. Existen otras variaciones que son producidas por pequeñas irregularidades en la superficie del sol.

Es decir, la cantidad de radiación absorbida o dispersada depende de su trayectoria óptica a través de la atmósfera, y en diversos factores tales como:

- Geográficos:
 - Latitud
 - Inclinación del suelo
- Atmosféricos:
 - Atmósfera (nubosidad)
 - Partículas en suspensión (naturales y antrópicas)
 - Vapor de agua, gases.
- Otros:
 - Estación del año, hora del día.

En su paso a través de la atmósfera, parte de la radiación solar es atenuada por dispersión y otra por absorción y en función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación.

2.2.2.1 Radiación directa.

Aquella que proviene del disco solar, pasa en línea recta a través de la atmósfera terrestre y a su paso por esta no se difumina, desvía ni padece reflexiones o refracciones intermedias, llegando directamente a la superficie terrícola sin cambio alguno en su trayectoria lineal ó dirección.

2.2.2.2 Radiación difusa.

Parte de la radiación emitida por el foco solar que pasa por la atmósfera sufre cambios, entonces se desvían los rayos solares de su dirección original, como consecuencia de los múltiples procesos o fenómenos de reflexión, refracción, difracción, dispersión y absorción, producidos por el choque directo con los agentes atmosféricos tales como:

- Partículas de polvo, aerosoles ó simplemente moléculas en la atmósfera y en el aire.
- Montañas, árboles, edificios, el propio suelo.
- Nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres.

Por lo tanto la radiación difusa va en todas direcciones y no tienen una dirección directa.

2.2.2.3 Radiación solar reflejada (albedo):

Los rayos solares no solamente pueden ser desviados por causas atmosféricas, también pueden sufrir una reflexión a causa de superficies planas. Entonces es aquella que desde el sol es reflejada por el suelo, objetos, cuerpos u otras superficies situados alrededor.

El albedo es el porcentaje de radiación que cualquier superficie refleja respecto a la radiación que incide sobre la misma. Las superficies claras tienen valores de albedo superiores a las oscuras, y las brillantes más que las opacas.

La influencia del albedo del entorno sobre la radiación incidente en un captador de energía solar suele ser despreciable y solo en casos especiales suele suponer una pequeña ganancia adicional de energía; por ejemplo cuando existen paredes de color claro detrás de los captadores.

2.2.2.4 Radiación total.

O radiación global incidente sobre una superficie, es la suma de todas las radiaciones, directa, difusa y albedo.

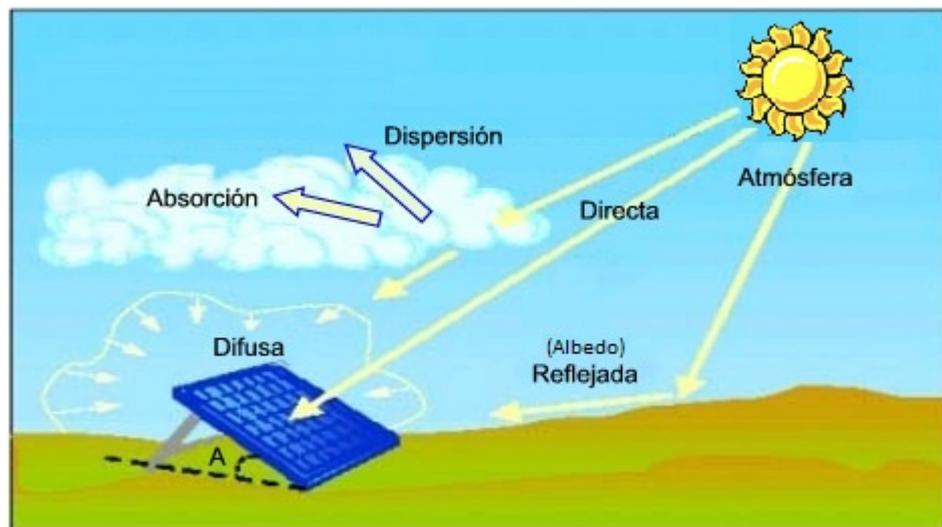


Gráfico 6: Irradiación sobre el panel.

Fuente http://www.opex-energy.com/fotovoltaica/funcionamiento_fotovoltaica.html.

Cuando estamos hablando de energía solar fotovoltaica, debemos tener presente que la radiación que realmente nos importa es la directa, es la que mayor potencial tiene. También debemos tener en cuenta ciertos factores. En primer lugar, el factor climático es importante, en un día nublado, tendremos una radiación difusa; en cambio, si es soleado, la radiación recibida será directa. El segundo factor, es la inclinación de la superficie que recibe la radiación. Y, el tercer factor, es la presencia o ausencia de superficies reflectantes, las superficies claras son las que más reflejan la radiación solar.

Para poder emplear la energía solar por radiación se usan muchos aparatos los cuales funcionan con un estímulo superior a un determinado valor. Toda energía que incida bajo un cierto valor mínimo será inútil a efectos de aprovechamiento práctico.

Se necesita entonces medir la abundancia de radiación solar, esto es radiación directa más radiación difusa para aprovechar y saber la cantidad de energía que puede entregar el sol. Sin embargo, no toda la energía radiante que llega hasta nosotros es susceptible de ser aprovechada, esta suma de energía depende de varios factores como:

- Posición del sol, ya que durante los primeros momentos de la mañana o los últimos de la tarde, la energía incidente es muy baja, y lo mismo ocurre en momentos de elevada nubosidad los cuales varían diaria y anualmente.
- Condiciones atmosféricas generales, clima, viento, nubes en el cielo, etc.

Al utilizar la energía solar esta se la transforma en energía térmica o eléctrica, empleando para ello diferentes tecnologías como *energía solar térmica ó energía solar fotovoltaica*.

2.3 Sistema solar fotovoltaico.

Los sistemas están integrados por los paneles solares encargados de la captación de energía y un conjunto de dispositivos cuya función es convertir la energía solar en energía eléctrica, acondicionando esta última a los requerimientos de una aplicación determinada.

En una primera gran división las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Instalaciones conectadas a la red eléctrica.
- Instalaciones aisladas de la red eléctrica.

2.3.1 Instalaciones conectadas a la red eléctrica.

Sistemas conectados a la red, esta aplicación consiste en generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos e inyectarla directamente a la red de distribución eléctrica. En cuanto a las instalaciones conectadas a la red se pueden encontrar dos casos:

2.3.1.1 Centrales fotovoltaicas.

En las que la energía eléctrica generada se entrega directamente a la red eléctrica, como en cualquier otra central convencional de generación eléctrica.

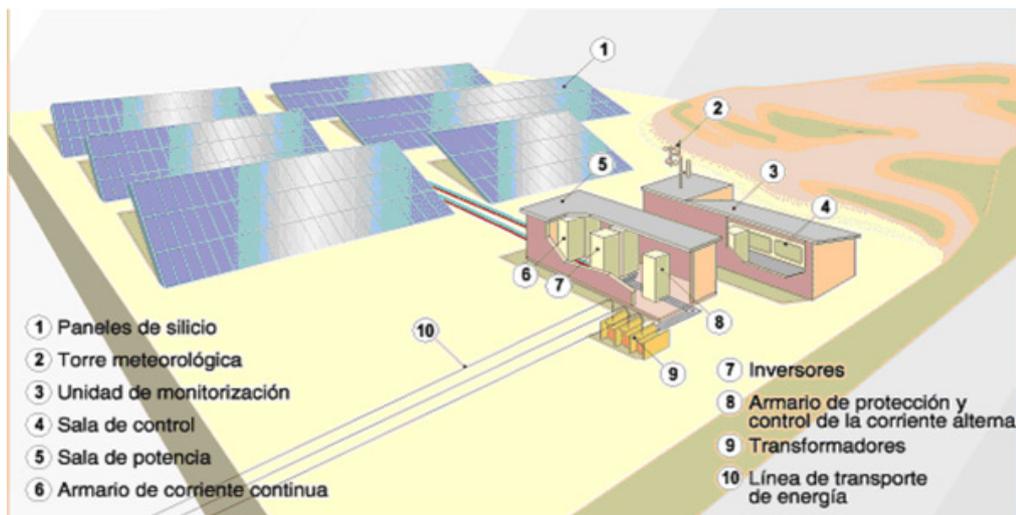


Gráfico 7: Esquema de una central fotovoltaica.

Fuente: ww.ktmet.com/wiki/index.php?title=LA_ENERG%C3%8DA_SOLAR_Y_SU_APROVECHAMIENTO



Gráfico 8: Central fotovoltaica.

Fuente: <http://www.dw.de/dw/article/0,,15766562,00.html>

2.3.1.2 Sistemas fotovoltaicos en edificios o industrias.

En los que una parte de la energía generada se invierte en el mismo autoconsumo del edificio, mientras que la energía excedente se entrega a la red eléctrica. También es posible entregar toda la energía a la red; el usuario recibirá entonces la energía eléctrica de la red, de la misma manera que cualquier otro abonado al suministro.

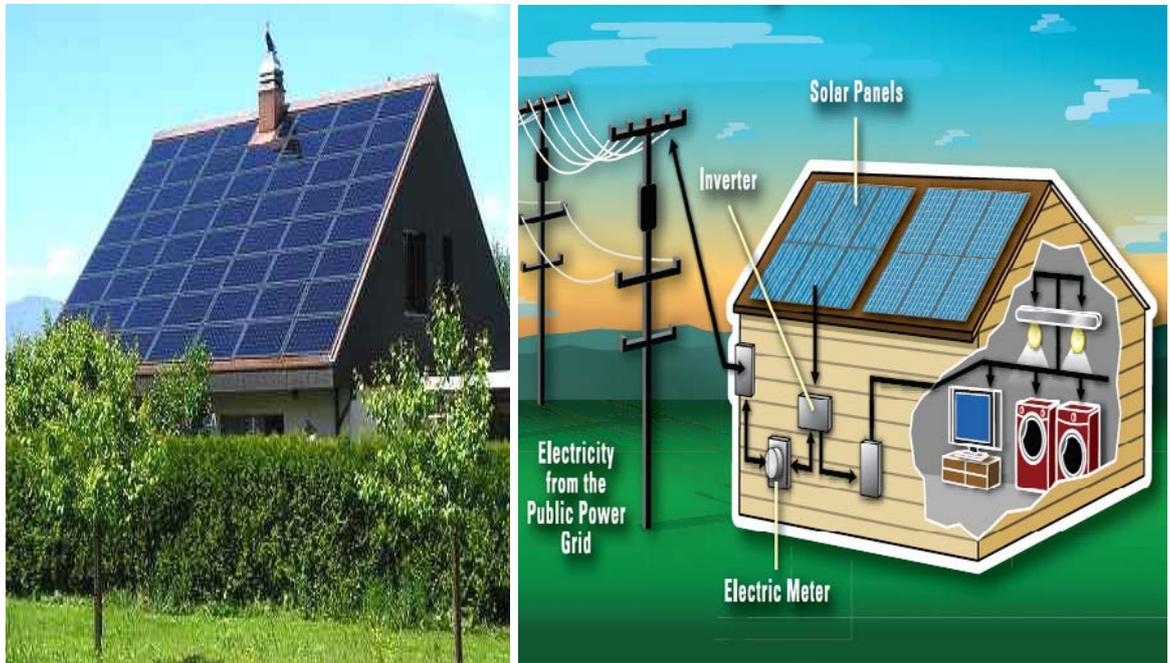


Gráfico 9: Uso de energía solar y de la red eléctrica.

Fuente: <http://sustentator.com/blog-es/blog/page/22/?pid=21> y Science in the Real World: How Do Solar Panels Work? by Richard Hantula.

2.3.2 Instalaciones aisladas de la red eléctrica.

Los sistemas aislados usan principalmente la captación de energía solar mediante paneles fotovoltaicos y la almacenan en baterías, dicha energía es consumida en el propio centro de generación para cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar donde se produce la demanda. O en otras aplicaciones tales como:

- ✓ La electrificación de viviendas alejadas de la red eléctrica convencional, básicamente electrificación rural.

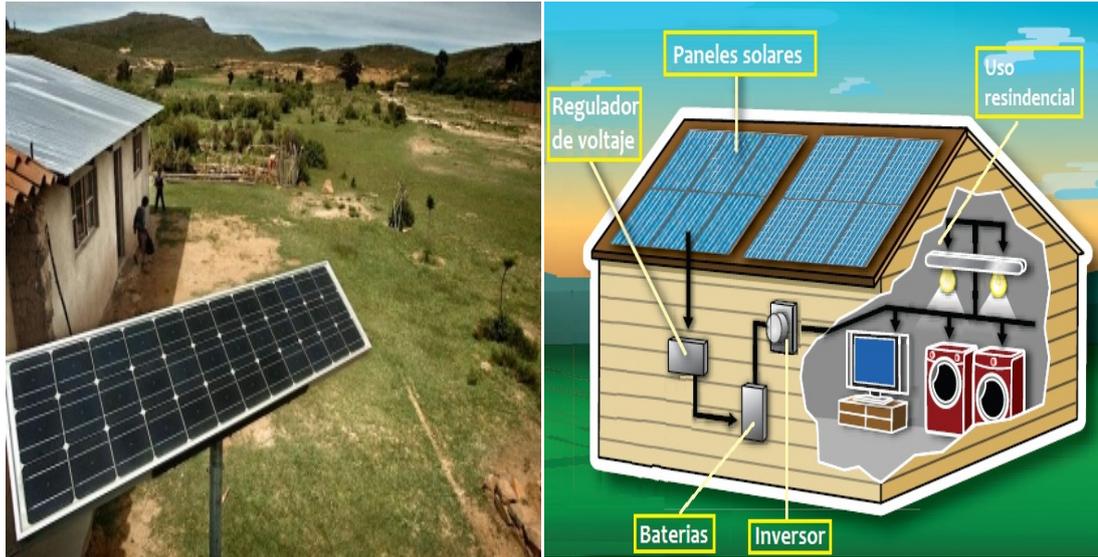


Gráfico 10: Electrificación rural.

Fuentes: <http://senegal.pordescubrir.com/isofoton-hara-proyecto-senegal-16-millones-euros.html> y Science in the Real World: How Do Solar Panels Work? Por Richard Hantula.

- ✓ Servicios y alumbrado público: iluminación pública mediante farolas autónomas de parques, calles, monumentos, paradas de autobuses, etc. Con la alimentación fotovoltaica de luminarias se evita la realización de zanjas, canalizaciones, necesidad de conexión a la red eléctrica, etc.



Gráfico 11: Iluminación pública con paneles solares.

Fuentes: http://biorural.blogspot.com/2010_05_01_archive.html

Consta principalmente de los siguientes elementos:

- El elemento principal de energía que es el sol.
- Módulo, panel o arreglo de paneles solares.
- Estructura y cimientos del arreglo.

- Regulador/es de voltaje, típicamente un controlador de carga de batería/s.
- Batería/s de almacenamiento eléctrico y un recinto para las mismas.
- Un inversor de corriente de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) o un sistema acondicionado para conversión de DC a AC para uso de equipos normalmente de 120 Vac.

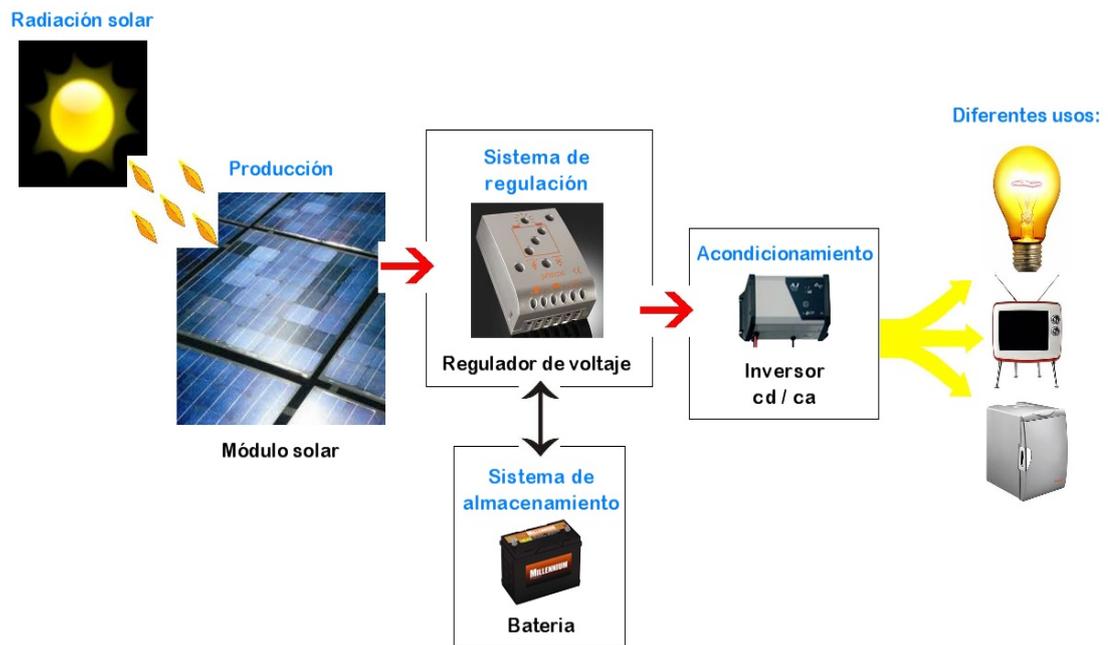


Gráfico 12: Sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica.
Fuente: Los autores.

Un sistema solar fotovoltaico no siempre consta de la totalidad de los elementos aquí descritos. Puede prescindir de uno o más de éstos, dependiendo del tiempo, época de operación, la naturaleza de los recursos energéticos disponibles en el lugar de la instalación, tipo y tamaño de las cargas a alimentar.

2.3.2.1 Paneles solares.

Para poder obtener la energía eléctrica a través de la radiación solar se emplean paneles solares, los cuales emplean el principio fotovoltaico para llegar a cabo esta tarea.

2.3.2.1.1 Principio fotovoltaico.

Es el proceso, mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. Según la teoría corpuscular la luz está compuesta por un torrente de partículas denominadas fotones, dichas partículas son las que transportan todas las formas de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, es decir diversas energías correspondientes a diversas longitudes de onda del espectro solar.

Cuando dichos fotones chocan sobre la superficie de una célula fotovoltaica, estos pueden ser reflejados o absorbidos, si el fotón es absorbido, la energía de este se transfiere a un electrón de un átomo de la célula fotovoltaica escapando de su posición normal para pasar a formar parte de una corriente en un circuito eléctrico, generando así electricidad.

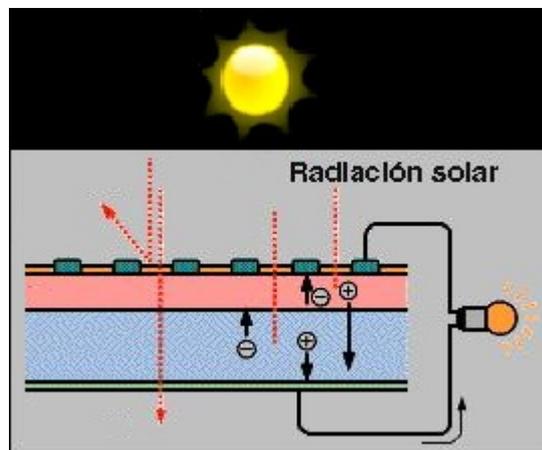


Gráfico 13: Efecto fotovoltaico
Fuente: Los autores

2.3.2.1.1.1 Célula fotovoltaica.

Elemento que se encarga de transformar la energía solar en energía eléctrica, cada célula produce en promedio de 0,4 v aproximadamente.

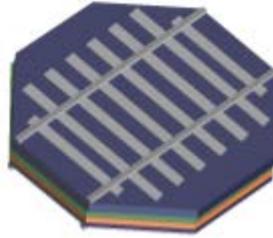


Gráfico 14: Celda solar.

Fuente: <http://eliseosebastian.com/energia-solar-2/>.

Dispositivo que generalmente tiene una forma cuadrada, formada de una lamina hecha de un material semiconductor normalmente se emplea silicio, dicha lámina tiene un grosor que varía entre 0,25 mm y 0.35 mm.

Cada una de estas células está compuesta por una fina capa de material tipo “n” es decir un material semiconductor puro (silicio) al cual se lo altera con componentes químicos llamados dopantes que hacen que la lámina tenga un exceso de electrones quedando así cargada negativamente. Otra capa más gruesa de material “p” que al igual que la descrita anteriormente está cargada por medio de dopantes con un exceso de protones o falta de electrones quedando así cargada positivamente.

Al unir dichas capas se genera un campo eléctrico en la unión de “p-n” en donde el exceso de electrones de “n” pasan a ocupar los espacios vacíos en “p”. La superficie que es iluminada con los rayos del sol es la capa “n” los fotones que inciden sobre esta superficie rompen el par electrón – hueco y mediante un conductor externo que conecta ambas capas “n” y “p” se genera un flujo de electrones (corriente eléctrica). Cuando la radiación solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por esto que las células se fabrican a partir de materiales semiconductores, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía. No hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones.

Además de los semiconductores las células solares están formadas por una malla metálica superior para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la

carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. En la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulante transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa anti-reflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

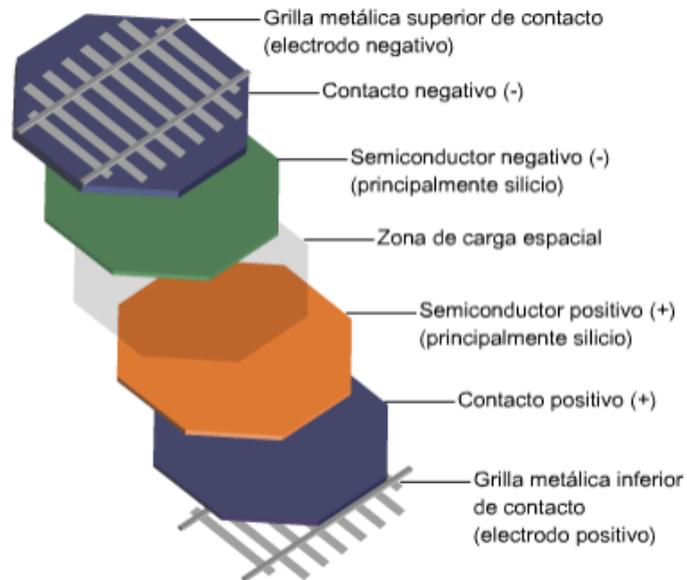
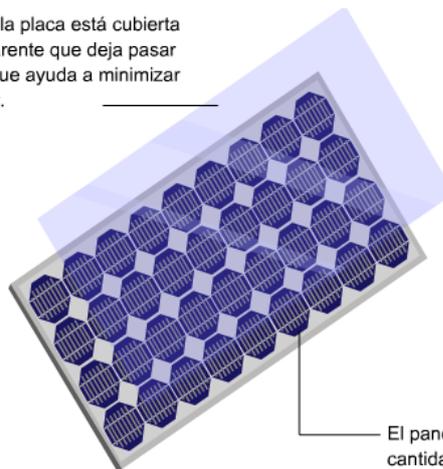


Gráfico 15: Composición de una celda solar
 Fuente: <http://eliseosebastian.com/energia-solar-2/>

La parte superior de la placa está cubierta con un vidrio transparente que deja pasar la radiación solar y que ayuda a minimizar las pérdidas de calor.



El panel es formado por una cantidad determinada de células fotovoltaicas cuyo número dependerá del voltaje requerido.

Gráfico 16: Panel solar
 Fuente: <http://eliseosebastian.com/energia-solar-2/>

Estas células, conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están

diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 ó 24 Vdc). La estructura del módulo protege a las células del medioambiente y son muy durables y fiables.

Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie y/o paralelo para producir cualquier combinación de corriente y tensión.

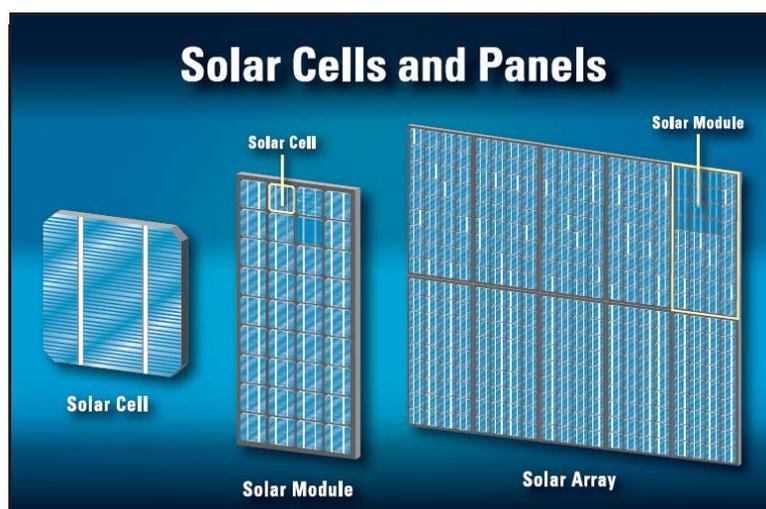


Gráfico 17: Celdas y paneles solares.

Fuente: Science in the Real World: How Do Solar Panels Work? by Richard Hantula.

2.3.2.2 Regulador de voltaje.

Es el elemento que regula la inyección de corriente desde los paneles a la batería. El regulador interrumpe el paso de energía cuando la batería se encuentra totalmente cargada evitando así los negativos efectos derivados de una sobrecarga. En todo momento el regulador controla el estado de carga de la batería para permitir el paso de energía eléctrica proveniente de los paneles solares cuando esta empieza a bajar.



Gráfico 18: Regulador de voltaje

Fuente: http://www.renova-energia.com/productos_reguladores/index.html

2.3.2.3 Banco de baterías.

Almacena la energía de los paneles solares para los momentos en que no hay sol, o para los momentos en que las características de la energía proporcionada por los paneles no es suficiente o adecuada para satisfacer la demanda. La naturaleza de la radiación solar es variable a lo largo del día y del año, la batería es el elemento que solventa este problema ofreciendo una disponibilidad de energía de manera uniforme durante todo el año.

2.3.2.3.1 Batería de ciclo profundo.

Son dispositivos que almacenan energía eléctrica mediante procesos electroquímicos. Formadas por celdas electroquímicas conectadas en serie que almacenan energía para luego proveer esta a otros equipos.

Las baterías de ciclo profundo son muy resistentes a los golpes, además su ciclo, es decir su carga y descarga puede llegar a ser mucho más consecutiva que otras baterías como son las automotrices. Estas baterías están diseñadas para proveer una cantidad constante de corriente durante un periodo de tiempo largo es decir “Amperios por hora” (Ah) ósea que una batería de 18 Ah que se use para alimentar un equipo que consume una corriente de 9 Amp, desgastara la batería en 2 horas, dependiendo del mantenimiento que se le dé, pueden durar de 4 a 5 años.



Gráfico 19: Batería

Fuente: http://www.renova-energia.com/productos_reguladores/index.html

2.3.2.4 Inversor.

Es el elemento que transforma las características de la corriente de continua a alterna. La mayoría de los aparatos eléctricos funcionan con corriente alterna.

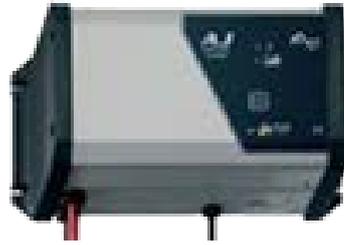


Gráfico 20: Inversor

Fuente: http://www.renova-energia.com/productos_reguladores/index.html

2.3.3 Sistema de seguimiento solar.

Para poder aprovechar de manera eficiente la mayor cantidad de energía emitida por el sol, se han diseñado sistemas 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 ó, traslación.

2.3.3.1 Soporte estático.

Soporte sencillo sin movimiento, que dota a los paneles de la inclinación más adecuada para captar la mayor radiación solar posible.

2.3.3.2 De un solo eje.

Realiza cierto seguimiento a través de rotación por un solo eje, siendo horizontal, vertical u oblicuo, este sistema es más sencillo y económico.

2.3.3.3 De dos eje.

Puede realizar un seguimiento total del sol debido al movimiento de traslación y rotación. Se desprecia por considerarse de poca repercusión.

Todos estos sistemas cuentan con diversos componentes tales como: sistemas mecánicos, sistemas de sensores para poder saber la posición del sol, actuadores y algún tipo de control para ejercer dichos movimientos de forma automática

2.3.4 Sistemas mecánicos.

Esta dado por una estructura o base donde se acopla 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.

2.3.4.1 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 actuadores (motor).

2.3.4.2 Actuador.

Es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado. Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control, pueden ser pasivos o activos

2.3.4.2.1 Pasivo.

No requieren energía del sistema para desplazar el panel

2.3.4.2.2 Activo.

Requieren energía del sistema de seguimiento solar para movilizar el panel; que puede ser un motor de corriente continua con caja reductora para aumentar el torque.

2.3.4.3 Controlador.

Una vez definido el sensor a utilizar, el control sirve para poder accionar el actuador que ubica el panel solar según la ubicación del sol y se realiza por algún algoritmo de control dentro de los cuales destacan, PID, lógica difusa, redes neuronales, etc.

2.4 Control basado en Lógica Difusa.

Aquí se verán los conceptos teóricos fundamentales y principios básicos del control basado en lógica difusa.

2.4.1 Lógica Difusa.

La lógica difusa es una lógica alternativa a la lógica clásica o binaria debido a que en el mundo real, en el que nos encontramos existe mucha información que es ambigua o imprecisa y que no puede ser tratada en su totalidad como un valor de verdadero o falso. La lógica difusa fue creada necesariamente para imitar el razonamiento del ser humano. Iniciada en 1965 por el profesor Lofti A. Zadeh, surgió como una importante herramienta para el desarrollo de sistemas de control y procesos industriales complejos.

La lógica bivalente permite trabajar con información definida y precisa, una afirmación es verdadera o falsa y no toma valores intermedios, la lógica difusa es un concepto mucho más extenso, debido a que puede tomar valores de entre cero y uno permitiendo trabajar con información que no es exacta para poder definir evaluaciones convencionales.

Se la aplica en procesos complejos, en donde no existe un modelo de solución simple ó un modelo matemático exacto. Tiene un sin número de aplicaciones en diversas ramas de la ciencia tales como: Lavadoras, cámaras fotográficas, controladores de proceso, etc.

2.4.2 Conjuntos difusos.

Los conjuntos clásicos se pueden definir mediante una función de pertenencia μ la cual toma valores de 0 ó 1 y se puede definir como:

$$\mu_A(X) = \begin{cases} 0 & \text{si } X \notin A \\ 1 & \text{si } X \in A \end{cases}$$

En cambio la lógica difusa trata con datos de alto grado de imprecisión y que se procesan en el cerebro humano así como “mucho”, “poco”, “bajo”, “caliente”, “frio”; es decir se encuentran asociados por un valor lingüístico que está definido por una palabra o adjetivo.

En los conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores de entre 0 y 1. La transición de dicho valor es gradual y no cambia de manera instantánea o abrupta como sucede en los conjuntos clásicos.

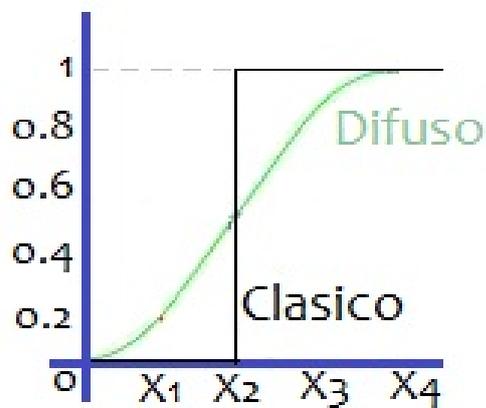


Gráfico 21: Definición de un conjunto clásico y difuso.
Fuente: Los autores.

Un conjunto difuso puede definirse como:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$$

Donde:

- $\mu_A(x)$: Es la función de membresía o de pertenencia para el conjunto de todos los elementos x en U .

Un conjunto difuso se simboliza mediante un conjunto ordenado de pares que aplican un grado de pertenencia a cada elemento x del universo de discurso U .

2.4.3 Función de pertenencia.

Asigna para cada uno de los valores de x un grado de pertenencia $\mu_A(x)$, el cual obtiene valores numéricos dentro del intervalo $[0,1]$. Cuando mas cerca este el conjunto A al valor de l mayor será el grado de pertenencia de la variable x , siendo l la pertenencia total del elemento al conjunto.

Cualquier función puede definir un conjunto difuso, pero normalmente se usan ciertas funciones debido a su simplicidad matemática, como las que se ilustran a continuación:

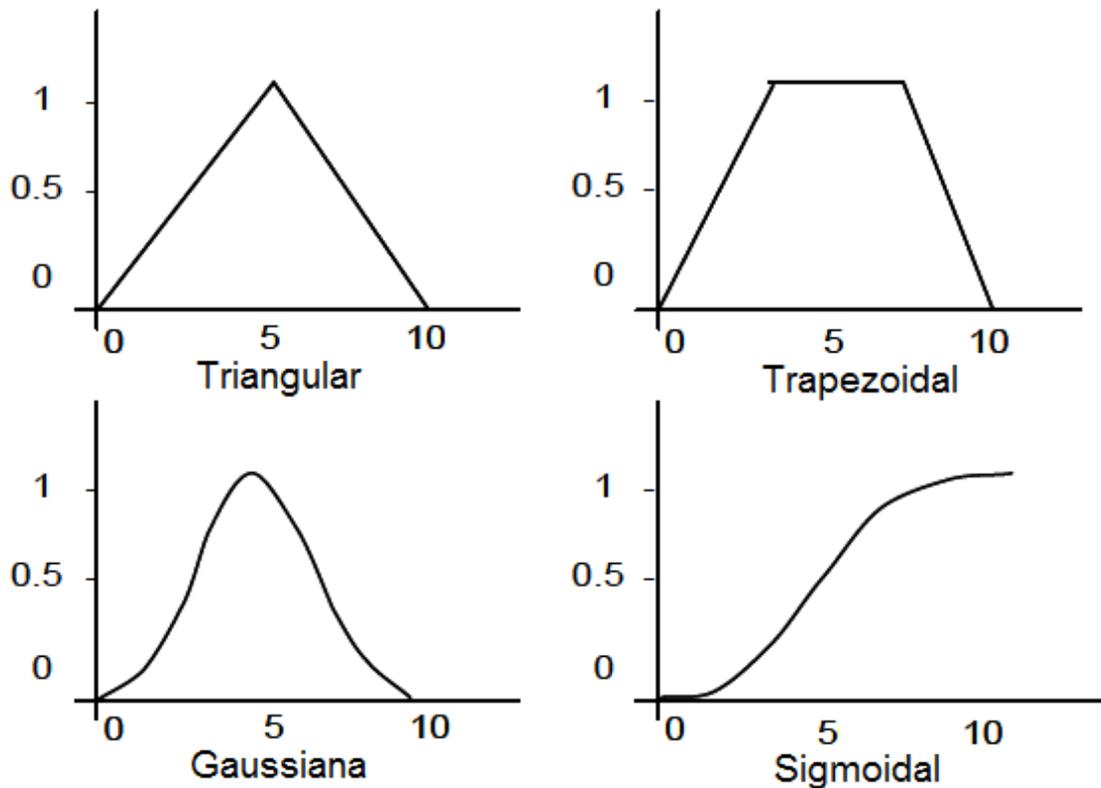


Gráfico 22: Tipos de funciones de pertenencia.
Fuente: Los autores

2.4.4 Operaciones con conjuntos difusos.

Para poder utilizar los conjuntos difusos es imprescindible poseer operaciones que nos dejen combinarlas. Por lo tanto para las operaciones básicas entre conjuntos difusos tenemos:

Igualdad: Dos conjuntos A y B determinados sobre el mismo universo U, el conjunto A es igual al conjunto B; si ambos tienen la misma función de pertenencia.

$$A = B \text{ si: } \mu A(x) = \mu B(x), \quad \forall x \in U$$

Inclusión o subconjunto: El conjunto A está contenido en B si para cualquier elemento del universo de discurso, la función de pertenencia de A es menor o igual a la función de pertenencia de B.

$$(A \subseteq B) \text{ si } \mu A(x) \leq \mu B(x), \quad \forall x \in U$$

Unión: La unión entre los conjuntos difusos A y B es un conjunto difuso cuya función de pertenencia para un elemento concreto del universo de discurso es la mayor de las funciones de pertenencia de A y B.

$$\mu A \cup B (x) = \max[\mu A(x), \mu B(x)], \quad \forall x \in U$$

Intersección: La intersección entre los conjuntos difusos A y B es un conjunto difuso cuya función de pertenencia para un elemento concreto del universo de discurso es la menor de las funciones de pertenencia de A y B.¹³

$$\mu A \cap B (x) = \min[\mu A(x), \mu B(x)], \quad \forall x \in U$$

Complemento: El complemento de un conjunto difuso A es otro conjunto difuso cuya función de pertenencia viene dada por:

$$\mu \bar{A}(x) = 1 - \mu A(x), \quad \forall x \in U$$

2.4.5 Variables lingüísticas.

Son aquellas variables que se representan con términos lingüísticos es decir toman como valores palabras o sentencias, contrarias a las variables algebraicas las cuales toman valores numéricos. Las palabras o sentencias no son exactas como lo son los números y se determinan mediante conjuntos difusos por ejemplo la temperatura en un tanque es una variable lingüística, donde temperatura es la etiqueta la cual puede tomar valores como “muy alta”, “alta”, “media”, “baja”, “muy baja”.

Las variables lingüísticas dan significados aproximados a las características de los sucesos o fenómenos que forman parte de un problema, proporcionando una transición gradual entre estados [0,1] como se observa en el siguiente grafico:

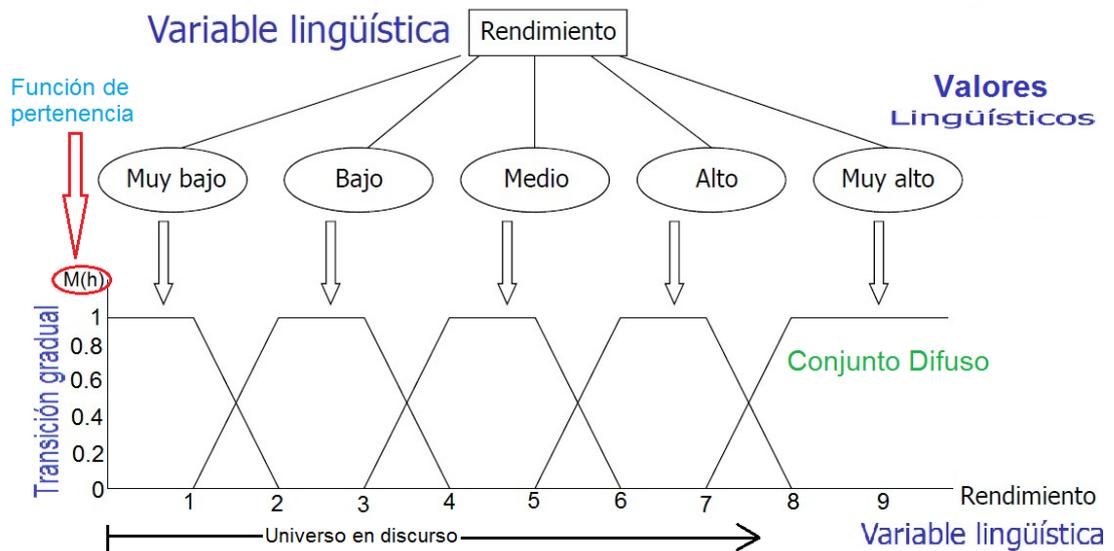


Gráfico 23: Variables lingüísticas.

Fuente: http://www4.ujaen.es/~mgacto/asignaturas/cl/tema3_cl.pdf

2.4.6 Reglas difusas.

Es el conjunto de proposiciones que modelan el problema que se quiere resolver. Una regla expresa un tipo de relación entre los conjuntos difusos, para ello se necesitan conectores.

2.4.7 Conectores.

Son sencillas palabras que tienen la capacidad de relacionar frases, por ejemplo:

Una frase modificada por la palabra “NO” se la llama negación de la frase original y se representa con el símbolo de: (\neg) .

La palabra “Y” es utilizada para unir dos frases, formando la conjunción de las mismas, se la representa con el símbolo: (\wedge) .

El conector “O” sirve para unir dos frases, formando la disyunción de estas, se representa con el símbolo: (\vee) .

A partir de dos sentencias podemos armar otra, como: “SI....., ENTONCES.....” al cual se le llama conector de implicación, así también; $(p \rightarrow q)$ que se lee p implica a q , para lo cual p y q son proposiciones y en donde el cumplimiento de una de las proposiciones en este caso p , tiene como consecuencia el cumplimiento de la otra q .

Se puede establecer una relación entre la teoría de conjuntos y la lógica proposicional, la existencia de este hecho nos permite traducir las reglas a relaciones entre conjuntos difusos.

Lógica proposicional	Teoría de conjuntos
\wedge	\cap
\vee	\cup
\sim	$-$

Gráfico 24: Correspondencia entre operadores lógicos y teoría de conjuntos.

Fuente: Los Autores.

Entonces una regla difusa simple podría ser:

Si X es A; entonces Y es B

Generalmente las reglas difusas tienen la siguiente forma:

SI “proposición difusa” ENTONCES “proposición difusa”

La proposición que sigue después de **SI** se le llama “*antecedente*” y la contigua a **ENTONCES** se denomina “*consecuente*”.

Se pueden formar reglas difusas a partir de dos o más proposiciones difusas entrelazadas por medio de conectores:

- Y / \wedge representando intersección difusa
- O / \vee representando unión difusa
- NO / \neg representando complemento difuso

De allí que se puede obtener una proposición difusa compuesta como la que sigue:

“Si U_1 es A_1 y U_2 es A_2 y U_3 es A_3 U_n es A_n entonces V es B ”

En una sentencia difusa compuesta pueden intervenir algunas variables difusas, y multi-antecedentes, este tipo de reglas, que combina varias variables en el antecedente, es el más usado en la implementación de sistemas difusos. Un sistema difuso estará conformado por diversas reglas.

Para obtener el conjunto de reglas pertenecientes a un conjunto de valores numéricos podemos:

- Dejar que los valores constituyan los conjuntos difusos que se muestran en los antecedentes y consecuentes.
- Predefinir los conjuntos difusos para antecedentes y consecuentes y después asociar los valores a dichos conjuntos.

Para tener el conjunto de reglas que modelan un problema se puede partir de examinar todas las combinaciones de reglas, que se pueden obtener, entre el número de antecedentes y el número de conjuntos difusos de entrada para cada uno. Sin embargo entre las reglas teóricamente posibles para cada consecuente, habrá varias que no tengan sentido físico, sean absurdas y otras que no se ajustan a las

características del problema a resolver. Entonces se debe seleccionar el conjunto de reglas más idóneo para resolver el problema en cuestión.

2.4.8 Implicación difusa.

Expresa la relación entre el antecedente y el consecuente de una regla. La proposición “SI u es A , ENTONCES v es B ” tiene asociada una función característica $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$, la cual toma valores en el intervalo $[0, 1]$. Es decir cada una de las proposiciones ó reglas del sistema SI – ENTONCES, forman un conjunto difuso con sus propias características y funciones de membresía las cuales miden el grado de pertenencia o verdad de la relación de implicación entre el antecedente y el consecuente.

2.4.9 Sistemas basados en técnicas de lógica difusa.

Es el proceso de interpretación de una regla SI – ENTONCES que implica varios pasos o bloques como se muestra en el siguiente diagrama de bloques:



Gráfico 25: Esquema general de un sistema basado en lógica difusa.
Fuente: Los Autores

2.4.9.1 Bloque fusificador.

Tiene como fin transformar los valores “crisp” o valores reales en valores difusos. En este bloque se asigna los grados de verdad o pertenencia a cada variable de entrada con relación a los conjuntos difusos ya definidos utilizando las funciones de membresía.

2.4.9.2 Bloque de inferencia.

Bloque que mediante mecanismos de inferencia, asocian los conjuntos difusos de entrada con los conjuntos difusos de salida para poder representar las reglas difusas que definirán el sistema. En este bloque se usa la información a base de experiencia para crear reglas mediante el empleo de condiciones como:

“SI X=A y Y=B ENTOCES Z=C”.

2.4.9.3 Bloque defusificador.

Este bloque realiza el proceso de acondicionar los valores difusos obtenidos en el bloque de inferencia en valores reales, que luego se emplearán en el proceso de control. Para obtener dichos valores reales se aplica métodos matemáticos simples, tales como:

2.4.9.3.1 Método del máximo.

En este método se escoge como valor para la variable de salida aquel para el cual la función característica del conjunto difuso de salida es máxima. No es un método muy eficiente ya que este valor máximo puede ser alcanzado por varias salidas.

2.4.9.3.2 Método del centroide.

Este método usa como salida del sistema el centro de gravedad de la función característica de salida, mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{y} = \frac{(\int y \mu_b(y) dy)}{(\int \mu_A(y) dy)}$$

Este método es el más empleado, ya que se obtiene un solo valor; aunque es complicado de calcular.

2.4.9.3.3 Método de la altura.

Para cada regla que conforma el sistema se debe calcular el centro de gravedad, una vez obtenidos estos valores la salida final del sistema será la media ponderada de dichos valores.

3. CAPÍTULO 3: DISEÑO

En el presente capítulo se tratara de explicar los diferentes diseños elaborados e implementados tanto electrónicos como mecánicos para el correcto funcionamiento del seguidor solar.

3.1 Diseño electrónico.

El cual consta de tres etapas fundamentales en el diseño de cualquier sistema de control electrónico, los reconoceremos como módulo de sensores, módulo de control, módulo de fuerza.

3.1.1 Módulo de sensores.

Es la primera etapa de un sistema de control donde se adquieren las señales físicas, en nuestros caso adquirimos el grado de luminiscencia (Lux); los mismos que serán transformados en señales eléctricas de voltaje para ser llevados al módulo de control. El módulo está constituido por dos LDR que forman un circuito de divisor de voltaje.

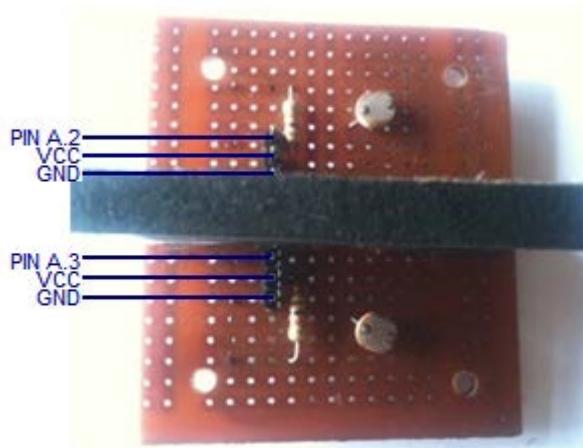


Gráfico 26: Módulo para medición de luz.
Fuente: Los autores.

3.1.1.1 Relación entre resistencia de los LDR vs Lux.

A continuación se presenta una relación entre la resistencia de los LDR vs la luminiscencia.

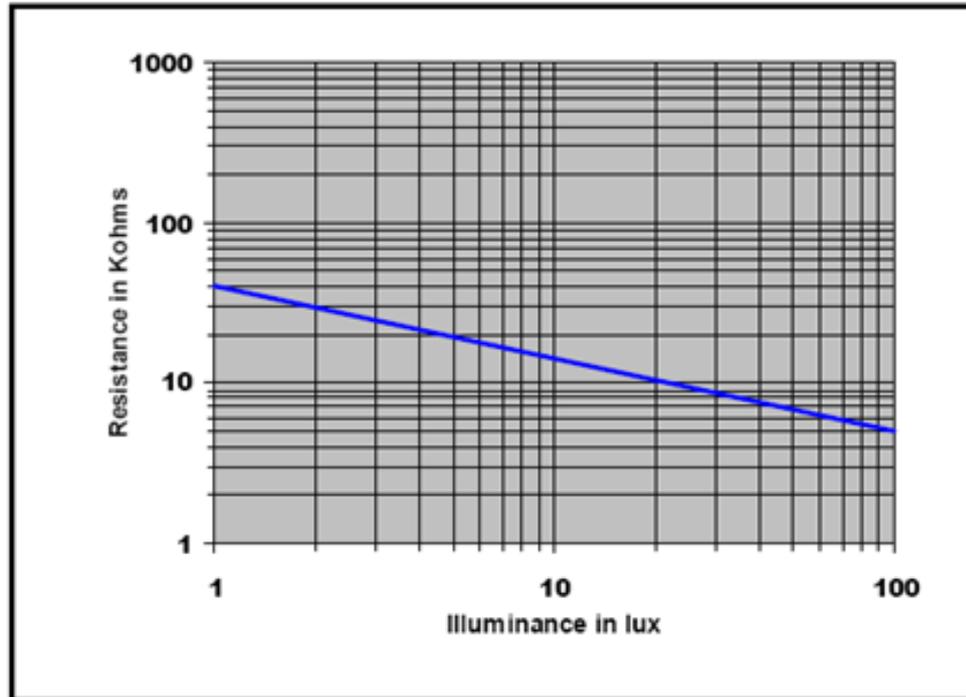


Gráfico 27: Cell resistance vs. Illuminance.
Fuente: data sheet Advanced Photonix, Inc.

Para conocer el nivel de luminiscencia; es necesario saber la resistencia del LDR en esos momentos, para así relacionarla con la gráfica; para esto ya tenemos el valor ADC que obtenemos del microcontrolador que varía de 0 a 1024, este valor es en función del voltaje que recibe el microcontrolador de 0 a 5v.

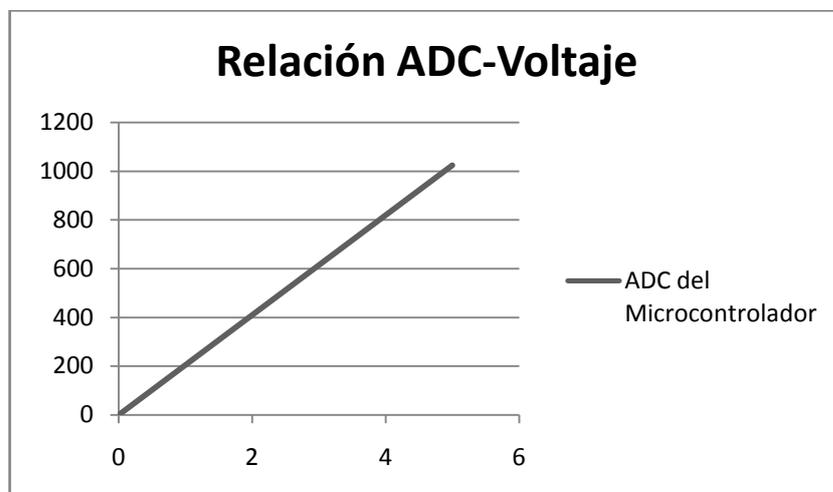


Gráfico 28: Relación ADC-Voltaje.
Fuente: Los autores.

$$V(ldr) = \frac{5 * ADC}{1024}$$

Ahora con la fórmula del divisor de voltaje.

$$V(ldr) = \frac{5 * R(ldr)}{1000 + R(ldr)}$$

Remplazando $V(ldr)$

$$\frac{5 * ADC}{1024} = \frac{5 * R(ldr)}{1000 + R(ldr)}$$

Despejando $R(ldr)$ va ser igual a

$$R(ldr) = \frac{-5000 * ADC}{(5 * ADC) - 5120}$$

3.1.1.2 Esquemático.

Está constituido por dos divisores de voltaje con su LDR y una resistencia de 10K. En la gráfica también se muestra la conexión con los respectivos pines del microcontrolador en este caso el A.2 y A.3

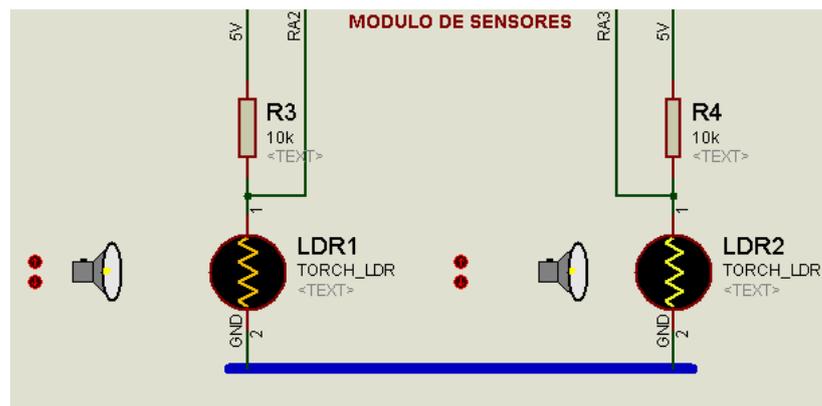


Gráfico 29: Esquemático del módulo de medición de luz.

Fuente: Los autores.

3.1.2 Módulo de medición de potencia.

Es el encargado de medir la corriente y voltaje que entrega nuestro panel solar. Está constituido por un divisor de voltaje y una resistencia shunt conectada al panel para obtener una tensión pequeña en función de la corriente. La tensión en la resistencia

shunt es demasiado pequeña por lo que se va pasar por un bloque de amplificación para obtener señales de salida de 0 a 4.8Vdc.



Gráfico 30: Módulo para medición de potencia.
Fuente: Los autores.

3.1.2.1 Esquemático.

En el esquemático se presenta las resistencias utilizadas para obtener la salida de tensión indicada. Se muestra también la conexión con los pines del microcontrolador, en este caso el pin A.1 y A.5.

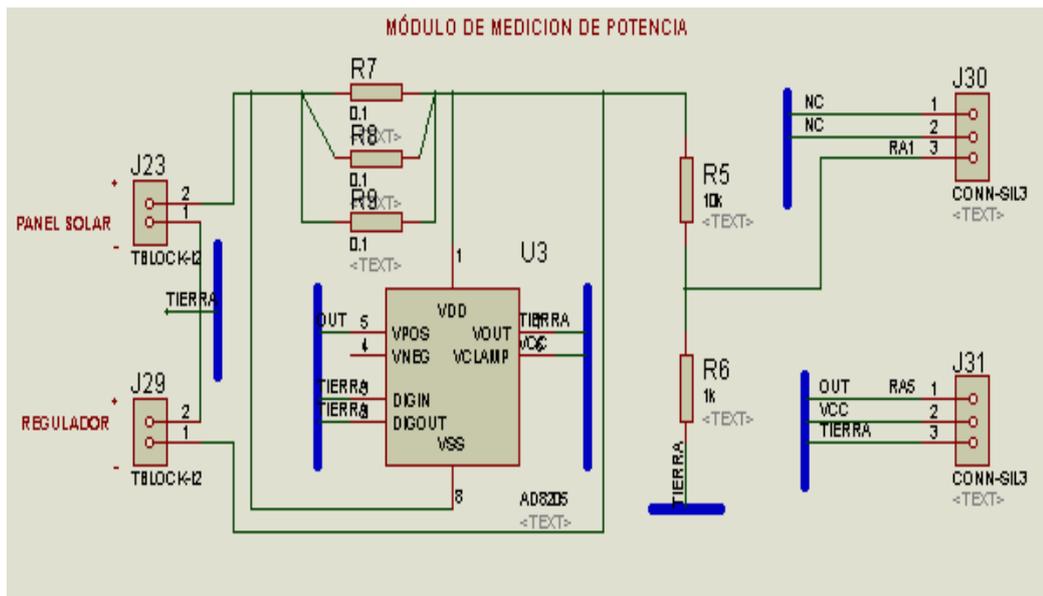


Gráfico 31: Esquemático del módulo de medición de potencia.
Fuente: Los autores.

3.1.3 Módulo de control.

Recibe las señales del módulo de sensores y ejerce un control de acuerdo a la programación realizada en el microcontrolador, adicionalmente posee un puerto USB para poder utilizarlo como dispositivo de adquisición de datos.

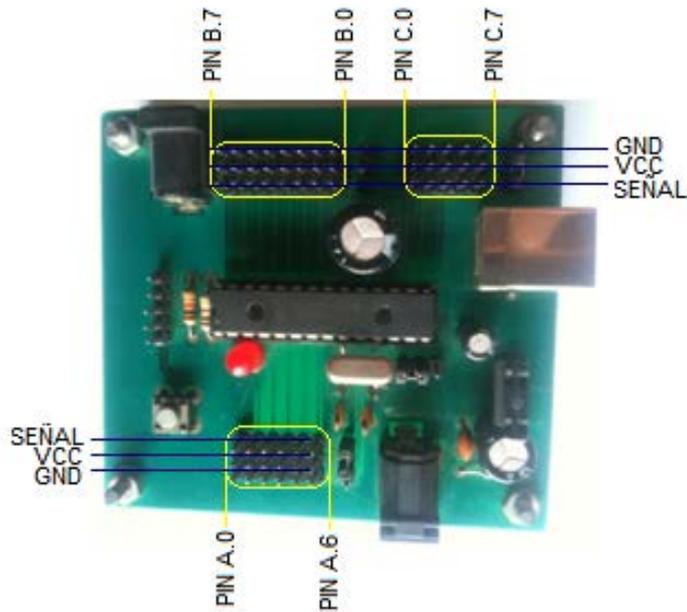


Gráfico 32: Tarjeta de control y adquisición de datos.
Fuente: Los autores.

3.1.3.1 Esquemático.

En el siguiente gráfico podemos observar las conexiones entre los distintos elementos de la tarjeta de control.

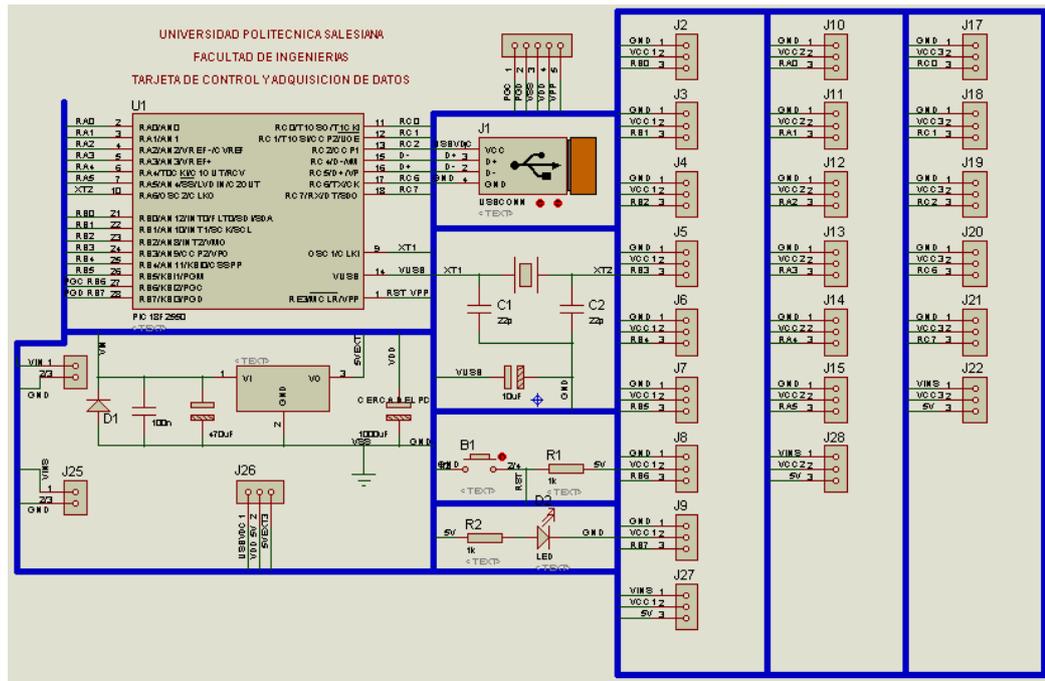


Gráfico 33: Esquemático de la tarjeta de control y adquisición de datos.
Fuente: Los autores.

3.1.3.2 Partes del circuito.

En esta sección se va explicar cada parte del módulo de control.

3.1.3.2.1 Conexionado del microcontrolador.

La tarjeta consta de un microcontrolador 18F2550, que tiene los periféricos para conexión USB y maneja dos salidas PWM que son configurables. La tarjeta ha sido diseñada de tal manera que pueda ser usado en cualquier tipo de aplicación. Por esa razón se dejaron pines de conexión para todos los puertos de microcontrolador.

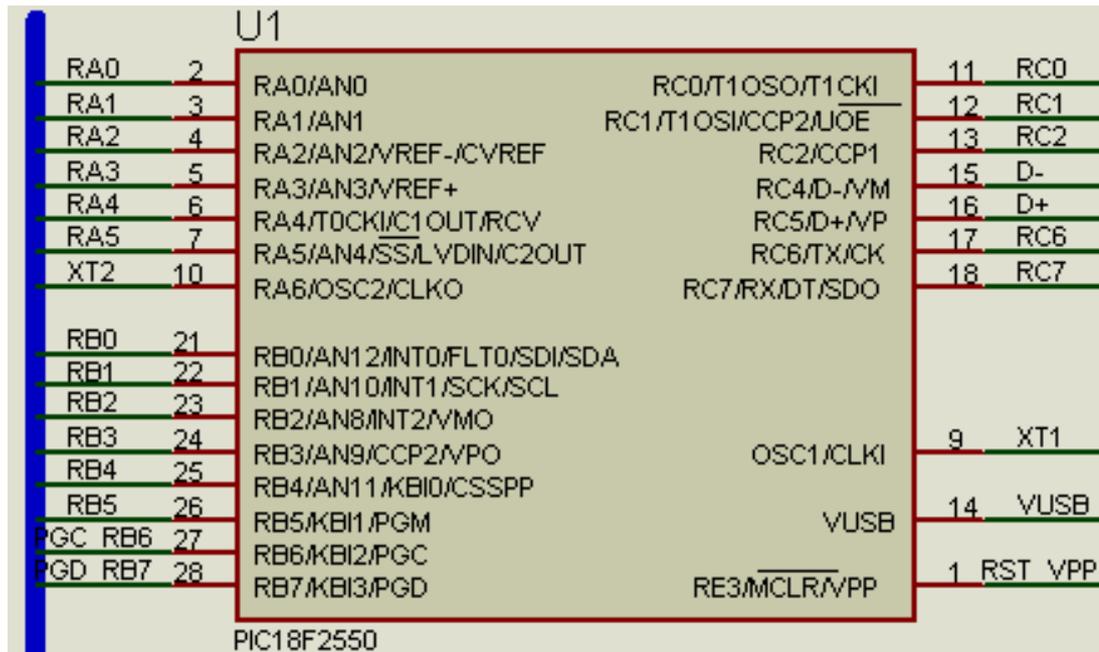


Gráfico 34: Esquemático del Microcontrolador PIC 18f2550 con sus conexiones.
Fuente: Los autores.

3.1.3.2.2 Circuito regulador de voltaje.

Regula la tensión positiva de 5 Volts a 1A, la tensión justa y mucha más corriente de la que necesita nuestro módulo para funcionar. Mantendrá fija la tensión en 5V, siempre y cuando en su entrada reciba al menos 6V.

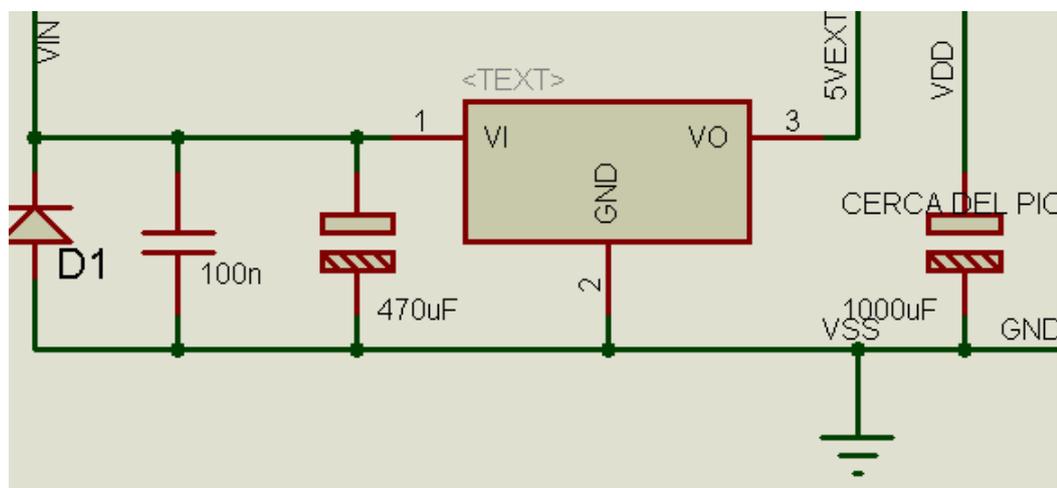


Gráfico 35: Esquemático del circuito regulador de voltaje.
Fuente: Los autores.

3.1.3.2.3 Circuito del oscilador de frecuencia.

Es como el motor del microcontrolador y le indica a qué velocidad debe trabajar, la frecuencia de oscilación se elige de acuerdo a las recomendaciones del fabricante que se especifica en el datasheet.

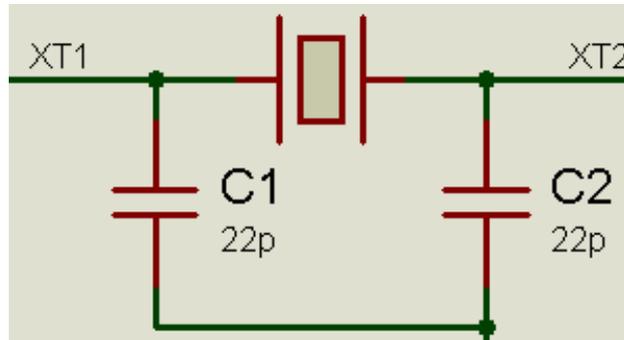


Gráfico 36: Esquemático del circuito oscilador de frecuencia.
Fuente: Los autores.

3.1.3.2.4 Circuito de reset externo.

Consta de una resistencia pull-up y un pulsador, en caso de querer reiniciar la programación del microcontrolador se presiona dicho pulsador.

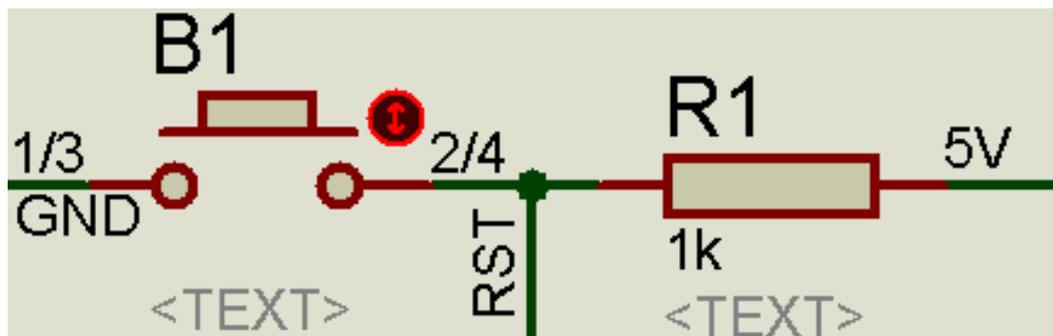


Gráfico 37: Esquemático del circuito de reset externo.
Fuente: Los autores.

3.1.3.2.5 Puerto A, B, C.

El microcontrolador PIC 18F2550 tiene tres puertos de entrada-salida, algunos puertos los podemos configurar para que puedan recibir entradas analógicas si se lo requiere.

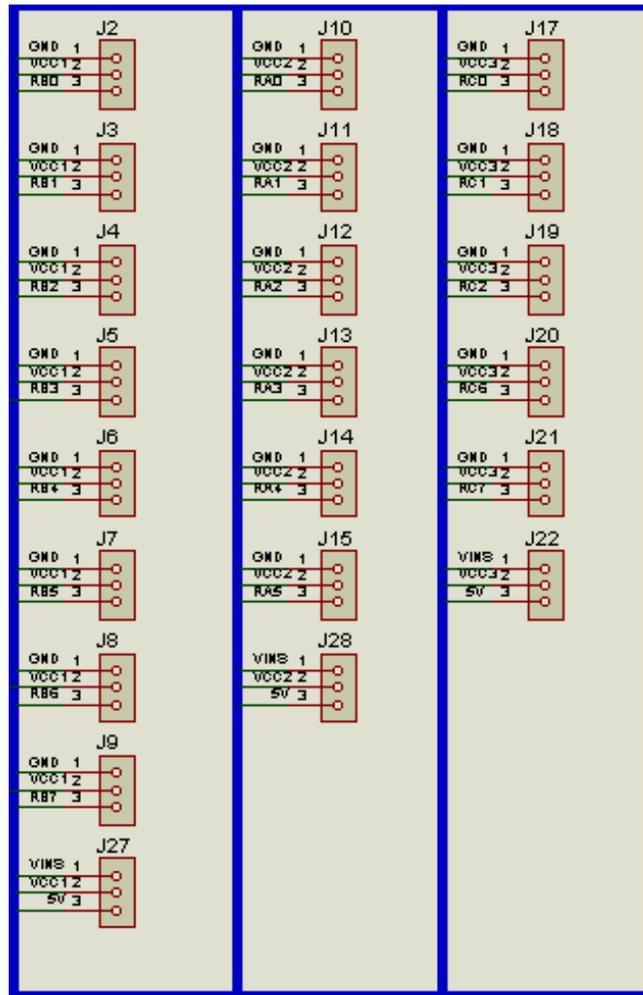


Gráfico 38: Esquemático de los puertos I/O del microcontrolador
Fuente: Los autores.

3.1.3.2.6 Puerto USB.

Se conecta mediante el pin D+ y D- del microcontrolador, se debe tomar en cuenta que los pines de alimentación del conector USB pueden ser usados para alimentar la tarjeta y así ya no hacemos uso de la fuente externa.

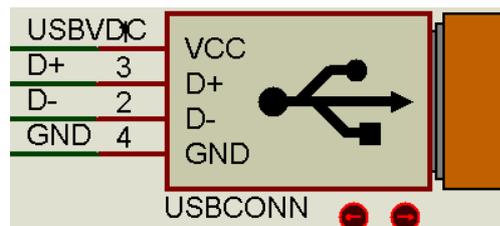


Gráfico 39: Esquemático de conector USB.
Fuente: Los autores.

3.1.4 Módulo de fuerza.

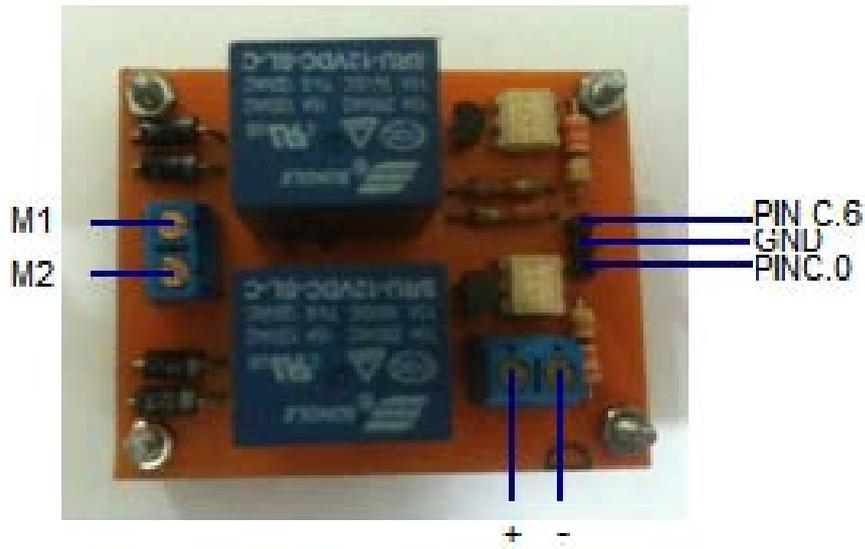


Gráfico 40: Puente en H del seguidor solar.
Fuente: Los autores.

Es la última etapa del diseño electrónico y comprende el circuito que va controlar el movimiento del eje del panel y por ende el que va consumir más carga. Este módulo recibe las señales de control del microcontrolador y activa los relés para hacer los giros.

movimiento más significativo durante el día y por ende se optimizará de mejor manera la captación de energía solar.



Gráfico 42: Vista frontal de la estructura del seguidor solar.
Fuente: Los autores.

3.2.2 Partes de la estructura.

En esta sección se va explicar cada parte de la estructura.

3.2.2.1 Motor limpiavidrios.

Los motores de limpiaparabrisas son DC. Estos motores si se cambia su polaridad en la batería giran en sentido contrario. Internamente los motores limpiavidrios están compuestos de un mecanismo piñón-sinfín lo que le da al eje final una gran ganancia de fuerza y una reducción de velocidad.



Gráfico 43: Motor limpiaparabrisas de carro.
Fuente: Los autores.

3.2.2.2 Caja reductora sinfin.

Está compuesto por un engranaje dentado, normalmente de bronce en cuyo centro está sujeto a un eje de acero (eje lento), este engranaje está en contacto permanente con un husillo de acero en forma de tornillo sin-fin. Un giro del motor equivale a tomar un único diente del engranaje dentado.



Gráfico 44: Caja reductora sinfín-piñón.
Fuente: Los autores.

3.2.2.3 Chumaceras.

Permite el soporte para la rotación de un eje, está compuesto de una parte rotativa y una fija, el cuerpo de la chumacera puede estar construido de los siguientes materiales: plástico, aluminio, acero y acero inoxidable.



Gráfico 45: Chumacera de 1 pulgada.
Fuente: Los autores.

3.2.2.4 Base del seguidor solar.

La base de la estructura está elaborada de hierro, con ángulos y cuadrados de 1 pulgada y dos repisas para la ubicación de los equipos del sistema fotovoltaico, se le agregó ruedas para una fácil movilidad y una repisa para la ubicación de la electrónica.



Gráfico 46: Base del seguidor solar con sus elementos.
Fuente: Los autores.

3.2.2.5 Acople motor limpiavidrios – caja reductora

Están acoplados mediante una platina con un ángulo de 45 grados, que sirven como soporte para la caja reductora y el motor limpiavidrios, y a su vez unen los ejes del motor y el orificio de la caja reductora.



Gráfico 47: Acople entre el motor DC y la caja reductora.
Fuente: Los autores.

3.2.2.6 Acople base del seguidor solar – eje del panel solar.

La chumacera es el elemento que une el eje que mueve el motor con la base del seguidor solar ya que posee internamente rodamientos que permite el movimiento del eje del panel y a su vez estar unido a la base del seguidor solar.



Gráfico 48: Acople del eje del panel solar y la base mediante chumaceras.
Fuente: Los autores.

4. CAPÍTULO 4: CONTROLADOR DIFUSO Y MONITOREO.

En el presente capítulo se abarcara el diseño del controlador difuso para el seguidor solar así como también el monitoreo en Labview mediante USB.

4.1 Diseño del Controlador Difuso.

Para la elaboración de cualquier controlador difuso es necesario seguir los siguientes pasos que se irán explicando en los siguientes subcapítulos. De igual manera se estará realizando la aplicación a nuestro proyecto.

4.1.1 Identificar las variables.

Para identificar nuestras variables (entradas, estados, salidas) de la planta es necesario tener una vista panorámica del proyecto e identificar que datos nos pueden dar información de nuestro sistema y con qué datos podemos controlarlo. En nuestro caso nuestro principal dato es poder medir en qué posición hay mayor incidencia de luz, por lo que aplicamos el diferencial (Delta) que existe entre dos sensores de luz separadas por un obstáculo y cuando ambos sensores tengan la misma intensidad de luz, esa es la posición indicada.

Una segunda variable es medir la intensidad de luz de cada LDR independientemente y poder identificar días soleados y nublados.

La última variable sería el control del actuador que se realiza mediante un puente en h, este permite el movimiento del panel en ambos sentidos este-oeste y oeste-este a través de relés.

Entradas: Ldr1, Ldr2, Delta

Salida: Relé

4.1.2 Particionar el universo.

Particionar el universo para cada variable en conjuntos difusos, etiquetas lingüísticas y funciones de membresía. Es decir para cada variable tenemos que asignarle la cantidad de conjuntos difusos y el rango de valores que tiene cada conjunto difuso, esta información se basa esencialmente en la experiencia del operador. En nuestro

caso con las pruebas que hemos realizado durante el transcurso del día, hemos logrado definir los valores que nos permiten tener una mayor potencia de salida. Los gráficos con sus respectivas etiquetas lingüísticas y funciones de membresía se presentan a continuación.

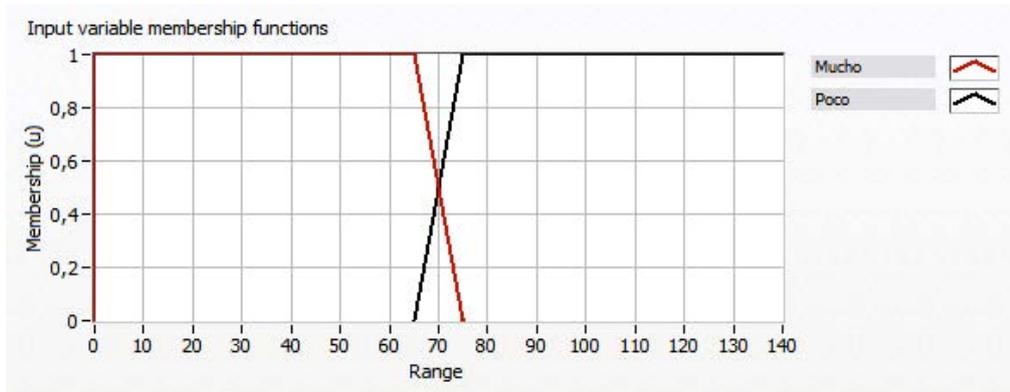


Gráfico 49: Funciones de membresía de las variables Ldr1 y Ldr2.
Fuente: Los autores.

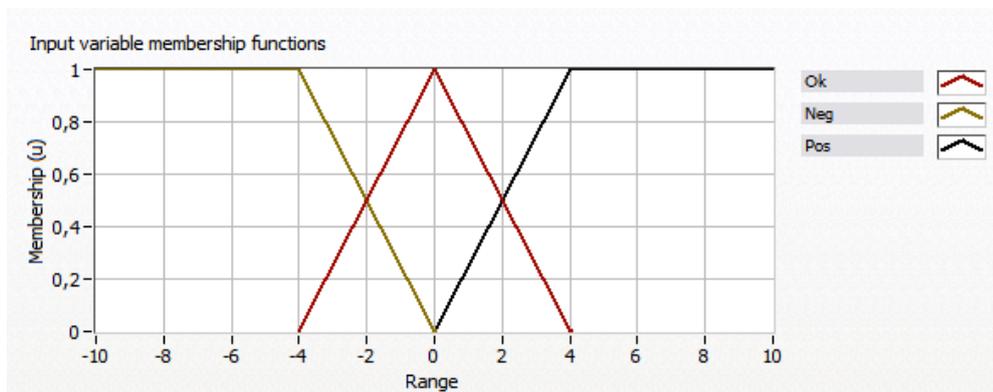


Gráfico 50: Funciones de membresía de la variable Delta.
Fuente: Los autores.

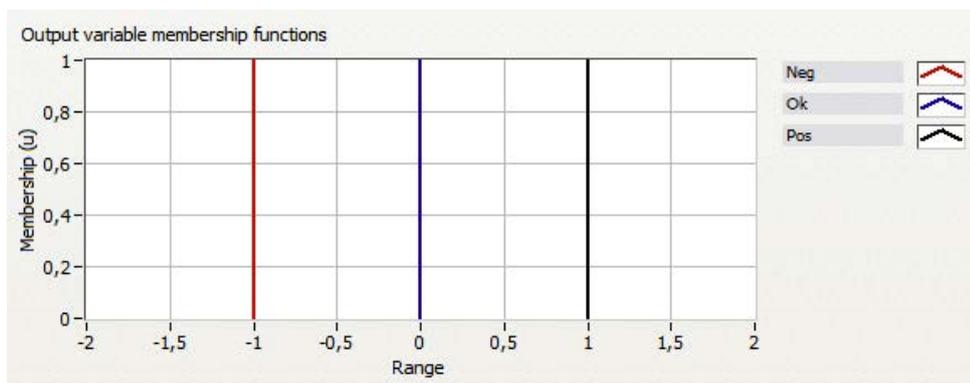


Gráfico 51: Funciones de membresía de la variable de salida.
Fuente: Los autores.

4.1.3 Asignación de relación

En este paso lo que se hará es asignar la relación difusa entre los conjuntos difusos de las entradas o estados y los conjuntos difusos de salida lo que constituye la base de reglas. Es decir que en esta parte definimos el conjunto de reglas y el método de inferencia basado en nuestra experiencia y siguiendo los siguientes lineamientos.

- Que el panel no ejecute movimiento alguno si el día es nublado.
- Y que el sistema busque la igualdad o una aproximación a ella entre los sensores de luz.

Rules

```
1. IF 'LDR.1' IS 'Poco' AND 'LDR.2' IS 'Mucho' AND 'DELTA' IS 'Ok' THEN 'Rele' IS 'Ok'  
2. IF 'LDR.1' IS 'Poco' AND 'LDR.2' IS 'Mucho' AND 'DELTA' IS 'Neg' THEN 'Rele' IS 'Pos'  
3. IF 'LDR.1' IS 'Poco' AND 'LDR.2' IS 'Mucho' AND 'DELTA' IS 'Pos' THEN 'Rele' IS 'Ok'  
4. IF 'LDR.1' IS 'Poco' AND 'LDR.2' IS 'Poco' AND 'DELTA' IS 'Pos' THEN 'Rele' IS 'Ok'  
5. IF 'LDR.1' IS 'Poco' AND 'LDR.2' IS 'Poco' AND 'DELTA' IS 'Neg' THEN 'Rele' IS 'Ok'  
6. IF 'LDR.1' IS 'Mucho' AND 'LDR.2' IS 'Poco' AND 'DELTA' IS 'Pos' THEN 'Rele' IS 'Neg'  
7. IF 'LDR.1' IS 'Mucho' AND 'LDR.2' IS 'Poco' AND 'DELTA' IS 'Neg' THEN 'Rele' IS 'Ok'  
8. IF 'LDR.1' IS 'Mucho' AND 'LDR.2' IS 'Poco' AND 'DELTA' IS 'Ok' THEN 'Rele' IS 'Ok'  
9. IF 'LDR.1' IS 'Mucho' AND 'LDR.2' IS 'Poco' AND 'DELTA' IS 'Ok' THEN 'Rele' IS 'Ok'
```

Gráfico 52: Conjunto de reglas.

Fuente: Los autores.

4.1.4 Implementación del controlador difuso en lenguaje C.

Ahora tenemos que elaborar un programa en lenguaje C que siga todos los pasos de un controlador difuso que son:

- o Fuzzificación
- o Evaluación de reglas
- o Defuzzificación

Cada una está dividida en funciones que son nombradas desde el programa principal.

Y de manera secuencial, ejecuta cada parte del controlador difuso.

4.1.4.1 Función fuzzificador.

Se cambian las variables al dominio fuzzy, dividido en conjuntos difusos, asignándole su respectivo grado de pertenencia. En nuestro caso las tres variables Ldr1, Ldr2 y Delta están representados por los grados de pertenencia F1 [x], F2 [x] y F3 [x] respectivamente.

```
////////////////////////////////////  
//Funcion de Fuzzificar          ///  
////////////////////////////////////  
void fuzzificador(float data1,float data2,float data3){  
    F1[0]=F1_ecuacion_muc(data1);  
    F1[1]=F1_ecuacion_poc(data1);  
    F2[0]=F2_ecuacion_muc(data2);  
    F2[1]=F2_ecuacion_poc(data2);  
    F3[0]=F3_ecuacion_neg(data3);  
    F3[1]=F3_ecuacion_ok(data3);  
    F3[2]=F3_ecuacion_pos(data3);  
}
```

Gráfico 53: Función fuzzificador programado en C.
Fuente: Los autores.

De igual manera a partir de la función fuzzificador se llamarán a otras funciones más que pertenecen a los conjuntos difusos y a las funciones de membresía.

4.1.4.2 Función reglas.

En esta función se evalúan cada una de las reglas y se aplica el método de inferencia designado, todas estas reglas se han tomado en base a lo estudiado y las pruebas que se han hecho para tener mayor potencia de salida.

```

void reglas(float d1, float d2, float d3) {
    if (LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_OK) {
        GET_MIN(F1[1], F2[1], F3[1], OK);
        var++;
    }
    if (LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_OK) {
        GET_MIN(F1[1], F2[0], F3[1], OK);
        var++;
    }
    if (LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_NEG) {
        GET_MIN(F1[1], F2[0], F3[0], OK);
        var++;
    }
    if (LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_POS) {
        GET_MIN(F1[1], F2[0], F3[2], NEG);
        var++;
    }
    //-----//
    if (LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_POS) {
        GET_MIN(F1[1], F2[1], F3[2], OK);
        var++;
    }
    if (LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_NEG) {
        GET_MIN(F1[1], F2[1], F3[0], OK);
        var++;
    }
    if (LDR1_IS_MUCHO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_POS) {
        GET_MIN(F1[0], F2[1], F3[2], OK);
        var++;
    }
}

```

Gráfico 54: Función reglas programado en C.
Fuente: Los autores.

Se podrá observar que se llama a la función GET_MIN, este aplica el método de inferencia y almacena en variables los resultados de cada regla.

4.1.4.3 Función defuzzificador.

Es la última etapa del controlador difuso y por ende obtendremos un resultado que nos representará la salida de nuestro relé. La función consiste en seleccionar el conjunto difuso que tuvo el mayor grado de pertenencia entre todas las reglas.

```

////////////////////////////////////
//Funcion de Defuzzificador          ////
//Metodo del Maximo                  ////
////////////////////////////////////
signed int16 defuzzificador() {
    float num=0;
    signed int16 result=0;
    unsigned char cont;
    for(cont=0;cont<var;cont++){
        if (cont==0){
            num=WEIGHT[cont];
            result=middele[cont];
        }else{
            if (WEIGHT[cont]>num){
                num=WEIGHT[cont];
                result=middele[cont];
            }
        }
    }
    var=0;
    return (signed int16)result;
}

```

Gráfico 55: Función defuzzificador programado en C.
Fuente: Los autores.

4.2 Monitoreo en Labview mediante USB.

4.2.1 Arquitectura del puerto USB.

La conexión USB ha tomado un gran apunte en los últimos años aunque es bastante complicado de implementar ya que su funcionamiento está basado en protocolos de software.

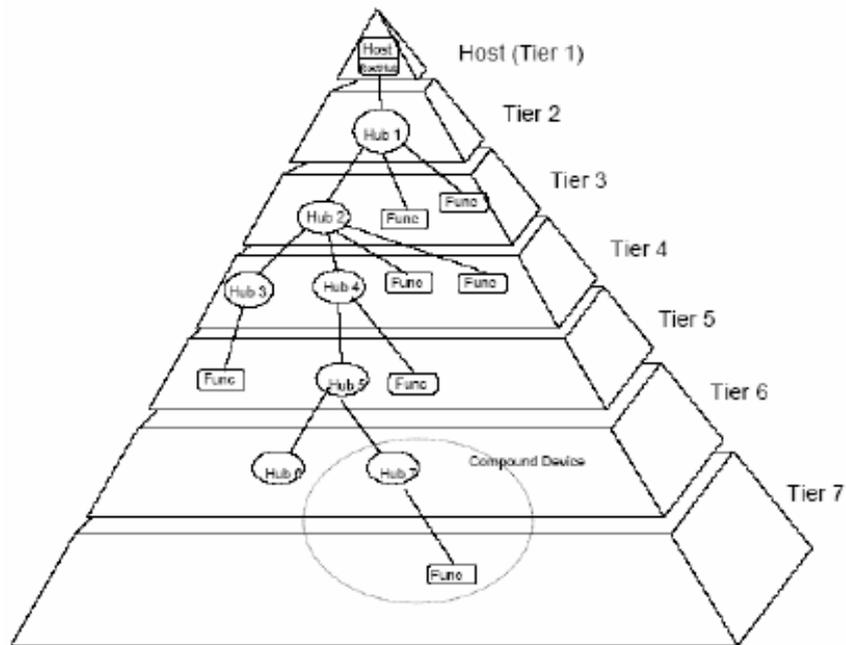


Gráfico 56: Estructura de capas del bus USB
 Fuente: Julio Lugo, Integración de PIC18F2455 de Microchip con LabVIEW 8.2 de National

4.2.2 Interconexión.

El dispositivo USB dispone de 2 tipos de conectores (A y B) como se observa en la figura, que pueden ser a su vez macho o hembra.

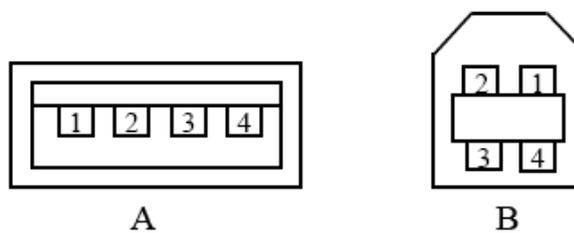


Gráfico 57: Conectores USB
 Fuente: J. A. Pérez Cueto, Comunicación USB de Alta Velocidad entre LABVIEW y un microcontrolador

A continuación les mostraremos una tabla con la distribución de los pines del conector USB

Pin	Nombre	Color de cable
1	+5.0V	Rojo
2	Data-	Blanco
3	Data+	Verde
4	Tierra	Negro

Gráfico 58: Pines de conexión USB.

Fuente: J. A. Pérez Cueto, Comunicación USB de Alta Velocidad entre LABVIEW y un microcontrolador

4.2.3 Comunicación entre la PC y el dispositivo USB.

Existen tres maneras de establecer la comunicación por USB.

1. **Bulk-Transfers:** Transferencia de datos de manera masiva.
2. **CDC:** Que es la emulación de un puerto serial.
3. **HID:** Dispositivos de interfaz humana.

4.2.4 Flujo de datos mediante transferencia bulk.

En este proyecto se eligió la opción BulkTransfers, debido a que nuestro sistema necesita el mejor tiempo de respuesta posible y con este tipo de comunicación puede llegar a ver un flujo de datos de hasta 12Mb/s.

El flujo de datos USB se hace a partir del software LABVIEW que manipula al dispositivo USB a través de la librería *mpusbapi*. La librería realiza la transmisión de datos a la dirección del dispositivo, que el host USB configuró al usar el driver. El driver establece el puente entre la PC y el microcontrolador. Dentro del microcontrolador se ejecuta el firmware el cual se comunica con elementos de la Tarjeta de Adquisición de Datos, que realizan algunas funciones útiles para el usuario.

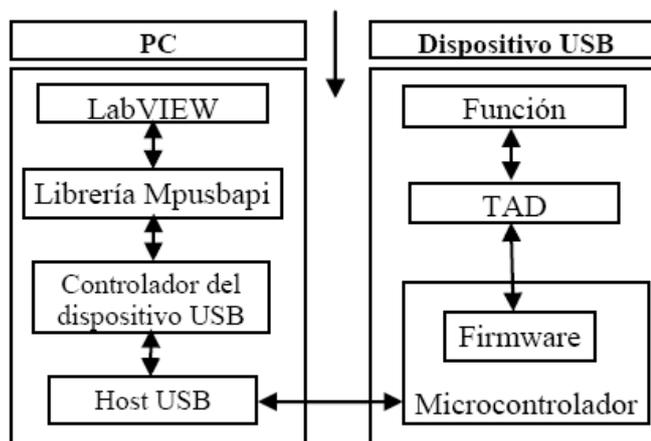


Gráfico 59: Etapas de comunicación entre la PC y el USB.

Fuente: J. A. Pérez Cueto, Comunicación USB de Alta Velocidad entre LABVIEW y un microcontrolador.

4.2.5 Archivo mpusbapi.dll de microchip.

Para una mayor facilidad de desarrollo de aplicaciones basadas en el bus USB, Microchip ha creado un archivo (dll) en el que proporciona las funciones de acceso al puerto USB con un microcontrolador de la familia PIC18Fxx5x. Para un funcionamiento correcto, se necesita el driver mchpubs.sys. Este driver sirve tanto para Visual Basic, Visual C, como para Labview entre otros. Este archivo se lo puedo encontrar en la página de microchip y es gratuito.

4.2.6 Ventajas del puerto USB.

- Altas velocidades de hasta 12 Mb/s.
- Cableado sencillo.
- Es un puerto universal y hay en la mayoría de los ordenadores.



Gráfico 60: Cable USB.

Fuente: <http://www.pcdigital.com.mx/cable-pimpresora-metros-manhattan-317863-gris-p-3074.html>

4.2.7 Descripción del VI para el monitoreo del seguidor solar.

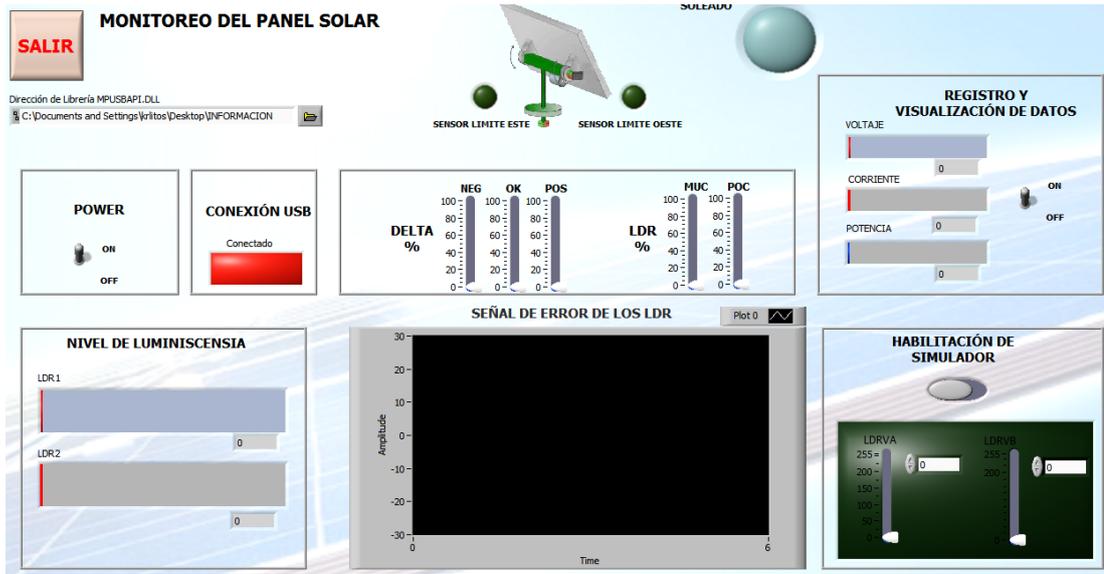


Gráfico 61: Panel Frontal del sistema de monitoreo.
Fuente: Los autores.

A continuación se explicarán las distintas partes que componen el VI del monitoreo para el panel solar.

4.2.7.1 Link de enlace con el archivo mpushapi.dll.

En esta etiqueta definimos el enlace donde se encuentra ubicado nuestro archivo mpushapi.dll y de esta manera realizar el enlace entre Labview y el microcontrolador.

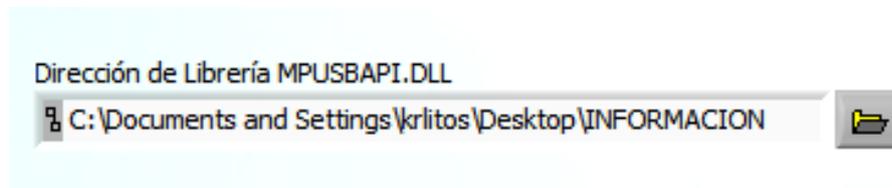


Gráfico 62: Pestaña con la ruta al archivo mpush.
Fuente: Los autores.

4.2.7.2 Habilitación del lazo de transferencia de datos.

A partir de este interruptor virtual habilitamos el lazo de comunicación al ubicar el interruptor en la posición de “ON” y lo deshabilitamos en el caso de tener el interruptor en la posición de “OFF”.

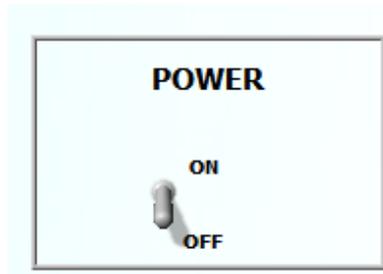


Gráfico 63: Interruptor de lazo de comunicación.
Fuente: Los autores.

4.2.7.3 Led indicador de conexión.

Aun teniendo habilitado el interruptor de “POWER”, no tenemos una certeza de que se esté realizando el lazo de comunicación entre Labview y el microcontrolador, por lo que se incorporó este LED que recibe una respuesta del microcontrolador y se muestra en el VI indicando una conexión exitosa.



Gráfico 64: Led virtual de indicación de conexión.
Fuente: Los autores.

4.2.7.4 Barras indicadoras de nivel de luminiscencia.

En las dos graficas de barra se indica el ADC del microcontrolador que a medida que este valor disminuye nos muestra que hay mayor incidencia de luz sobre los sensores.



Gráfico 65: Barras de indicación de luminiscencia.
Fuente: Los autores.

4.2.7.5 Gráfica de error de los sensores de luz.

En la grafica de error de los sensores se muestra la diferencia entre los dos sensores de luz y de esa manera poder visualizar que el control se esté realizando de manera adecuada tomando en cuenta que el error debe ser cero o cercano a cero.

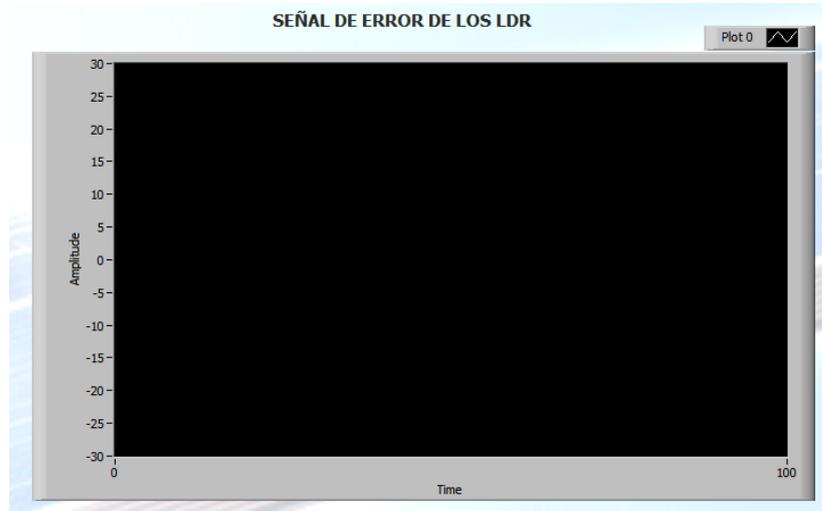


Gráfico 66: Gráfica de error entre Ldr1 y Ldr2
Fuente: Los autores.

4.2.7.6 Led virtual de identificación de pronóstico del día.

Este led mediante el ADC del microcontrolador nos permite saber el pronóstico del día y de esta manera habilitar nuestro seguidor solar cuando el día sea soleado ya que se aprovecha de mejor manera la radiación directa que genera mayor potencia de salida.



Gráfico 67: Led indicador de pronóstico del día
Fuente: Los autores.

4.2.7.7 Leds de límite del panel solar.

El sistema cuenta con dos sensores magnéticos para detectar el límite del panel solar, el panel al estar en esos límites enciende un led virtual que indica que el panel llegó a su tope final, en cuanto a su movimiento bidireccional.

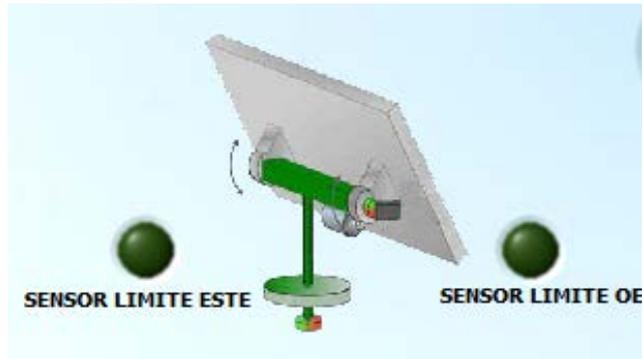


Gráfico 68: Leds indicadores de límite del panel.
Fuente: Los autores.

4.2.7.8 Habilitación de simulación.

Mediante este interruptor podremos dejar de depender de la presencia de luz para el funcionamiento de nuestro módulo solar. Deshabilitamos en el microcontrolador la lectura de los sensores de luz y en cambio leemos los valores provenientes de los slider LDRVA y LDRVB y definimos manualmente los valores de estas variables.



Gráfico 69: Simulación de los valores de los sensores de luz.
Fuente: Los autores.

4.2.7.9 Registro y visualización de datos.

Podemos ver en tiempo real los valores de voltaje, corriente y potencia en el VI y de ser necesario mediante el interruptor hacer un registro de datos en un archivo de texto.

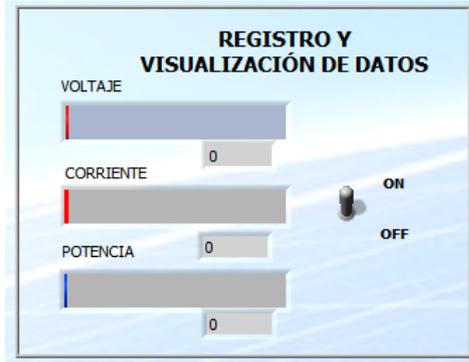


Gráfico 70: Registro y visualización de datos
Fuente: Los autores.

4.2.7.10 Variación de pendientes en las funciones de membresía.

Tal como se indica en la figura podremos variar las pendientes de nuestras funciones de membresía en las variables Delta, Ldr1 y Ldr2 en un rango del 0 al 100% siendo el 100% los valores definidos como ideales para el módulo solar y 0% los valores mínimos necesarios para que allá un conjunto difuso para cada valor real.

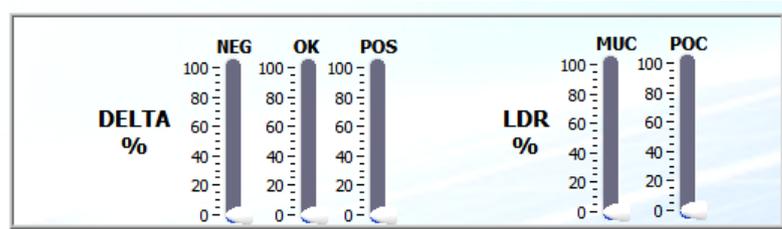


Gráfico 71: Variación de las pendientes en las funciones de membresía
Fuente: Los autores

5. CAPÍTULO 5: PRÁCTICAS DE LABORATORIO

5.1 Práctica N°1.

Tema: Diseño y test de validación de un sistema difuso usando la herramienta Fuzzy System Designer de Labview.

5.1.1 Objetivos de la práctica.

1. Conocer el método de control mediante lógica difusa y analizar su comportamiento.
2. Desarrollar habilidades en el uso Fuzzy System Designer para optimizar sus diseños y analizar su respuesta para su consiguiente implementación.
3. Poder realizar ajustes en las funciones de pertenecía y las reglas difusas para mejorar su respuesta.

5.1.2 Desarrollo.

Para acceder a la Interfaz Gráfica de Usuario (FSD) para Lógica Difusa que tiene Labview, debemos ir a la pestaña Herramientas (Tools), luego en Control Design and Simulation y seleccionar la opción Fuzzy System Designer.

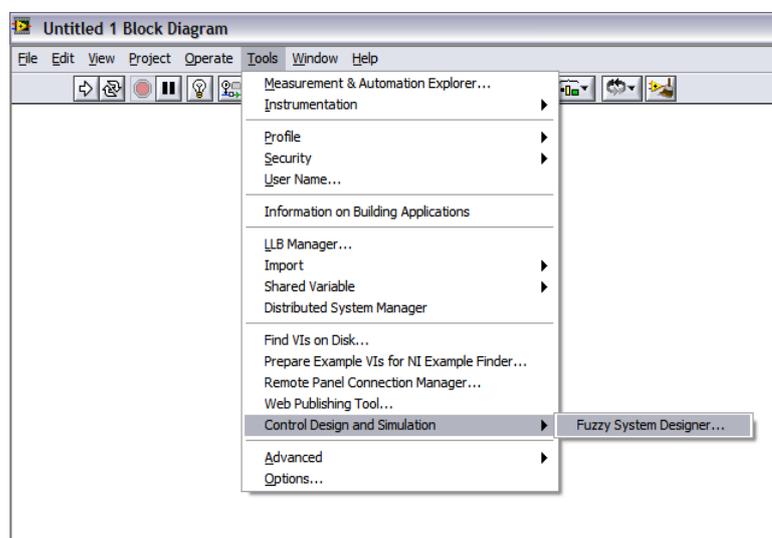


Gráfico 72: Acceso a Fuzzy System Designer.
Fuente: Los autores.

Luego de aparecerá la ventana del Fuzzy System Designer.

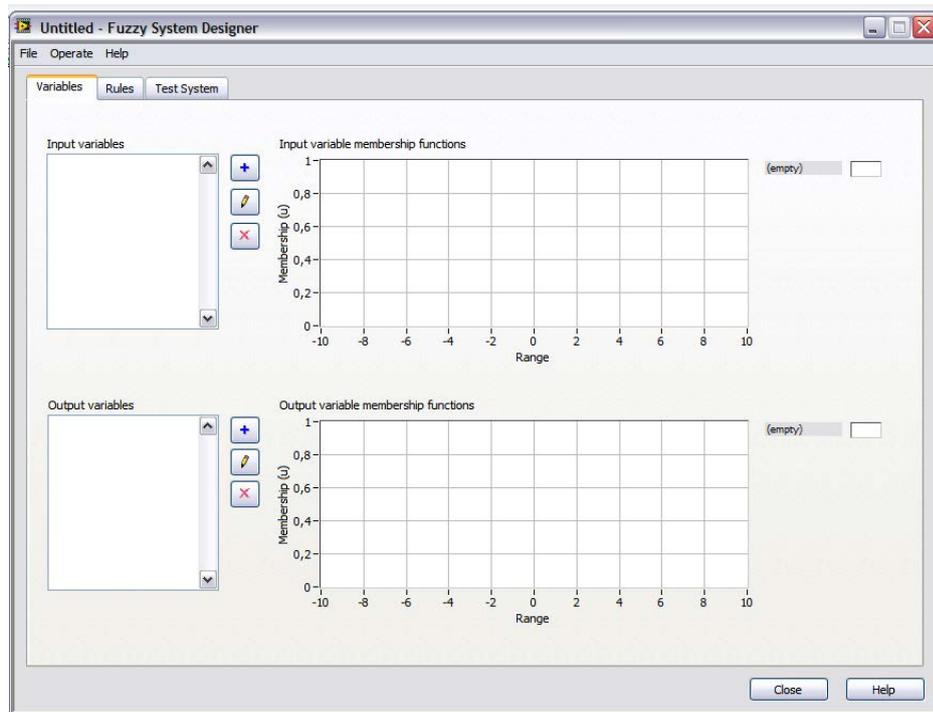


Gráfico 73: Pantalla principal FuzzySystem Designer..
Fuente: Los autores.

Por defecto la primera pestaña que nos aparece es la de definición de variables, aquí es donde tenemos que definir nuestras entradas y salidas.

Para crear una variable hacemos clic en el botón indicado con una cruz.

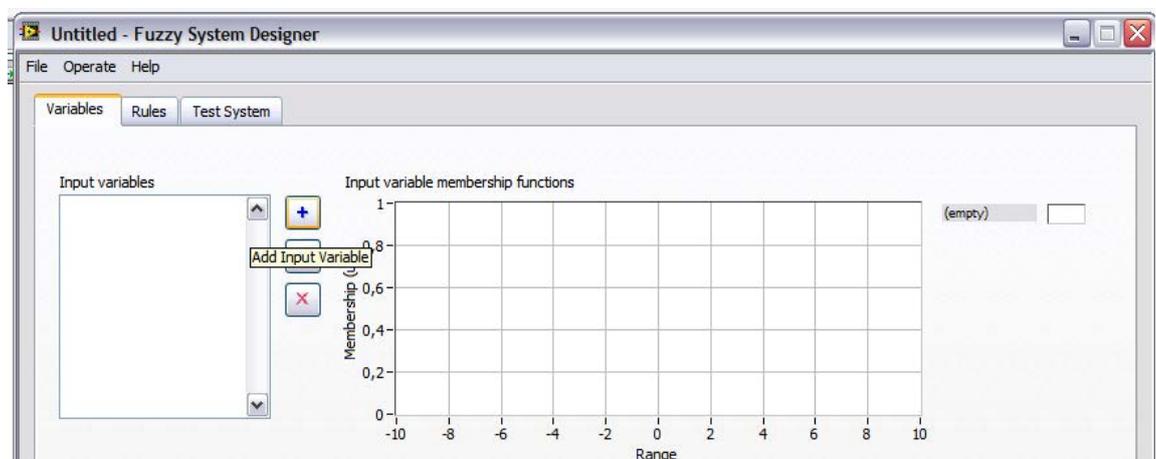


Gráfico 74: Añadir una variable de entrada.
Fuente: Los autores.

Por consiguiente tenemos que configurar todas las características de la variable como número de conjuntos difusos, funciones de membresía y rangos.

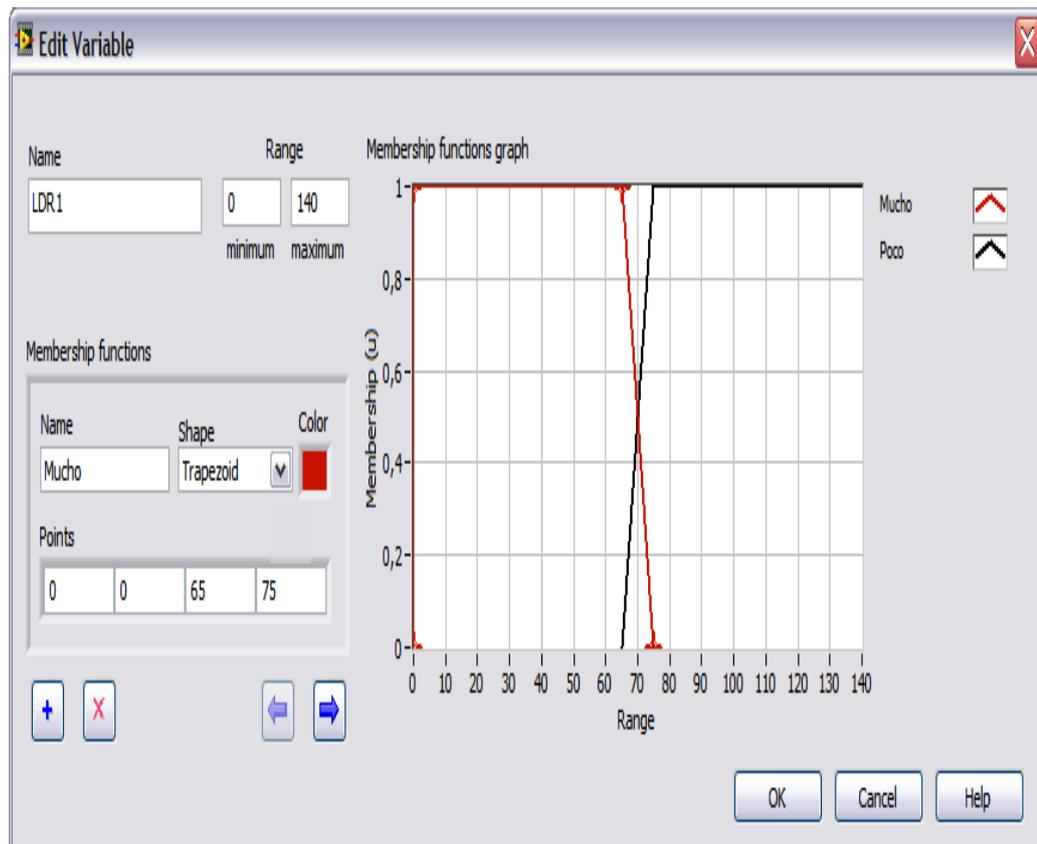


Gráfico 75: Variable LDR1 y sus conjuntos difusos.
Fuente: Los autores.

Este proceso lo debemos seguir con cada una de las variables de entrada y salida. Una vez terminado este proceso nos debería quedar algo como se muestra en el siguiente gráfico.

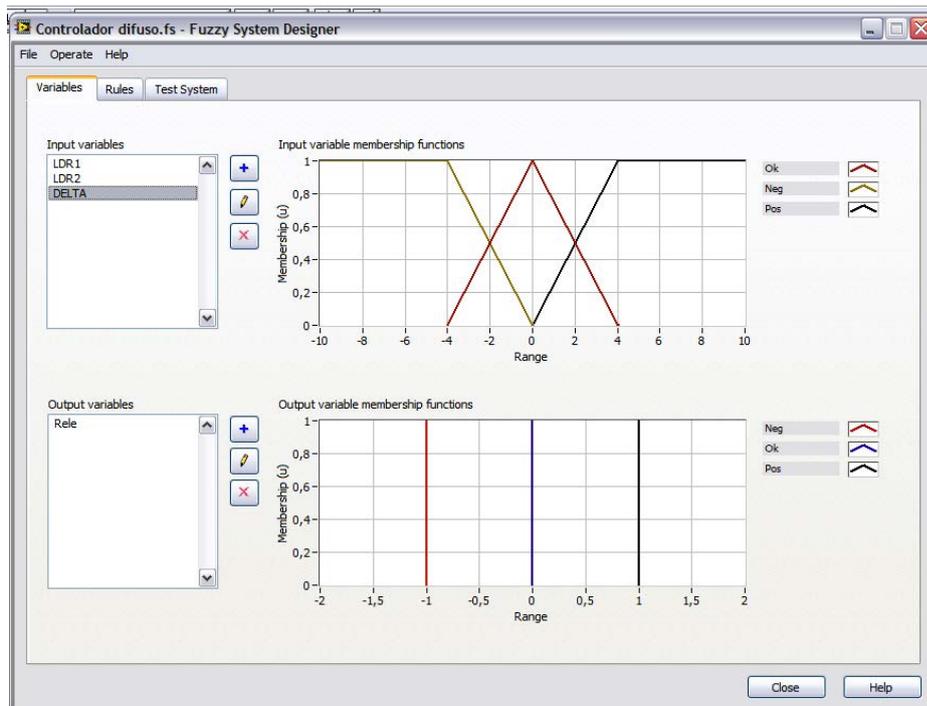


Gráfico 76: Parametrización de todas la variables.
Fuente: Los autores.

El siguiente paso es describir el conjunto de reglas y el método de inferencia y defuzzificación.

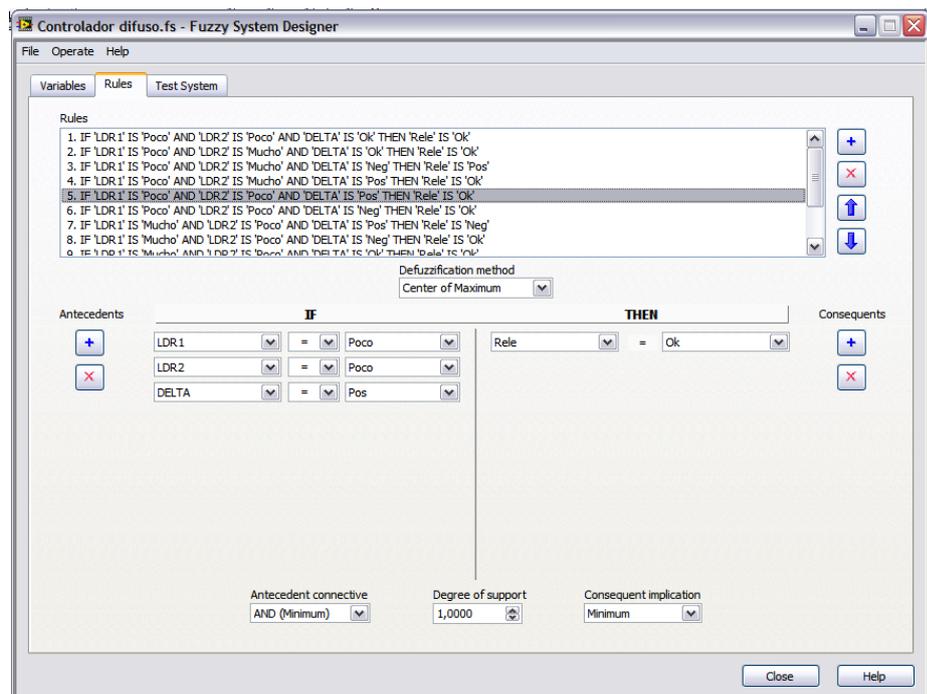


Gráfico 77: Definición de reglas.
Fuente: Los autores.

Por último nos toca analizar la respuesta de nuestro controlador difuso a una determinada entrada que la podemos manipular mediante un slider y de la misma manera podremos observar el valor de salida que nos da la variable.

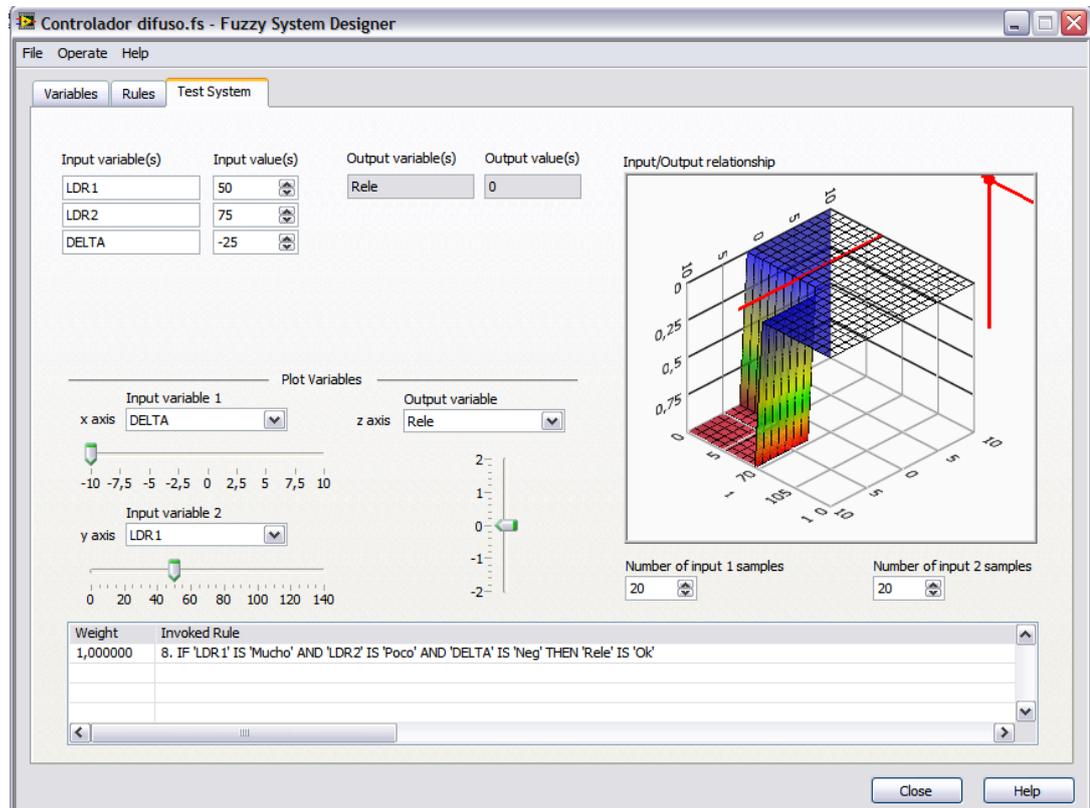


Gráfico 78: Test del sistema.
Fuente: Los autores.

Como adicional en la parte inferior podemos observar las reglas difusas que participan en el método de defuzzificación.

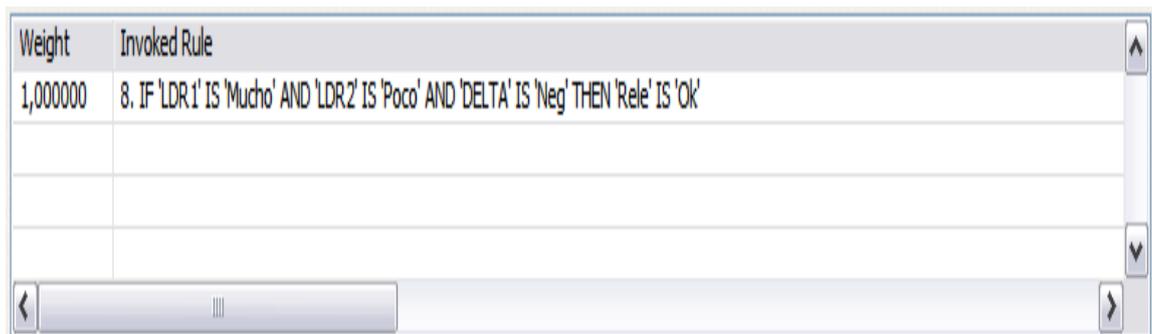


Gráfico 79: Reglas que participan con determinadas entradas.
Fuente: Los autores.

5.2 Práctica N°2

Tema: Reconociendo el funcionamiento de los componentes del sistema solar fotovoltaico.

5.2.1 Objetivos de la práctica.

1. Identificar las distintas partes que conforman el sistema solar fotovoltaico.
2. Comprender características y limitaciones de carga de cada equipo.
3. Aprender la interacción que existe entre los distintos componentes para la puesta en marcha del sistema de posicionamiento solar.

5.2.2 Desarrollo.

En esta práctica vamos a identificar las distintas partes que conforman nuestro módulo solar, sus limitaciones en carga, la potencia que puede entregar y características de cada componente.

Partes del sistema solar fotovoltaico.

- Panel Solar de 50w

Es el primer componente y el más importante el que convierte la energía solar para entregarnos una salida en voltios DC. La potencia que indica el panel nos da entender que el nos entrega 50w siempre, lo cual no es cierto ya que esta potencia es cuando el panel está en condiciones ideales en el estándar de medida que es una irradiancia de 1000W/M2.



Gráfico 80: Panel Solar.
Fuente: Los autores.

- **Regulador CML 05**

Este regulador puede manejar hasta 5amp de corriente de salida y puede recibir entradas de 12 o 24 voltios para esto tienen un sistema de auto reconocimiento. Este regulador tiene un sistema de protección para evitar sobrecargas en la batería. Adicionalmente tiene unos leds que indican en qué nivel de carga está la batería.



Gráfico 81: Regulador.
Fuente: Hoja Técnica Zytech ZT50S.

- **Batería de ciclo profundo de 18Ah**

Tal como se indica esta batería es capaz de entregar 18 amperios durante una hora, el valor indicado es la capacidad de almacenamiento, el tiempo de carga de la batería depende de la potencia que está entregando el panel, mientras más paneles haya más corto será el tiempo de carga de batería. Algo muy importante por acotar es que no se debe descargar la batería a más del 50% de su capacidad ya que esto reduce en un 75% la vida útil de la batería.



Gráfico 82: Batería de ciclo profundo.
Fuente: Hoja Técnica 6FM18X.

- **Inversor de 150 Watts**

Con el inversor vamos a obtener una salida corriente alterna que es la más común en las viviendas la potencia máxima que puede entregar el inversor es de 150 Watts, pasado de esta potencia se cortará el fusible de 25A que posee el inversor como protección a las sobrecargas.



Gráfico 83: Inversor.
Fuente: <http://carro.jjcreaciones.com/lista.php/Inversores/91320>

5.3 Práctica N°3

Tema: Puesta en marcha del equipo e interacción con el software de monitoreo.

5.3.1 Objetivos de la práctica.

1. Identificar los distintos instrumentos virtuales que nos presenta el sistema de monitoreo.
2. Facilitar el aprendizaje y el entendimiento del funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico mediante este módulo completo y funcional.
3. Realizar la puesta de marcha del sistema de posicionamiento y análisis de la señal de error en periodos de tiempo.

5.3.2 Desarrollo.

En esta práctica vamos a ver nuestro sistema funcionando y el monitoreo del mismo a través del software de Labview.

Para ello:

- Primero, iniciamos en la PC el programa de Labview.
- Segundo, abrimos el archivo donde se encuentra nuestro proyecto en este caso “Proyecto PS”
- Tercero, una vez cargado dicho archivo escogemos la ruta de archivo con extensión “mpusbapi.dll” para poder ejecutar la comunicación vía USB.

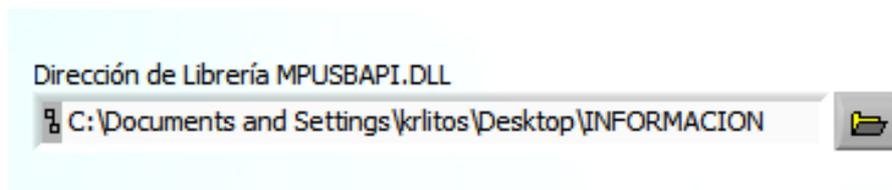


Gráfico 84: Pestaña con la ruta al archivo mpusbapi.dll.
Fuente: Los autores.

- Cuarto, conectamos el cable al puerto USB de nuestra PC a nuestra tarjeta electrónica.



Gráfico 85: Cable USB.

Fuente: <http://www.pcdigital.com.mx/cable-pimpresora-metros-manhattan-317863-gris-p-3074.html>

- Quinto, encendemos nuestro sistema de movimiento el cual se alimenta por una batería de 12Vdc, para ello también debemos revisar que todos los equipos y componentes que conforman el sistema estén correctamente conectados según el diagrama de conexiones eléctrico, una vez verificado que todo este correcto se procede a energizar el sistema por medio de la batería.
- Sexto, activo el interruptor virtual que hay en el VI de Labview, para conectar y dar inicio a nuestro sistema fotovoltaico.



Gráfico 86: Interruptor de lazo de comunicación.

Fuente: Los autores.

Si la conexión es exitosa aparecerá un led indicador el cual muestra la correcta conexión al cambiar su estado de rojo a verde.



Gráfico 87: Led virtual de indicación de conexión.

Fuente: Los autores.

- Con esto ya podremos comenzar a monitorear el sistema, sus señales de entrada con las barras indicadoras de nivel de luminiscencia, la gráfica de error de los sensores de luz; la cual muestra la diferencia en los dos sensores de luz y de esa manera poder visualizar que el control se esté realizando de manera adecuado tomando en cuenta que el error debe ser cero o cercano a cero. El led virtual de identificación da el pronóstico y de esta manera habilitar nuestro seguidor solar cuando el día sea soleado; además el sistema cuenta con dos sensores magnéticos para detectar cuando el panel llegó a su tope final, al estar el panel en esos límites se enciende un led virtual.

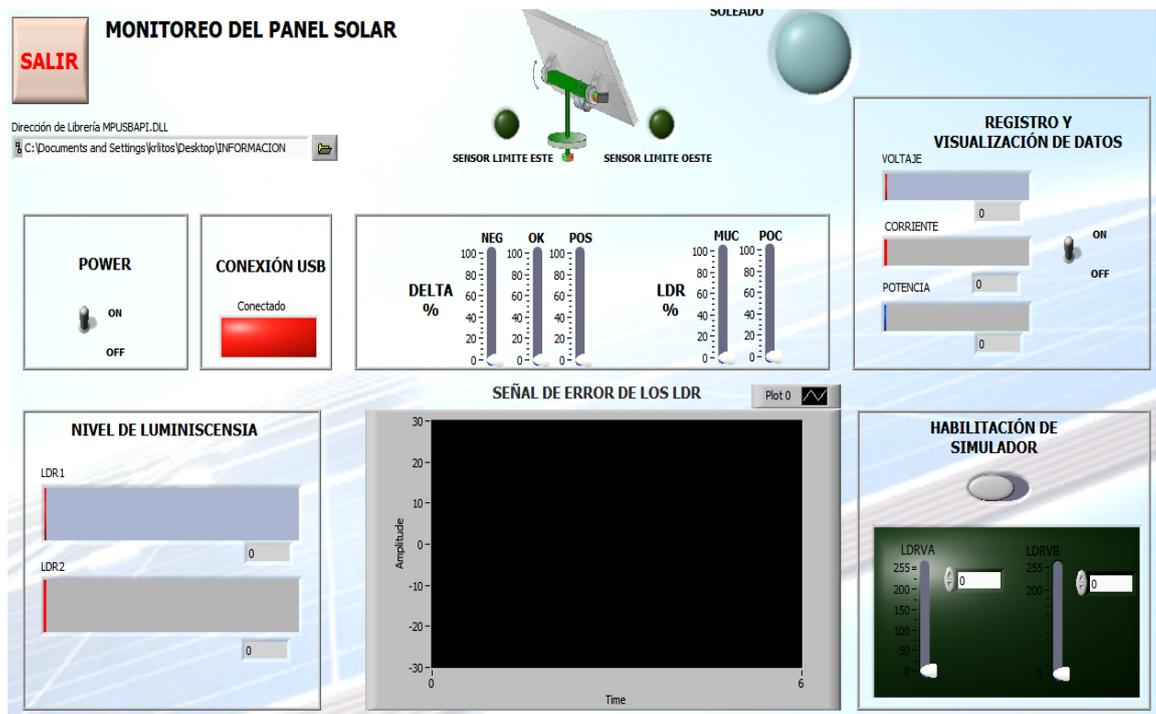


Gráfico 88: Panel Frontal del sistema de monitoreo.
Fuente: Los autores.

5.4 Práctica N°4

Tema: Fuzzificación de las entradas y registro de datos.

5.4.1 Objetivos de la práctica.

1. Analizar cambios en la respuesta del sistema al variar las funciones de membresía y los conjuntos difusos.
2. Hacer uso del interruptor de simulación para poder usar los sliders de Labview.
3. Importar en un archivo de texto la potencia que entrega el panel.

5.4.2 Desarrollo.

En esta práctica vamos a poder variar nuestros valores de entrada tales como:

- Los sensores LDR1 y LDR 2
- Así como también nuestra señal Delta

Para ello:

- Debemos de realizar los pasos anteriormente descritos en la Practica N° 3 desde iniciar en la PC el programa de Labview, hasta el encendido de nuestro sistema.
- Segundo debemos habilitar la simulación mediante el interruptor que se encuentra en el VI bajo el título de “*Habilitación de simulador*” una vez realizado este paso podremos dejar de depender de la presencia de luz para el funcionamiento de nuestro módulo solar. Deshabilitamos en el microcontrolador la lectura de los sensores de luz y en cambio leemos los valores provenientes de los slider LDRVA y LDRVB y definimos manualmente los valores de estas variables.



Gráfico 89: Simulación de los valores de los sensores de luz.
Fuente Los autores.

- Ahora con los sliders que se muestran en la figura podremos variar la pendiente de nuestras funciones de membresía en las variables Delta, LDR1 y LDR2 en un rango del 0 al 100% siendo el 100% los valores definidos como ideales para el módulo solar y 0% los valores mínimos necesarios para que allá un conjunto difuso para cada valor real.

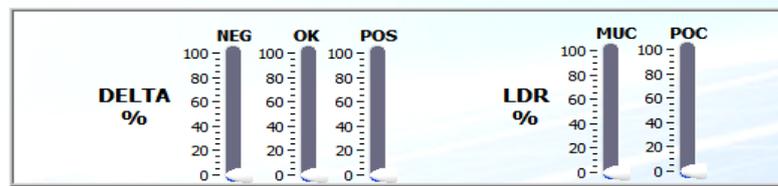


Gráfico 90: Variación de las pendientes en las funciones de membresía.
Fuente: Los autores

- Finalmente en nuestro VI también podemos ver en tiempo real los valores de voltaje, corriente y potencia en el VI y de ser necesario mediante el interruptor hacer un registro de datos en un archivo de texto.

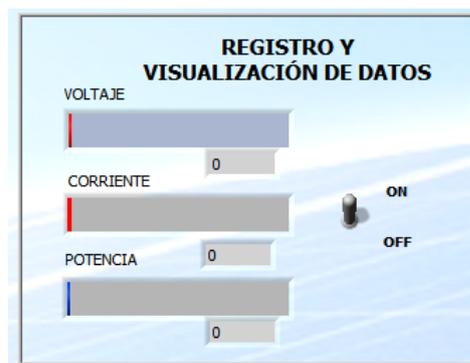


Gráfico 91: Registro y visualización de datos.
Fuente: Los autores.

CRONOGRAMA

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																												
ACTIVIDAD A REALIZAR	MES 1° Y 2°				MES 3° Y 4°				MES 5° Y 6°				MES 7° Y 8°				9° MES				10° MES							
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4																
Selección y compra del panel solar, regulador, inversor y batería de ciclo profundo	X																											
Investigación del control con lógica difusa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Investigación de comunicación USB con Labview																												
Investigación de fabricantes de sensores de luminiscencia y motores DC	X	X	X	X																								
Investigación de construcción de tarjetas de control y adquisición de datos		X	X	X																								
Simulación en Proteus de los circuitos de control de acondicionamiento			X	X																								
Armado del panel solar								X																				
Investigación de estructuras mecánicas para el movimiento del panel solar			X	X			X	X				X																
Programación del microcontrolador para control	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Compra de los sensores, motor DC, elementos de la tarjeta de control y adquisición de datos																	X											
Armado de la estructura mecánica para el movimiento del panel solar									X	X	X	X																
Avance del VI (Virtual Instrument) de Labview que permita el monitoreo de los sensores y la posición del panel solar																												
Implementación en protoboard del circuito de control y adquisición de datos																	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Pruebas de funcionamiento del circuito (comunicación USB con Labview y control con lógica difusa)																												

CRONOGRAMA (CONTINUACIÓN)

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																			
ACTIVIDAD A REALIZAR	MES 1° Y 2°			MES 3° Y 4°			MES 5° Y 6°			MES 7° Y 8°			9° MES			10° MES			
	S1	S2	S4	S1	S2	S4	S1	S2	S4										
Implementación, instalación y prueba de batería de ciclo profundo, regulador e inversor									X										
Acoplamiento del motor y el panel solar a la estructura mecánica										X	X	X							
Pruebas entres los sensores y el circuito de control										X	X	X							
Armado completo de la estructura con todos sus componentes(sensores, motor DC, panel solar y accesorios del panel solar)										X	X	X							
Culminación del programa para el control con lógica difusa y monitoreo con Labview												X							
Diseño y construcción de la tarjeta de circuito impreso del circuito de control y adquisición de datos												X	X						
Prueba de funcionamiento autónomo de la estructura completa durante algunos días													X						
Medición de potencia entregada por el panel solar															X	X			
Avance del trabajo escrito de tesis													X	X	X				
Calibración y depuración de la estructura del panel solar																X	X	X	
Depuración del programa de control del microcontrolador																X	X	X	
Depuración del programa de monitoreo en Labview																X	X	X	
Culminación del trabajo escrito de tesis																		X	

PRESUPUESTO

Costos de implementación.

Para la elaboración de los distintos módulos electrónicos se escogieron los materiales necesarios para un buen funcionamiento y así mismo las protecciones contra corrientes de retorno y ruido. La estructura se hizo de un material resistente y económico, así mismo se lo pinto para una mayor duración. Cada componente del sistema fotovoltaico está debidamente sujeto a la estructura para evitar su daño o caída.

Los materiales electrónicos están conformados por dispositivos tales como microcontroladores, sensores en general. El módulo se encuentra con una regleta listo para la conexión de las cargas soportadas por el sistema. Para la construcción de la estructura y el mecanismo de movimiento se requirieron Trabajos de Torno que se rigieron a los diseños previamente elaborados.

Nº	Descripción	Precio
1	Módulo de control y sensores	\$ 200,00
2	Módulo de fuerza	\$ 20,00
3	Estructura del seguidor solar	\$ 300,00
4	Sistema solar fotovoltaico	\$ 400,00
5	Trabajos de torno	\$ 100,00
6	Mano de obra y gastos varios	\$ 500,00
	Total:	\$ 1520,00

Tabla final de costos del proyecto
Fuente: Los autores

CONCLUSIONES

El resultado final de la elaboración del presente trabajo de tesis es la construcción de una estructura robusta en la cual se usó un motor DC pero la velocidad de este era muy excesiva para nuestra aplicación ya que el movimiento aparente del sol es lento por lo cual se debió acoplar un sistema de reducción de velocidad como lo es la caja reductora de 36 rpm a 1 rpm.

También se concluye que para el presente proyecto el uso de los sensores LDR fue bastante estable en su respuesta a los cambios de luz durante los días de prueba haciendo que el panel tenga una respuesta de movimiento según la posición del sol y que esta no era oscilante en el tiempo ya que esto provocaría desgastes innecesarios de energía debido al continuo movimiento.

Se tuvo que aplicar también criterios y diseños para el control de fuerza debido a que existían corrientes de retorno que hacían que el regulador de voltaje se reinicie constantemente provocando que el sistema se pare por tiempos; para solucionar este inconveniente, se tuvo que usar en el circuito de fuerza, diodos de corrida libre, haciendo que esta corriente se quede en el motor y no vaya al regulador.

El método de defuzzificación que se implementó para el presente trabajo fue el método de los máximos debido a que nuestro sistema tenía una configuración de salidas por relé que nos permitían tres estados: giro a la derecha, giro a la izquierda y sin giro.

El sistema propuesto es una alternativa económica en la generación de energía que trata de incentivar el uso de energías renovables para satisfacer la demanda de electricidad sin tener que destruir el medio ambiente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que antes de poner en marcha el sistema, revisar las conexiones basándose en los esquemas eléctricos y electrónicos para evitar cualquier daño con alguno de los componentes que conforman dicho sistema.

Al momento de ejecutar el VI en Labview para la adquisición de los datos, tomar en cuenta el archivo correcto y la ruta correcta que escogemos para el archivo con extensión “mpusbapi.dll” de esta manera podremos ejecutar con éxito la comunicación vía USB.

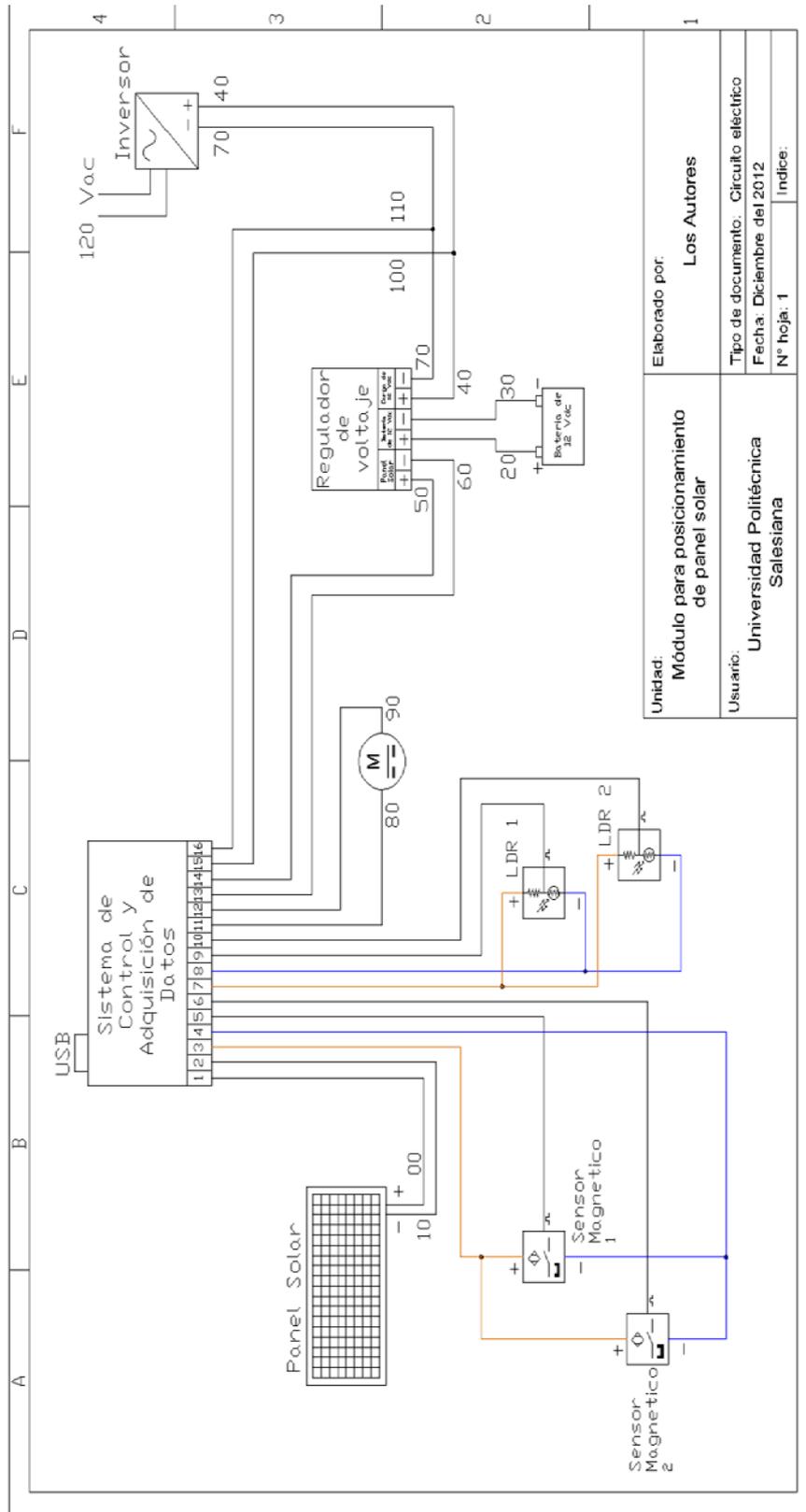
BIBLIOGRAFÍA

- ↗ PÉREZ, Cueto J. A., LÓPEZ, Estrada F.R, "Comunicación USB de Alta Velocidad entre LABVIEW y un Microcontrolador para la Adquisición de Datos en Tiempo Real", Ponencia presentada en el Congreso Nacional de Ingeniería Electrónica del Golfo, Orizaba, 2009.
- ↗ LIMA Byron y otros, *Diseño de equipos didácticos para prácticas de laboratorio de control automático*, Tesis U.P.S Facultad de Ingeniería Electrónica, Guayaquil, Noviembre del 2010.
- ↗ Foros y Páginas Web relacionadas con el tema.
- ↗ CCS C Compiler, "C Compiler Reference Manual", CCS, Inc. Custom Computer Services, Inc. Brookfield, WI, USA, 2007.
- ↗ NATIONAL Instruments Corporation, "PID and Fuzzy Logic Toolkit", Manual de usuario, Junio 2009.
- ↗ MAS I CASALS, Orestes, *Sistemas difusos dinámicos para el tratamiento de información temporal imprecisa*, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de y Teoría de las Señales y Comunicaciones, Barcelona, 1997.

ANEXOS

ANEXO A

Esquema eléctrico de conexiones.



ANEXO B

Diagrama de Bloque del VI de monitoreo.

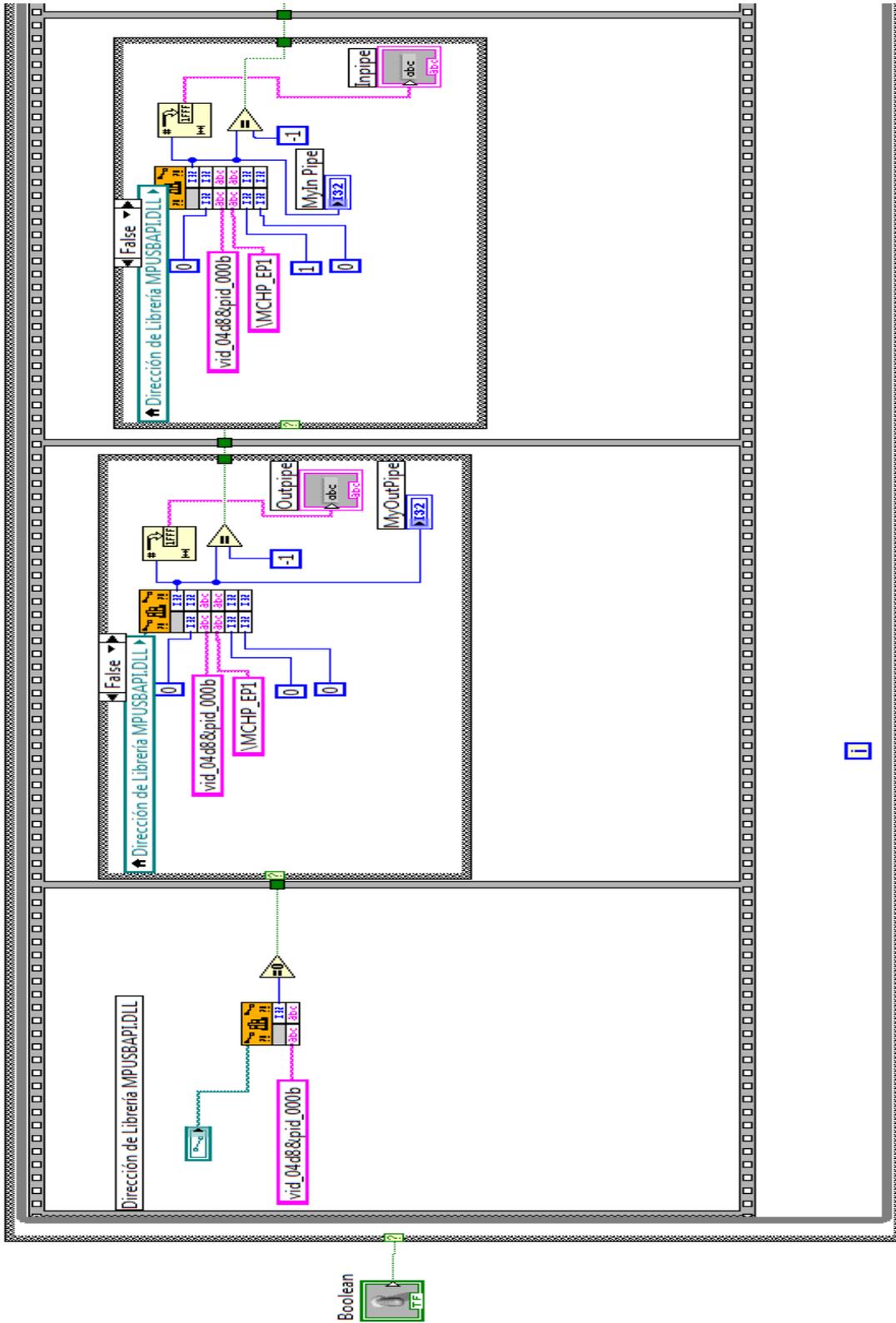


Diagrama de Bloque del VI de monitoreo (cont...)

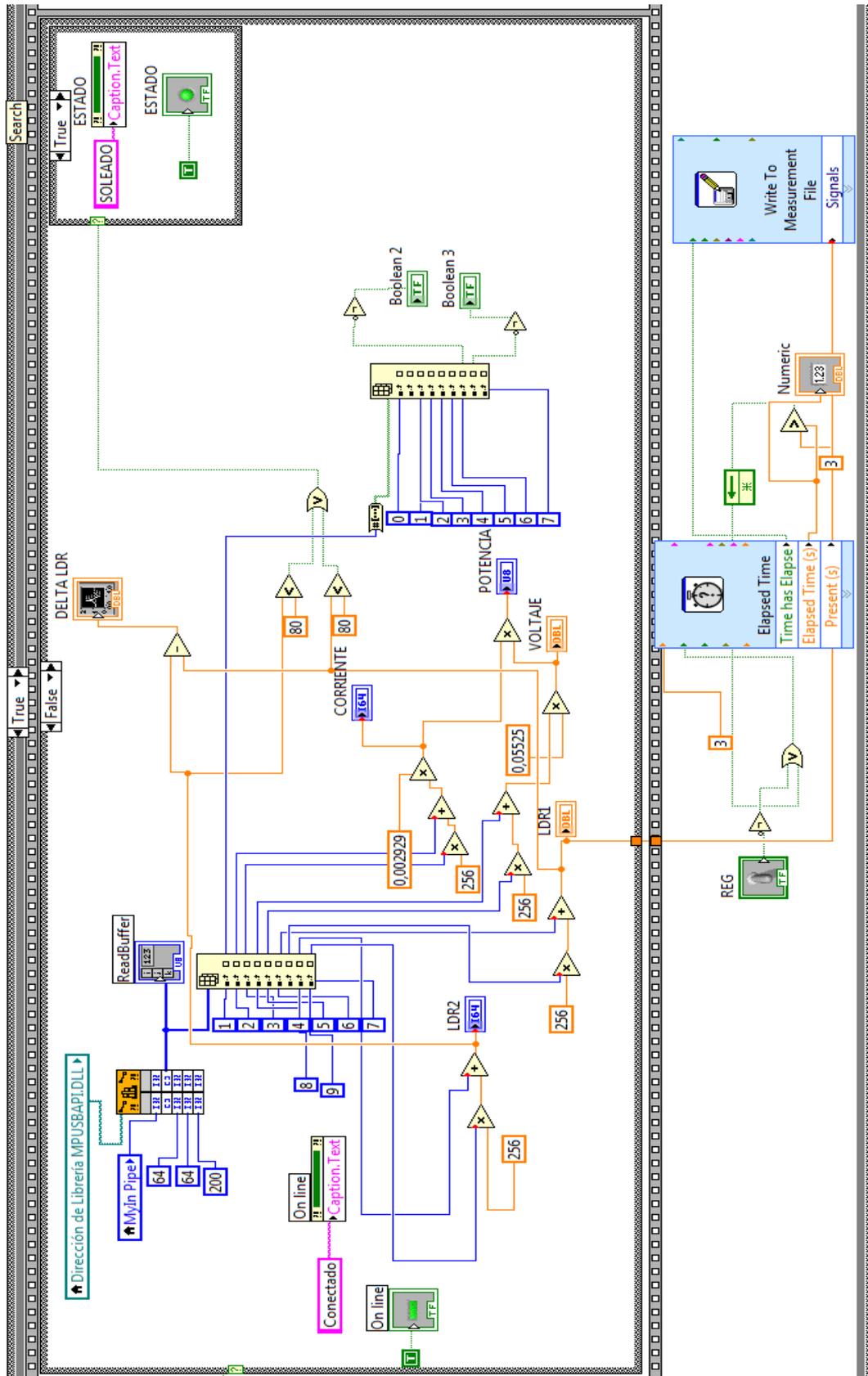
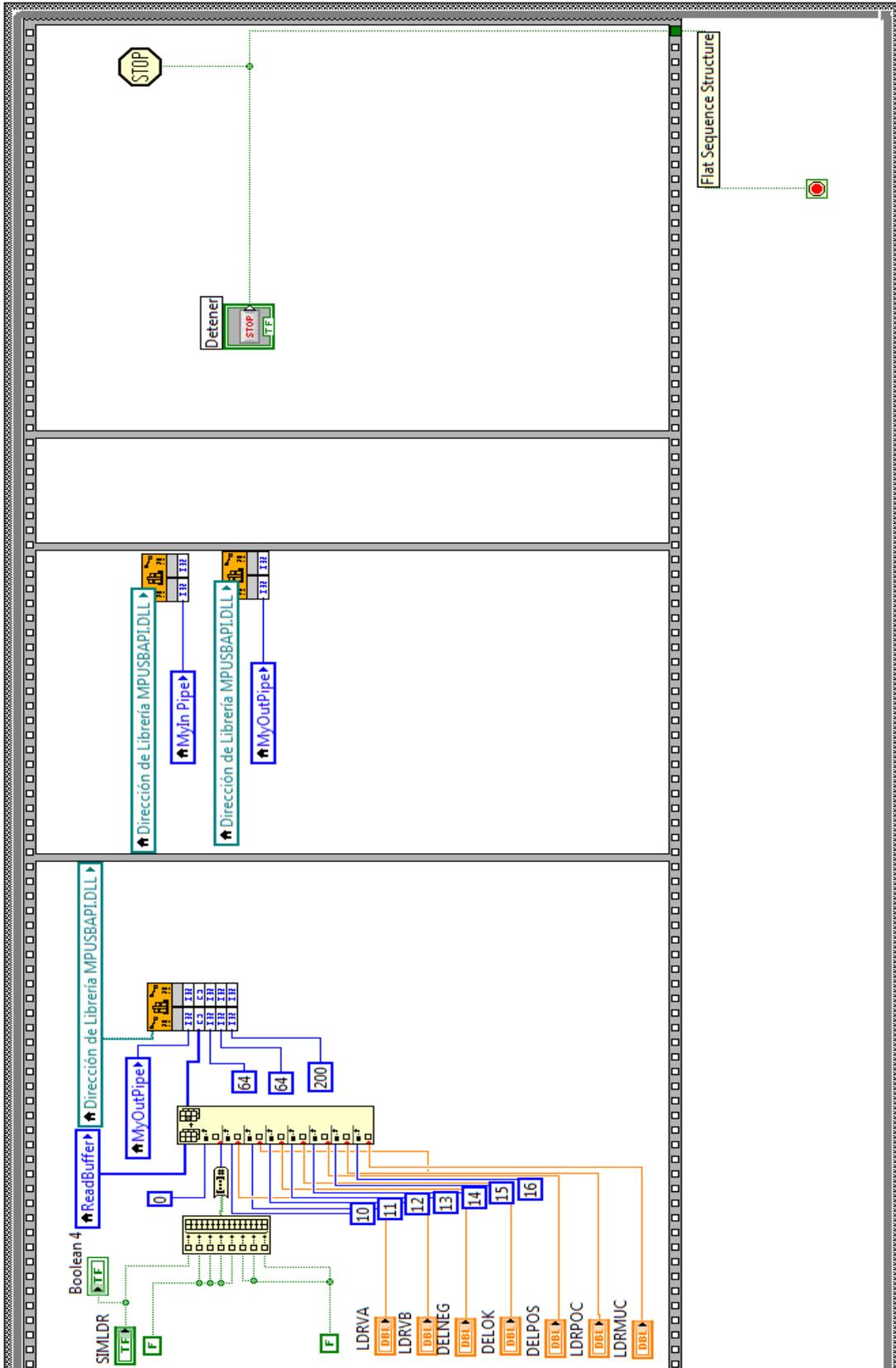


Diagrama de Bloque del VI de monitoreo (cont...)



ANEXO C

Documentación de la programación en C

```
////////////////////////////////////
//      TESIS POSICIONAMIENTO DE PANELES SOLARES
////////////////////////////////////

// Cambie la siguiente instrucción de acuerdo al PIC que utilice PIC18F2455/2550/4455/4550
#include <18F2550.h>
#define ADC=10          //Descomente ésta opción en caso de usar el ADC a 10bits
#define fuses
HSPLL,NOPROTECT,NOLVP,NODEBUG,USBDIV,PLL5,CPUDIV1,VREGEN,MCLR,NOPBAD
EN,NOWDT
//En donde :
//HSPLL: Utilizamos un crystal de alta velocidad >= a 4MHZ en conjunto con el PLL de nuestro //pic.
//NOWDT:No vamos utilizar el perro guardián
//NOPROTECT: Desactivamos la protección del código
//NOLVP: Desactivamos la programación a bajo voltaje.
//NODEBUG: Modo debug desactivado.
//USBDIV: significa que el clock del usb se tomará del PLL/2 = 96Mhz/2 = 48Mhz.
//PLL5: significa que el PLL prescaler dividirá en 5 la frecuencia del cristal. para HS = 20Mhz/5 =
//4Mhz( los 4Mhz son necesarios para que el PLL puesta trabajar con 48MHZ, por eso la //division
//del cristal real de 20Mhz entre 4).
//CPUDIV1: El PLL postscaler divide en 2 la frecuencia de salida del PLL de 96MHZ, si //queremos
//48MHZ, lo dejamos como está( esto quiere decir que el clock de nuestro pic //trabajara con 48Mhz)
//VREGEN: habilita el regulador de 3.3 volts que usa el módulo USB
// Ajuste el fusible del PLL de acuerdo al Xtal que utilice
// No olvide que PLL1 = Para un Xtal de 4Mhz
//      PLL2 = Para un Xtal de 8Mhz
//      PLL3 = Para un Xtal de 12Mhz
//      PLL5 = Para un Xtal de 20Mhz , etc.

#define delay(clock=48000000)
//#use rs232(baud=9600, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)
////////////////////////////////////
// CCS Library dynamic defines. For dynamic configuration of the CCS Library
// for your application several defines need to be made. See the comments
```

```

// at usb.h for more information
///////////////////////////////////////////////////////////////////
#define USB_HID_DEVICE FALSE //deshabilitamos el uso de las directivas HID
#define USB_EP1_TX_ENABLE USB_ENABLE_BULK //turn on EP1(EndPoint1) for IN
//bulk/interrupt transfers
#define USB_EP1_RX_ENABLE USB_ENABLE_BULK //turn on EP1(EndPoint1) for OUT
//bulk/interrupt transfers
#define USB_EP1_TX_SIZE 64 //size to allocate for the tx endpoint 1 buffer
#define USB_EP1_RX_SIZE 64 //size to allocate for the rx endpoint 1 buffer
///////////////////////////////////////////////////////////////////
// Lo siguiente no es indispensable:
// If you are using a USB connection sense pin, define it here. If you are
// not using connection sense, comment out this line. Without connection
// sense you will not know if the device gets disconnected.
// (connection sense should look like this:
//          100k
//          VBUS-----+----~\~\~\~\----- (I/O PIN ON PIC)
//          |
//          +----~\~\~\~\-----GND
//          100k
// (where VBUS is pin1 of the USB connector)
///////////////////////////////////////////////////////////////////
// #define USB_CON_SENSE_PIN PIN_B2 //CCS 18F4550 development kit has optional
// conection sense pin
///////////////////////////////////////////////////////////////////
// Include the CCS USB Libraries. See the comments at the top of these
// files for more information
///////////////////////////////////////////////////////////////////

#include <pic18_usb.h> //Microchip PIC18Fxx5x Hardware layer for CCS's PIC USB driver
#include <usb_desc_scope.h> //descriptors del Pic USB
#include <usb.c> //handles usb setup tokens and get descriptor reports

///////////////////////////////////////////////////////////////////
/*
Abra el archivo C:\Archivos de programa\PICC\Drivers\usb_desc_scope.h
( donde se instaló el compilador de CCS ) que es el descriptor del USB
ubicado en su PC, avance hasta la sección start device descriptors
(aprox en la linea 132) y reemplace los valores del vendor id,

```

el product id y el device release number como sigue (puede copiar las tres líneas siguiente y pegar en el archivo del descriptor <<usb_desc_scope.h>>) :

```
0xD8,0x04, //vendor id (0x04D8 is Microchip)
0x0B,0x00, //product id
0x01,0x00, //device release number
```

ESTO ES IMPORTANTE HACERLO CORRECTAMENTE DE LO CONTRARIO, EL DISPOSITIVO NO SERA RECONOCIDO POR EL DRIVER.

```
*/
/////////////////////////////////////////////////////////////////
#define Encender    output_high
#define Apagar      output_low
/////////////////////////////////////////////////////////////////
//Ecuaciones de Membresia LDR1/////
/////////////////////////////////////////////////////////////////
#define ecua_muc(x) (((float)x-penmuc)/(80-penmuc))
#define ecua_poc(x) (((float)x-penpoc)/(90-penpoc))
/////////////////////////////////////////////////////////////////
//Ecuaciones de Membresia DELTA
#define ecua_neg(x) (((float)x-(penneg))/(-4-(penneg)))
#define ecua_ok(x)  (((float)x-(penok))/(-penok))
#define ecua_ok2(x) (((float)x-(penok2))/(-penok2))
#define ecua_pos(x) (((float)x-penpos)/(4-penpos))
/////////////////////////////////////////////////////////////////
//definiciones para reglas
/////////////////////////////////////////////////////////////////
#define AND    &&

//-----Funcion de LDR1-----//
#define LDR1_IS_MUCHO  (d1>=0 && d1<=penmuc)
#define LDR1_IS_POCO  (d1>=penpoc && d1<=1024)

//-----Funcion de LDR2-----//
#define LDR2_IS_MUCHO  (d2>=0 && d2<=penmuc)
#define LDR2_IS_POCO  (d2>=penpoc && d2<=1024)

//-----Funcion de DELTA -----//
#define DELTA_IS_NEG  (d3>=-1024 && d3<=penneg)
```

```
#define DELTA_IS_OK    (d3>=penok && d3<=penok2)
#define DELTA_IS_POS  (d3>=penpos && d3<=1024)
```

```
////////////////////////////////////
//Definiciones de Valores de
//Grafica de salida
////////////////////////////////////
```

```
#define NEG  -1
#define OK   0
#define POS   1
```

```
int8 dato[64],data_out;
float F1[4],F2[4],F3[4];
unsigned char var;
signed int16 middele[12];
float WEIGHT[12];
float penmuc,penpoc,penneg,penpos,penok,penok2;
int16 ldrva,ldrvb,ldelneg,ldelok,ldelpos,lldrpoc,lldrmuc;
unsigned int16 isena,isenb,ldra,ldrb;
signed int16 delta, salida;
```

```
////////////////////////////////////
//Memebership LDR1
////////////////////////////////////
```

```
////////////////////////////////////
//MUCHO          //
////////////////////////////////////
float F1_ecuacion_muc(float cmd){
    if(cmd>=80 && cmd<penmuc)
        return ecua_muc(cmd);
    else if(cmd>=0 && cmd<80)
        return 1;
    else
        return 0;
}
```

```
////////////////////////////////////
```

```

//POCO          //
//////////////////
float F1_ecuacion_poc(float cmd){
    if(cmd>=penpoc && cmd<90)
        return ecua_poc(cmd);
    else if(cmd>=90 && cmd<1024)
        return 1;
    else
        return 0;
}

//////////////////
//Memebership LDR2
//////////////////

//////////////////
//MUCHO          //
//////////////////
float F2_ecuacion_muc(float cmd){
    if(cmd>=80 && cmd<penmuc)
        return ecua_muc(cmd);
    else if(cmd>=0 && cmd<80)
        return 1;
    else
        return 0;
}

//////////////////
//POCO          //
//////////////////
float F2_ecuacion_poc(float cmd){
    if(cmd>=penpoc && cmd<90)
        return ecua_poc(cmd);
    else if(cmd>=90 && cmd<1024)
        return 1;
    else
        return 0;
}

```

```

////////////////////////////////////
//Memebership DELTA
////////////////////////////////////

////////////////////////////////////
//NEG                //
////////////////////////////////////

float F3_ecuacion_neg(float cmd){
    if(cmd>=-4 && cmd<peneg)
        return ecua_neg(cmd);
    else if(cmd>=-1024 && cmd<-4)
        return 1;
    else
        return 0;
}

////////////////////////////////////
//POS                //
////////////////////////////////////

float F3_ecuacion_pos(float cmd){
    if(cmd>=penpos && cmd<4)
        return ecua_pos(cmd);
    else if(cmd>=4 && cmd<1024)
        return 1;
    else
        return 0;
}

////////////////////////////////////
//OK                //
////////////////////////////////////

float F3_ecuacion_ok(float cmd){
    if(cmd>=penok && cmd<0)
        return ecua_ok(cmd);
}

```

```

else if(cmd>=0 && cmd<penok2)
    return ecua_ok2(cmd);
else
    return 0;
}

////////////////////////////////////
//Funcion de Fuzzificar
////////////////////////////////////

void fuzzificador(float data1,float data2,float data3){
    F1[0]=F1_ecuacion_muc(data1);
    F1[1]=F1_ecuacion_poc(data1);
    F2[0]=F2_ecuacion_muc(data2);
    F2[1]=F2_ecuacion_poc(data2);
    F3[0]=F3_ecuacion_neg(data3);
    F3[1]=F3_ecuacion_ok(data3);
    F3[2]=F3_ecuacion_pos(data3);
}

////////////////////////////////////
//Funcion de obtener el MINIMI
////////////////////////////////////

void GET_MIN(float vara,float varb,float varc,signed int16 out){
    if(varc<vara){
        if(varc<varb)
            WEIGHT[var]=varc;
        else
            WEIGHT[var]=varb;
    }
    else{
        if (vara<varb)
            WEIGHT[var]=vara;
        else
            WEIGHT[var]=varb;
    }
}

```

```
middele[var]=out;
```

```
}
```

```
void reglas(float d1,float d2,float d3){
```

```
if(LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_OK){
```

```
    GET_MIN(F1[1],F2[1],F3[1],OK);
```

```
    var++;
```

```
}
```

```
if(LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_OK){
```

```
    GET_MIN(F1[1],F2[0],F3[1],OK);
```

```
    var++;
```

```
}
```

```
if(LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_NEG){
```

```
    GET_MIN(F1[1],F2[0],F3[0],OK);
```

```
    var++;
```

```
}
```

```
if(LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_POS){
```

```
    GET_MIN(F1[1],F2[0],F3[2],NEG);
```

```
    var++;
```

```
}
```

```
//-----//
```

```
if(LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_POS){
```

```
    GET_MIN(F1[1],F2[1],F3[2],OK);
```

```
    var++;
```

```
}
```

```
if(LDR1_IS_POCO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_NEG){
```

```
    GET_MIN(F1[1],F2[1],F3[0],OK);
```

```
    var++;
```

```
}
```

```
if(LDR1_IS_MUCHO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_POS){
```

```
    GET_MIN(F1[0],F2[1],F3[2],OK);
```

```
    var++;
```

```
}
```

```
if(LDR1_IS_MUCHO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_NEG){
```

```
    GET_MIN(F1[0],F2[1],F3[0],POS);
```

```
    var++;
```

```
}
```

```
//-----//
```

```
if(LDR1_IS_MUCHO AND LDR2_IS_POCO AND DELTA_IS_OK){
```

```

    GET_MIN(F1[0],F2[1],F3[1],OK);
    var++;
}
if(LDR1_IS_MUCHO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_POS){
    GET_MIN(F1[0],F2[0],F3[2],NEG);
    var++;
}
if(LDR1_IS_MUCHO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_NEG){
    GET_MIN(F1[0],F2[0],F3[0],POS);
    var++;
}
if(LDR1_IS_MUCHO AND LDR2_IS_MUCHO AND DELTA_IS_OK){
    GET_MIN(F1[0],F2[0],F3[1],OK);
    var++;
}
}

```

```

////////////////////////////////////
//Funcion de Defuzzificador
//Metodo del Maximo
////////////////////////////////////

```

```

signed int16 defuzzificador(){
    float num=0;
    signed int16 result=0;
    unsigned char cont;
    for(cont=0;cont<var;cont++){
        if (cont==0){
            num=WEIGHT[cont];
            result=middele[cont];
        }else{
            if (WEIGHT[cont]>num){
                num=WEIGHT[cont];
                result=middele[cont];
            }
        }
    }
    var=0;
    return (signed int16)result;
}

```

```

}

void main(void) {

    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_adc_ports(AN0_TO_AN3);
    setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,255,16);    //100 us overflow, 100 us interrupt
    setup_timer_3(T3_DISABLED | T3_DIV_BY_1);

    setup_ccp1(CCP_PWM);
    setup_ccp2(CCP_PWM);

    set_pwm1_duty(0);
    set_pwm2_duty(0);
    setup_comparator(NC_NC_NC_NC);

    usb_init();                // inicializamos el USB
    usb_task();                // habilita periferico usb e interrupciones
    usb_wait_for_enumeration(); // esperamos hasta que el PicUSB sea configurado por el host

    set_tris_a(0xFF);         // ENTRADA=1 SALIDA=0
    set_tris_b(0xFF);
    set_tris_c(0x00);
    output_b(0x00);
    output_c(0x00);

    while (TRUE)
    {
        if(usb_enumerated())    // si el Pic está configurado via USB
        {
            if (usb_kbhit(1))    // si el endpoint de salida contiene datos del host
            {

                usb_get_packet(1, dato, 64); // cojemos el paquete de tamaño 8bytes del EP1 y
//almacenamos //en dato
                data_out = dato[0];
                ldrva = dato[10];
                ldrvb = dato[11];
            }
        }
    }
}

```

```

ldelneg = dato[12];
ldelok = dato[13];
ldelpos = dato[14];
lldrpoc = dato[15];
lldrmuc = dato[16];

penmuc=((lldrmuc+1700)/20);
penpoc=((lldrpoc-1700)/-20);
penneg=(((float)ldelneg-100)/50);
penpos=((ldelpos-100)/-50);
penok2=((ldelok+100)/50);
penok=-penok2;

set_adc_channel(4);
isena = read_adc();
set_adc_channel(1);
isenb = read_adc();
set_adc_channel(2);
ldra = read_adc();
set_adc_channel(3);
ldrb = read_adc();
ldrb=ldrb+12;

if(data_out>0){
    ldra=ldrva;           // valor adimensional
    ldrb=ldrvb;           // valor adimensional
}

delta=ldra-ldrb;         // valor adimensional

if((ldra>200)&&(ldrb>200)){

do {

output_low(PIN_C6);
delay_ms( 100 );

```

```

output_high(PIN_C0);

} while(input(PIN_B7));

output_low(PIN_C0);
output_low(PIN_C6);
}

else{
    fuzzificador((float)ldra,(float)ldrb,(float)delta); //Fuzzificador
    reglas((float)ldra,(float)ldrb,(float)delta); //Ejecuta Reglas
    salida=defuzzificador(); //Defuzzificador

if(salida>0&&input(PIN_B6)){

    output_low(PIN_C0);
    delay_ms( 100 );
    output_high(PIN_C6);
    }

else{
if(salida<0&&input(PIN_B7)){
    output_low(PIN_C6);
    delay_ms( 100 );
    output_high(PIN_C0);
    }

else{
    output_low(PIN_C0);
    output_low(PIN_C6);
    }
}
}

var=0;

dato[1] = input_b(); // Envío Byte1 =0
dato[2] = (int)isena; // Envío del Byte LSB del isena
dato[3] = (int)((isena & 0xFF00)>>8); // Envío del Byte MSB del isena
dato[4] = (int)isenb; // Envío del Byte LSB del isenb

```

```

dato[5] = (int)((isenb & 0xFF00)>>8); // Envío del Byte MSB del isenb
dato[6] = (int)ldra; // Envío del Byte LSB del ldra
dato[7] = (int)((ldra & 0xFF00)>>8); // Envío del Byte MSB del ldra
dato[8] = (int)ldrb; // Envío del Byte LSB del ldrb
dato[9] = (int)((ldrb & 0xFF00)>>8); // Envío del Byte MSB del ldrb
usb_put_packet(1, dato, 64, USB_DTS_TOGGLE); //y enviamos el mismo paquete de
// tamaño 64bytes del EP1 al PC
    }
}
}
}

```