

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FUZZY-PID PARA EL
CONTROL DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PANEL SOLAR
MONOCRISTALINO DE 30 WATT**

AUTORES:

**RECALDE REGALADO NESTOR XAVIER
PRIETO BRICEÑO FERNANDO JAVIER**

DIRECTOR:

VÍCTOR HUGO NARVÁEZ VEGA

Quito, octubre del 2014

**DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO
DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

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

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

Quito, octubre del 2014

Nestor Xavier Recalde Regalado

CI: 172031310-3

Fernando Javier Prieto Briceño

CI: 171917238-7

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, a mis hermanas Mariana, Viviana y a su esposo Jorge, a mi hermano René que son las mejores personas que me han apoyado, aconsejado y ese es gran motivo para culminar este proceso. A mis grandes tesoros que con sus travesuras, sus alegrías, sus llantos, sus ocurrencias que me han hecho sentir feliz en los momentos cuando uno lo necesitaba, ellos son mis sobrinos Karolina, Katherine y Josué, que Dios ilumine a esta familia que siempre está unida en los buenos y malos momentos.

Xavier Recalde Regalado

Este trabajo de titulación, lo dedico a todas aquellas personas que siempre estuvieron en este caminar con su paciencia, alegría, buenos consejos y apoyo incondicional. A mi mamita querida, Editha; que aunque físicamente no está presente, fue el pilar que me impulso y me seguirá impulsando a conseguir muchos éxitos en la vida. A mi padre Fernando y mis hermanos Yadira y Lenin, que con su apoyo y fortaleza, estuvieron siempre alentándome en el transcurso de este trabajo. A mis tías Victoria, Magdalena, Lucía, Julia y Naty que supieron brindarme su apoyo incondicional desde el principio, y a mis primos los Chirikutos: David, Anita y Andrés.

Fernando Prieto Briceño

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana por formarnos como buenos cristianos y honrados ciudadanos, a nuestro tutor Ing. Víctor Narváez por su asesoramiento, amistad y paciencia brindada a lo largo del proyecto.

Agradecemos también a los docentes que han sabido compartir conocimientos y valores desde el inicio hasta el final de la carrera universitaria y por ultimo un profundo agradecimiento al colegio Nuestra Señora del Cisne por las facilidades brindadas para la elaboración del proyecto.

Xavier Recalde Regalado

Fernando Prieto Briceño

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
ANTECEDENTES.....	2
1.1 Tema.....	2
1.2 Justificación del trabajo.....	2
1.3 Planteamiento del problema	2
1.4 Resumen de la propuesta de intervención	3
1.5 Objetivos	3
1.6 Beneficiarios de la propuesta de intervención.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
ESTADO DE ARTE	5
2.1 Fuentes actuales de energía, sostenibilidad y futuro	5
2.2 Fuentes de energías renovables	6
2.3 Energía fotovoltaica y su desarrollo en Ecuador.....	7
2.3.1 Energía solar fotovoltaica.	7
2.3.2 Celdas fotovoltaicas.....	8
2.3.2.1 <i>Células de silicio monocristalino</i>	8
2.3.3 Paneles fotovoltaicos.	9
2.3.4 Proyectos fotovoltaicos desarrollados en Ecuador.	10
2.4 Controladores Fuzzy-PID.....	11
2.4.1 Control Fuzzy.	11
2.4.1.1 <i>Lógica difusa</i>	11
2.4.1.2 <i>Conjuntos difusos</i>	11
2.4.1.3 <i>Fusificación</i>	12
2.4.1.3.1 <i>Operaciones conjuntos difusos</i>	13
2.4.1.3.2 <i>Operadores lógicos</i>	13

2.4.1.4	<i>Inferencia difusa</i>	14
2.4.1.5	<i>Desfusificación</i>	14
2.4.2	Control PID.....	15
2.4.2.1	<i>Principio de realimentación</i>	16
2.4.2.2	<i>Funcionamiento</i>	17
2.4.2.3	<i>Control proporcional</i>	17
2.4.2.4	<i>Control integral</i>	18
2.4.2.5	<i>Control proporcional integral</i>	18
2.4.2.6	<i>Control proporcional derivativo</i>	19
2.4.2.7	<i>Control proporcional-integral-derivativo</i>	19
2.5	Análisis de prefactibilidad.....	20
2.5.1	Prefactibilidad ambiental.....	20
2.5.1.1	<i>La radiación solar en Ecuador</i>	22
2.5.1.2	<i>Interacción sol-tierra</i>	23
2.5.2	Prefactibilidad técnica.....	25
2.5.2.1	<i>Panel solar</i>	25
2.5.2.2	<i>Acumuladores de energía</i>	26
2.5.2.3	<i>Convertidor de corriente directa a corriente alterna (CD-CA)</i>	27
2.5.2.4	<i>Regulador del sistema de carga para la batería</i>	28
2.5.3	Prefactibilidad Legal.....	28
2.5.3.1	<i>Constitución política del Ecuador</i>	28
2.5.3.2	<i>Ley de Gestión Ambiental</i>	29
2.5.3.3	<i>Plan Nacional del Buen Vivir</i>	29
2.5.3.4	<i>Permisos</i>	30
2.5.3.5	<i>Regulaciones</i>	30
CAPÍTULO 3.....		32
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL FUZZY-PID.....		32

3.1	Definición de parámetros	32
3.2	Diseño y modelación del software para el sistema de control Fuzzy-PID ..	34
3.2.1	Modelado del motor DC.....	35
3.2.1.1	<i>Obtención de la constante de tiempo mecánica(t_m).</i>	36
3.2.1.2	<i>Determinación de momento de inercia (J_m).</i>	38
3.2.1.3	<i>Obtención del torque de fricción y de la corriente de arranque del motor DC.</i>	38
3.2.2	Panel solar y acondicionador de señal.	43
3.2.3	Referencia del sistema.....	45
3.2.4	Control Fuzzy.....	46
3.2.5	Control PID.	49
3.3	Lógica de control para el sistema del panel solar.....	53
3.4	Diseño e Implementación del hardware del sistema Fuzzy-PID para el control del ángulo de inclinación del panel solar monocristalino de 30 Watt	56
3.4.1	Diseño y desarrollo del hardware.....	56
3.4.1.1	<i>Interfaz microcontrolador motor DC.</i>	56
3.4.1.1.1	<i>Condiciones de funcionamiento.</i>	57
3.4.1.1.2	<i>Regulador de voltaje.</i>	58
3.4.1.1.3	<i>Acondicionador de voltaje.</i>	59
3.4.1.1.4	<i>Diseño del sistema de carga y descarga de la batería.</i>	60
3.4.1.1.4.1	<i>Acondicionador de voltaje de carga.</i>	61
3.4.1.1.4.2	<i>Circuito de carga y descarga para la batería.</i>	61
3.4.1.1.4.3	<i>Circuito de control automático de iluminación.</i>	62
3.4.2	Elección del convertidor CD-CA.....	63
3.4.3	Carga del sistema.	64
CAPÍTULO 4.....		66
PRUEBAS, RESULTADOS Y COSTO DEL PROYECTO.....		66
4.1	Pruebas de funcionamiento del sistema de control Fuzzy-PID.....	66

4.2 Pruebas del sistema de conversión de energía en modo estático y dinámico ..	66
4.2.1 Prueba del panel solar en modo estático primer día.....	70
4.2.2 Prueba del panel solar en modo estático segundo día.....	75
4.2.3 Prueba del panel solar en modo dinámico tercer día.....	79
4.2.4 Prueba del panel solar en modo dinámico cuarto día.....	83
4.2.5 prueba del panel solar en modo dinámico quinto día.....	88
4.3 Tiempo de descarga de la batería	92
4.4 Comparación modo estático y modo dinámico	93
4.5 Costo del proyecto.....	94
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	97
LISTA DE REFERENCIAS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Las ERNC a nivel mundial, una pequeña parte de la energía primaria, pero en crecimiento	6
<i>Figura 2.</i> Capacidad efectiva de generación eléctrica en febrero del 2014	7
<i>Figura 3.</i> Célula de silicio monocristalino	9
<i>Figura 4.</i> Estructura física de un panel solar	9
<i>Figura 5.</i> Visión de lógica difusa	12
<i>Figura 6.</i> Tipos de conjuntos difusos más comunes	12
<i>Figura 7.</i> Media de máxima	14
<i>Figura 8.</i> Estructura de un controlador difuso	15
<i>Figura 9.</i> Diagrama de bloques del sistema de control de un proceso	16
<i>Figura 10.</i> Espectro luminoso de la luz solar	20
<i>Figura 11.</i> Radiación solar	22
<i>Figura 12.</i> Intensidad de la radiación solar en el Ecuador y los polos	22
<i>Figura 13.</i> Insolación global promedio de Ecuador durante el año 2008	23
<i>Figura 14.</i> Movimiento de rotación de la tierra	23
<i>Figura 15.</i> Trayectoria elíptica de la tierra respecto al sol	24
<i>Figura 16.</i> Panel solar monocristalino	25
<i>Figura 17.</i> Componentes y estructura de una batería AGM	27
<i>Figura 18.</i> Tipos de ondas producidas por los inversores	27
<i>Figura 19.</i> Nivel de radiación solar en la ciudad de Quito	32
<i>Figura 20.</i> Panel solar monocristalino de 30 Watt	32
<i>Figura 21.</i> Batería de tecnología AGM	33
<i>Figura 22.</i> Diagrama de bloques del control Fuzzy-PID	34
<i>Figura 23.</i> Diagrama de bloques de un sistema de motor DC	36
<i>Figura 24.</i> Determinación de la constante de tiempo mecánica	37
<i>Figura 25.</i> Respuesta a entrada escalón	37
<i>Figura 26.</i> Determinación de la constante de fricción de coulomb (B)	41
<i>Figura 27.</i> Diagrama de bloques del motor DC	42
<i>Figura 28.</i> Diagrama de bloques del motor DC en Simulink	42
<i>Figura 29.</i> Modelo del motor DC en Simulink	42
<i>Figura 30.</i> Radianes vs voltaje con ecuación polinómica	44
<i>Figura 31.</i> Ingreso de ecuación al bloque Polynomial de Simulink	45
<i>Figura 32.</i> Voltaje de referencia y voltaje del panel transformados a radianes	46

<i>Figura 33.</i> Entrada del sistema Fuzzy	47
<i>Figura 34.</i> Reglas del control Fuzzy.....	47
<i>Figura 35.</i> Salida del sistema Fuzzy	48
<i>Figura 36.</i> Simulación del sistema implementado en Matlab.....	48
<i>Figura 37.</i> Control Fuzzy del proyecto.....	49
<i>Figura 38.</i> Parámetros del control PID	50
<i>Figura 39.</i> Sistema de control Fuzzy-PID	52
<i>Figura 40.</i> Resultado del sistema Fuzzy-PID	52
<i>Figura 41.</i> Curva de respuesta a escalón unitario con t_d , t_r , t_p , M_p , y t_s	53
<i>Figura 42.</i> Lógica de control del sistema Fuzzy-PID	54
<i>Figura 43.</i> Diagrama de bloques del hardware.....	56
<i>Figura 44.</i> Diagrama esquemático de la Interfaz Microcontrolador-Motor DC.....	57
<i>Figura 45.</i> Diagrama esquemático de la fotocelda y los sensores digitales.....	58
<i>Figura 46.</i> Diagrama esquemático del adaptador de voltaje.....	59
<i>Figura 47.</i> Diagrama esquemático del acondicionador de voltaje.....	59
<i>Figura 48.</i> Diagrama esquemático del acondicionador de voltaje.....	61
<i>Figura 49.</i> Diagrama esquemático del circuito de carga y descarga de la batería.....	62
<i>Figura 50.</i> Diagrama esquemático del circuito de control automático de iluminación	63
<i>Figura 51.</i> Foco led.....	65
<i>Figura 52.</i> Lista de chequeo para el funcionamiento del proyecto.....	66
<i>Figura 53.</i> Posicionamiento del panel solar.....	67
<i>Figura 54.</i> Voltaje del panel solar vs nivel de iluminación para el primer día en modo estático.....	71
<i>Figura 55.</i> Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para del primer día en modo estático.....	72
<i>Figura 56.</i> Voltaje del panel solar vs tiempo para el primer día en modo estático ...	73
<i>Figura 57.</i> Voltaje de entrada al cargador de la batería versus tiempo para del primer día en modo estático.....	74
<i>Figura 58.</i> Voltaje del panel solar vs nivel de iluminación para el segundo día en modo estático	75
<i>Figura 59.</i> Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para el segundo día en modo estático.....	76
<i>Figura 60.</i> Voltaje del panel solar vs tiempo para el segundo día en modo estático.	77

<i>Figura 61.</i> Voltaje de entrada al cargador de la batería vs tiempo para el segundo día en modo estático.....	78
<i>Figura 62.</i> Voltaje del panel solar vs nivel de iluminación para el tercer día en modo dinámico.....	80
<i>Figura 63.</i> Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para tercer día en modo dinámico.....	81
<i>Figura 64.</i> Voltaje del panel solar vs tiempo para el tercer día en modo dinámico ..	82
<i>Figura 65.</i> Voltaje de entrada al cargador de la batería vs tiempo para el tercer día en modo dinámico.	83
<i>Figura 66.</i> Voltaje del panel solar vs nivel de iluminación para el cuarto día en modo dinámico.....	84
<i>Figura 67.</i> Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para el cuarto día en modo dinámico	85
<i>Figura 68.</i> Voltaje del panel solar vs tiempo para el cuarto día en modo dinámico .	86
<i>Figura 69.</i> Voltaje de entrada al cargador de la batería vs tiempo para cuarto día en modo dinámico.....	87
<i>Figura 70.</i> Voltaje del panel solar vs nivel de iluminación para el quinto día en modo dinámico.....	88
<i>Figura 71.</i> Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para el quinto día en modo dinámico	89
<i>Figura 72.</i> Voltaje del panel solar vs tiempo para el quinto día en modo dinámico .	90
<i>Figura 73.</i> Voltaje de carga de la batería vs tiempo para el quinto día en modo dinámico.....	91
<i>Figura 74.</i> Voltaje de la batería vs tiempo.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Variables y características para la prefactibilidad ambiental</i>	25
Tabla 2. <i>Características de prefactibilidad técnica</i>	28
Tabla 3. <i>Características del panel solar monocristalino</i>	33
Tabla 4. <i>Características de la batería</i>	34
Tabla 5. <i>Características del motor DC</i>	36
Tabla 6. <i>Valores experimentales</i>	40
Tabla 7. <i>Constantes obtenidas de manera experimental del motor DC</i>	41
Tabla 8. <i>Variación del voltaje vs variación de posición</i>	44
Tabla 9. <i>Características técnicas del convertidor CD-CA</i>	64
Tabla 10. <i>Datos del primer día en modo estático</i>	68
Tabla 11. <i>Datos del segundo día en modo estático</i>	68
Tabla 12. <i>Datos del tercer día en modo dinámico</i>	69
Tabla 13. <i>Datos del cuarto día en modo dinámico</i>	69
Tabla 14. <i>Datos quinto día en modo dinámico</i>	70
Tabla 15. <i>Voltaje del panel solar y de nivel de iluminación del primer día en modo estático</i>	71
Tabla 16. <i>Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del primer día en modo estático</i>	72
Tabla 17. <i>Voltaje del panel solar y hora del primer día en modo estático</i>	73
Tabla 18. <i>Tiempo en cargarse la batería en modo estático para el primer día</i>	74
Tabla 19. <i>Voltaje del panel solar y nivel de iluminación del segundo día en modo estático</i>	75
Tabla 20. <i>Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del segundo día en modo estático</i>	76
Tabla 21. <i>Voltaje del panel solar y hora del segundo día en modo estático</i>	77
Tabla 22. <i>Tiempo en cargarse la batería en modo estático para el segundo día</i>	78
Tabla 23. <i>Voltaje del panel solar y nivel de iluminación del tercer día en modo dinámico</i>	79
Tabla 24. <i>Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del tercer día en modo dinámico</i>	80
Tabla 25. <i>Voltaje del panel solar y tiempo del tercer día en modo dinámico</i>	81
Tabla 26. <i>Tiempo en cargarse la batería en modo dinámico para el tercer día</i>	82

Tabla 27. <i>Voltaje del panel solar y nivel de iluminación del cuarto día en modo dinámico</i>	84
Tabla 28. <i>Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del cuarto día en modo dinámico</i>	85
Tabla 29. <i>Voltaje del panel solar y tiempo del cuarto día en modo dinámico</i>	86
Tabla 30. <i>Tiempo en cargarse la batería en modo dinámico para el cuarto día</i>	87
Tabla 31. <i>Voltaje del panel solar y nivel de iluminación del quinto día en modo dinámico</i>	88
Tabla 32. <i>Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del quinto día en modo dinámico</i>	89
Tabla 33. <i>Datos del voltaje del panel solar y tiempo del quinto día en modo dinámico</i>	90
Tabla 34. <i>Tiempo en cargarse la batería en modo dinámico para el quinto día</i>	91
Tabla 35. <i>Datos del tiempo de descarga de la batería</i>	92
Tabla 36. <i>Comparación de resultados</i>	93
Tabla 37. <i>Equipos y materiales con el sistema Fuzzy-PID</i>	94
Tabla 38. <i>Equipos y materiales sin el sistema Fuzzy-PID</i>	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Batería.....	104
Anexo 2. Motor dc	105
Anexo 3. Código de programación	106
Anexo 4. Convertidor dc-ac (inversor)	110
Anexo 5. Obtención de la frecuencia de muestreo de forma experimental	111

RESUMEN

Al referirse a energía solar fotovoltaica se está hablando de una de las ramas de las energías renovables. En la actualidad en el Ecuador, se está incentivando la generación de electricidad a partir de fuentes renovables amigables con el ambiente.

En el proyecto se demuestra la diferencia que existe al colocar un panel solar en modo estático en comparación con un panel solar en modo dinámico, en el modo dinámico el panel solar trabaja con un sistema de control Fuzzy-PID que se implementa en un microcontrolador, este sistema de control trata de posicionar al panel solar en una buena posición, para aprovechar la radiación solar y con ello, se logra almacenar la energía captada por el panel solar en una batería. La energía almacenada en el acumulador se utiliza para iluminar un pasillo en horas de la noche en el Colegio Nuestra Señora del Cisne.

ABSTRACT

When referring to the photovoltaic solar energy it is speaking of one subjects of the energy renewable, nowadays in Ecuador is encouraging the generating of electricity from renewable sources friendly with environment.

In the project shows the difference that there is between to put a solar panel in static mode in relation with a solar panel in dynamic mode, in the dynamic mode the solar panel work with a Fuzzy-PID control system , that is implement in a microcontroller. It system of control try on position to the solar panel in a good position for utilize the solar radiation and with it get to saved the energy captured for the solar panel in a battery. The energy saved in the accumulator is used for illuminate a hallway in hours of the night in the high school “Nuestra Señora del Cisne”.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la demanda energética es mayor, y a medida que transcurre el tiempo aumenta el consumo de energía eléctrica. La energía solar es una energía limpia, abundante y gratuita que ayuda a reducir la contaminación que sufre el planeta por los gases efecto invernadero.

En el proyecto, la energía solar captada en el día es almacenada en una batería, y se utiliza para un sistema de iluminación nocturna en las instalaciones del colegio Nuestra Señora del Cisne; demostrar la diferencia que existe al colocar un panel solar en modo estático en comparación con una panel solar en modo dinámico, es decir un panel solar que se posicione de mejor manera para tener una buena captación de la radiación solar.

El trabajo de titulación se encuentra dividido en cuatro capítulos. En el primer capítulo se trata de los antecedentes que han llevado a la elaboración de este proyecto.

En el segundo capítulo, se presenta el estado de arte que se trata de una manera teórica la explicación del sistema de control implementado para conseguir que el panel solar se comporte de una manera dinámica y por último se aborde la prefactibilidad ambiental, técnica y legal que es necesaria para implementar este tipo de proyectos.

En el tercer capítulo, se realiza el diseño y la implementación del sistema de control Fuzzy-PID en el colegio Nuestra Señora del Cisne, seleccionando los dispositivos a utilizar.

En el cuarto capítulo, se presenta las pruebas, resultados y se indican las conclusiones y recomendaciones obtenidas del proyecto realizado.

Es así que se realiza esta investigación, con el afán de contribuir a la conservación de un planeta más sustentable y amigable.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1 Tema

Diseño e implementación de un sistema Fuzzy-PID para el control del ángulo de inclinación del panel solar monocristalino de 30 Watt.

1.2 Justificación del trabajo

Se pretende conseguir un mejor aprovechamiento de los paneles solares estáticos, a través de un sistema dinámico que ubique al panel en la posición de mayor nivel de radiación solar.

Se debe hacer uso de nuevas tecnologías para lograr la eficiencia energética y reducción de impactos ambientales; por lo que el desarrollo de este trabajo se apoyará en el Art.2 de la Ley de Gestión Ambiental “La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales”(Honorable Congreso Nacional del Ecuador, 2004, pág. 1).

También es importante proponer soluciones energéticas para vincular a la universidad, a la sociedad y al medio ambiente, por lo que este proyecto brindará un compromiso ambiental y también otorgará la posibilidad de integrar este tipo de tecnologías que ayudarán a una mejor eficiencia energética.

1.3 Planteamiento del problema

La energía proveniente del sol es una fuente gratuita, limpia e inagotable en mucho tiempo, la cual es una alternativa para liberarnos de la dependencia de fuentes fósiles no renovables; que además puede ser convertida en otras formas de energía como por ejemplo la electricidad, y que en muchos casos no es muy bien aprovechada a nivel mundial y en especial en el sector residencial de nuestro país.

1.4 Resumen de la propuesta de intervención

Esta investigación presenta una propuesta al continuo problema que poseen los paneles solares estáticos, al no captar de una manera eficiente la radiación solar emitida por el sol en el transcurso del día; por lo que se pretende lograr un mejor aprovechamiento de la radiación del sol, incorporando un sistema Fuzzy-PID para el control del ángulo de inclinación en un panel solar monocristalino de 30 Watt.

1.5 Objetivos

Objetivo general:

- Diseñar e implementar un sistema Fuzzy-PID para el control del ángulo de inclinación del panel solar monocristalino de 30 Watt, para conseguir un mejor aprovechamiento de la radiación solar.

Objetivos específicos:

- Analizar el estado de arte de generación de electricidad a partir de paneles solares.
- Implementar el control de inclinación del panel solar monocristalino de 30 W, mediante la técnica Fuzzy-PID.
- Implementar un sistema para optimizar el tiempo de vida de la batería, controlando el ciclo de carga y descarga.
- Comparar la eficiencia energética entre el generador de panel solar monocristalino de 30 W estático y dinámico, controlando el ángulo de inclinación mediante el control Fuzzy-PID.

1.6 Beneficiarios de la propuesta de intervención

Este proyecto tiene como principal favorecido a la Unidad Educativa “Nuestra Señora del Cisne”.

CAPÍTULO 2

ESTADO DE ARTE

En este capítulo se presenta una introducción a las energías renovables y también las bases académicas y legales que se requieren para la elaboración de este tipo de proyectos.

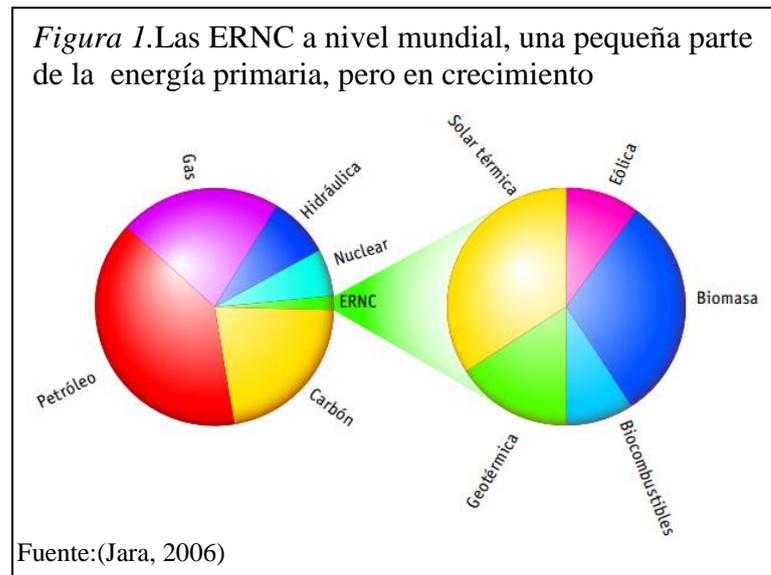
2.1 Fuentes actuales de energía, sostenibilidad y futuro

Aproximadamente hace 250 años la población era relativamente baja, cualquier alteración del medio ambiente era absorbida por la propia naturaleza, sin embargo en los últimos dos siglos se ha notado un cambio drástico en el medio ambiente causado por diferentes situaciones:

- Crecimiento desmedido de la población, lo cual ha causado una excesiva presión al medio ambiente.
- Procesos industriales que alteran el entorno con sus desechos, esto por lo general en países desarrollados.
- El incremento poblacional y las industrias, provocan el fenómeno de la urbanización, personas que migran de sus pequeñas comunidades a las grandes ciudades, lo mismo que provoca problemas ambientales en razón del incremento de la densidad de personas y de industrias.
- Todas estas situaciones han provocado un incremento excesivo del uso de energía.

El uso y explotación de combustibles fósiles como fuentes energéticas, han permitido el desarrollo económico desde la revolución industrial hasta nuestros días; sin embargo los impactos ambientales que estos producen tales como: efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, lluvia acida han obligado a la comunidad internacional a buscar un nuevo modelo sostenible, el cual no afecte a las futuras generaciones.

En ese contexto el uso de las energía renovable no convencionales se sustentan como una alternativa real y necesaria; la inversión para este tipo de energías todavía sigue siendo muy por debajo con relación a otros tipos de energías, según la figura 1, se puede observar la gran diferencia que existe en el consumo mundial de la energía convencional, respecto de la energías renovables no convencionales. (Jara, 2006, págs. 6,7,8,9)



En la medida que la Energías Renovables no Convencionales (ERNC) penetren en el esquema de generación de electricidad, se podrá evitar el consumo de otras fuentes de energías, aunque por razones económicas el costo de este tipo de energías todavía mayor al de las energías convencionales, esta barrera deberá ser solucionada en el transcurso del tiempo por los gobiernos, a través de incentivos específicos al desarrollo y fomento de las Energía Renovables no Convencionales (ERNC).

2.2 Fuentes de energías renovables

Al hablar de energías renovables, se habla de que es inagotable en comparación con la vida humana, se trata de energía que llega a nuestro planeta en forma continua, por motivos de radiación solar o de atracción gravitatoria de la luna, además se puede considerar que este tipo de energía se regenera en corto tiempo.(Schallenberg, J., Piernavieja,G., Hernández,C., Unamunzaga,P., García,R. et al., 2008, pág.16).

Entre las principales se puede nombrar:

- Energía hidráulica
- Energía solar
- Energía eólica
- Energía biomasa.
- Energía geotérmica
- Energía del mar

Los datos de la figura 2, muestra porcentualmente la potencia eléctrica obtenida de las diferentes centrales eléctricas del Ecuador en el mes de febrero del 2014

Figura 2. Capacidad efectiva de generación eléctrica en febrero del 2014

INFORMACIÓN ESTADÍSTICA FEBRERO 2014			
1. Capacidad efectiva en generación		MW	%
Energía Renovable	Hidráulica	2,237.33	43.86%
	Solar	4.87	0.10%
	Eólica	18.90	0.37%
	Turbovapor	93.40	1.83%
Total Energía Renovable		2,354.50	46.16%
No Renovable	MCI	1,324.83	25.97%
	Turbogas	973.30	19.08%
	Turbovapor	448.24	8.79%
Total Energía No Renovable		2,746.37	53.84%
Total Capacidad Instalada		5,100.87	100.00%

Fuente: (CONELEC, 2014)

2.3 Energía fotovoltaica y su desarrollo en Ecuador

2.3.1 Energía solar fotovoltaica.

Un panel o módulo fotovoltaico está constituido por varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y alojadas sobre un mismo marco, la energía solar se puede transformar directamente en electricidad por medio de las células fotovoltaicas. El efecto fotovoltaico se basa; cuando al incidir la luz sobre los materiales semiconductores que posee la célula, se genera un flujo de electrones en el interior del material, que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica.

Un panel solar produce energía eléctrica continua, el voltaje y la corriente varían con la radiación solar que incide en las células y con la temperatura ambiente, la energía eléctrica producida por el panel solar puede ser transformada a corriente alterna mediante un inversor; con las mismas características eléctricas de la red eléctrica convencional. (Schallenberg Rodríguez, y otros, 2008, pág. 64)

2.3.2 Celdas fotovoltaicas.

El silicio es el material más utilizado para la fabricación de células fotovoltaicas, que además es el más abundante en la tierra después del oxígeno. El silicio para ser útil a la célula solar, debe ser refinado al 99.9999% de pureza, la estructura molecular de una celda individual de silicio es uniforme, esto permite una eficiente transferencia de electrones. El silicio necesita ser dopado es decir agregar impurezas para convertirlo en tipo “p” y tipo “n” lo que permitirá tener una celda fotovoltaica efectiva.

Tradicionalmente han existido tres tecnologías disponibles en células fotovoltaicas de silicio:

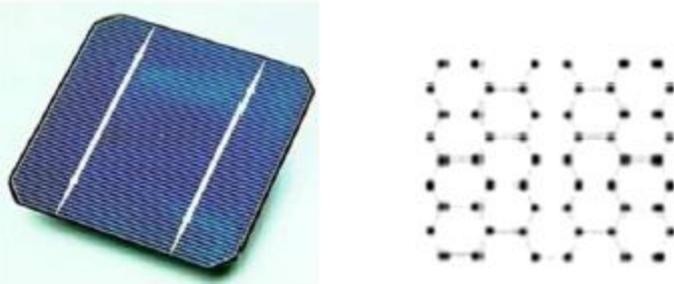
- Células de silicio monocristalino.
- Células de silicio multicristalino.
- Células de silicio amorfo.

2.3.2.1 Células de silicio monocristalino.

Este tipo de células son las más eficientes con rendimiento del 14 al 16 % e incluso hasta el 30%, ya que utiliza lingotes puros de silicio, que son los mismos que se utiliza para la fabricación de chips electrónicos. (Schallenberg Rodríguez, y otros, 2008, pág. 65)

La figura 3, muestra una celda solar fotovoltaica monocristalina.

Figura 3. Célula de silicio monocristalino

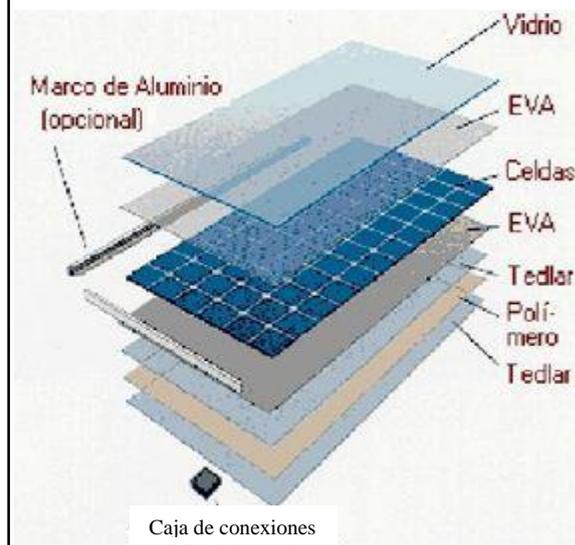


Fuente:(Analuisa, 2011)

2.3.3 Paneles fotovoltaicos.

Para producir mayor cantidad de energía las celdas fotovoltaicas se agrupan e interconectan formando los paneles fotovoltaicos, constructivamente constan de un marco perimetral y de un vidrio templado y anti reflectante que deja pasar la mayor cantidad de radiación solar y además sirve de protección a las celdas, la figura 4, muestra la estructura de un panel solar.(Analuisa, 2011, pág. 23)

Figura 4. Estructura física de un panel solar



Fuente: (Eliseo Sebastian, 2012)

2.3.4 Proyectos fotovoltaicos desarrollados en Ecuador.

El gobierno a través del Consejo Nacional de Electrificación (CONELEC) ha incentivado la construcción de nuevos proyectos fotovoltaicos según la regulación 04/11 aprobada en abril del 2011 la cual fue reformada en el 2012, que abre a la empresa privada e inversionistas nacionales y extranjeros, la oportunidad de incursionar en el desarrollo de la energía renovable no convencional, donde se establece que la tarifa a USD 0,40 por cada Kilovatio-hora (Kw/h) para la energía fotovoltaica. (CONELEC, 2013)

Según datos del CONELEC los proyectos más importantes:
(CONELEC, s.f.)

Central Fotovoltaica Shiri-I

- Empresa gestora: Desarrollos fotovoltaicos del Ecuadors.a.
- Capacidad: 50 MW
- Ubicación: cantón Quito, provincia Pichincha

Central Fotovoltaica Imbabura-Pimán

- Empresa gestora: Ecuadorenergético s.a.
- Capacidad: 25 MW
- Ubicación: cantón Ibarra, provincia de Imbabura.

Central Fotovoltaica Santa Elena I

- Empresa gestora: Ecuadorenergético s.a.
- Capacidad: 25 MW
- Ubicación: cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena.

Central Fotovoltaica Condorsolar

- Empresa gestora: Condorsolar s.a.
- Capacidad: 30 MW
- Ubicación: cantones Cayambe y Tabacundo, provincia de Pichincha.

2.4 Controladores Fuzzy-PID

2.4.1 Control Fuzzy.

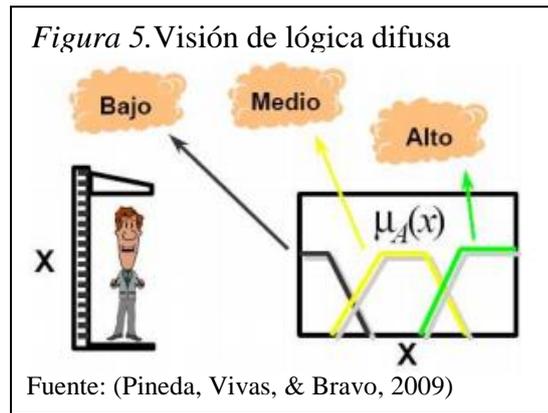
Hoy en día es común encontrar la palabra Fuzzy que significa difuso en español, en diferentes artículos comerciales, ya sea en lavadoras, sistema de frenos ABS para autos, cámaras de video, aire acondicionado, etc. Se trata de un sistema de control robusto, sencillo, económico, y de fácil implementación. El control difuso, toma los valores de las variables de entrada, realiza algún procedimiento con ellas, finalmente decide que realizar con la salida; su particularidad es que procesa reglas y no tablas o ecuaciones, utiliza reglas porque se encuentran más cercanas al sentido común que las ecuaciones o modelos matemáticos.(Gómez, 2008, pág. 1)

2.4.1.1 Lógica difusa.

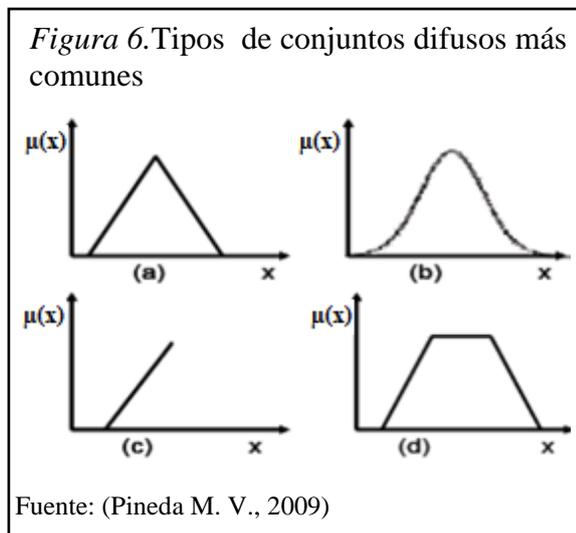
La lógica difusa emula la manera en que el cerebro piensa o razona, la lógica difusa nació para expresar cosas que no son muy precisas, por medio de conjuntos difusos, la combinación de estos conjuntos permite definir acciones.(Pineda, Vivas, & Bravo, 2009, pág. 2)

2.4.1.2 Conjuntos difusos.

Se asocia a cada conjunto un determinado valor lingüístico por ejemplo A, cada conjunto dispone de una función de membresía $\mu_A(t)$, la cual indica el grado de pertenencia que tiene un dato o un valor dentro de un conjunto difuso. La figura 4 indica un ejemplo del valor lingüístico “Estatura de una persona”, en este ejemplo se definen 3 subconjuntos difusos; identificados con los nombres {bajo, medio, alto} y con sus respectivas funciones de membresía $\{\mu_{bajo}(t), \mu_{medio}(t), \mu_{alto}(t)\}$, como se puede observar en la figura 5. (Pineda, Vivas, & Bravo, 2009, págs. 2,3)



La figura 6, muestra los tipos de conjuntos difusos más comunes: (a) Triangular, (b) Campana de Gauss, (c) Monótonica, (d) Trapezoidal.



Un Controlador Fuzzy, consta de 3 pasos de cálculo: fusificación, inferencia difusa y defusificación.

2.4.1.3 Fusificación

Es la primera parte del proceso, se toma una señal continua en la entrada la cual contiene valores de las variables del sistema, que puede ser un valor numérico o una señal de algún sensor y transformarla en un conjunto de valores comprendidos entre 0 y 1, a continuación se procede a calcular el grado de pertenencia (Función de membresía) en cada conjunto Fuzzy establecido.

2.4.1.3.1 Operaciones conjuntos difusos.

Sean los subconjuntos borrosos A y B asociados a una variable x , se puede tener tres operaciones básicas: Intersección, Unión y Complemento.

- **Intersección:** se determina con el mínimo entre los valores, como se observa en la ecuación 1.

Ecuación 1. Intersección

$$\mu_{A \cap B} = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

- **Unión:** se determina con el máximo entre los valores, como se observa en la ecuación 2.

Ecuación 2. Unión

$$\mu_{A \cup B} = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)]$$

- **Complemento.** Es 1 menos la función de membresía, como se observa en la ecuación 3.

Ecuación 3. Complemento

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$$

2.4.1.3.2 Operadores lógicos.

“Los operadores lógicos son evaluados como operaciones entre conjuntos difusos utilizando la lógica difusa” entre los más utilizados:(Chávez, 2011, pág. 36)

- NO (NOT), o complemento.
- Y (AND), o Intersección.
- O (OR), o Unión.

2.4.1.4 Inferencia difusa.

Inferir es la capacidad de construir conclusiones apropiadas, frente a una evidencia dada.

El operador lógico \Rightarrow combina dos proposiciones con la expresión.

SI...Entonces... (If...Then...) que es el fundamento de la inferencia en lógica difusa, también conocida como Reglas Lógicas. Para un mejor entendimiento un ejemplo. Si los ingresos del cliente son bajos Entonces su capacidad de endeudamiento es poca.

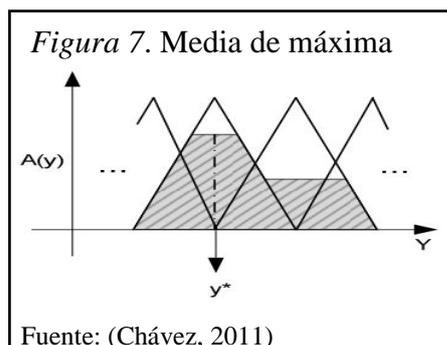
Las reglas expresan un tipo de relación entre dos o más variables difusas y representan una implicación lógica, donde el conocimiento se expresa por reglas.(Pineda, M. Vivas,A. Bravo, Y., 2009, pág. 3)

2.4.1.5 Desfusificación.

Este bloque tiene como entradas conjuntos difusos de la salida del bloque de inferencia y como salidas valores concretos, los cuales se asignaran a los actuadores.

Los principales métodos de desfusificación son:

- Método de la media de máxima.
- Método del centro promedio.
- **Método de media máxima:** obtiene el valor medio del intervalo que maximizan al conjunto difuso resultante, tal como se puede ver en la figura 7. (Chávez, 2011, pág. 56)



- **Método del centro promedio:** la ecuación 4, muestra la formula de este tipo de método. (Chávez, 2011, págs. 53,54).

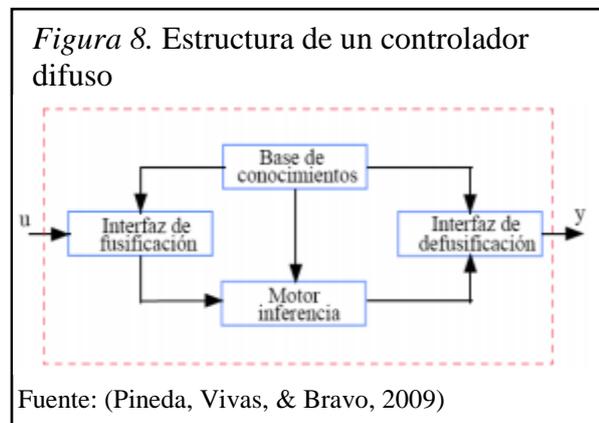
Ecuación 4. Método del centro promedio

$$y^* = \frac{\sum_{j=1}^M A(c_j) \cdot (c_j)}{\sum_{j=1}^M A(c_j)}$$

Donde:

- y^* = Salida defusificada.
- $A(c_j)$ = Es el máximo grado de cumplimiento sobre todas las reglas con el consecuente A_j .
- c_j = Es la posición del centro de la función de pertenencia A_j .
- M = Número máximo de los conjuntos difusos de salida activos A_j .

La estructura básica de un sistema de control difuso se muestra en la figura 8.



2.4.2 Control PID.

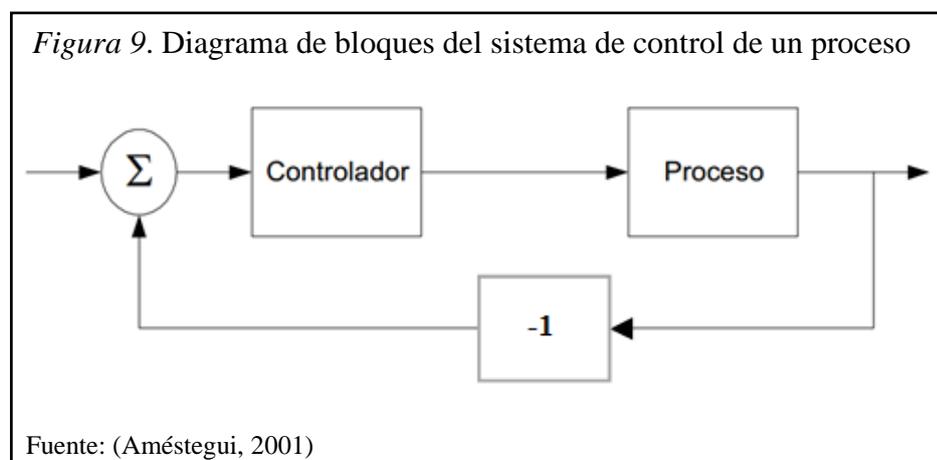
El controlador PID puede considerarse como el algoritmo de control más común, el mismo que puede ser utilizado de diferentes maneras: como controlador stand alone, como parte de un paquete de control digital directo o como parte de un sistema de control distribuido. (Améstegui, 2001, pág. 1)

Este tipo de control corrige el error entre un valor medido y el que se desea, calculándolo y luego sacando una acción correctora que permita ajustar el proceso a lo especificado.(Villalba, 2011, pág. 27)

2.4.2.1 Principio de realimentación.

“El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia, y lo realiza tomando en cuenta esta diferencia”. (Ogata, 2003, pág. 3)

Es decir incrementar la variable manipulada cuando la variable del proceso sea más pequeña que la referencia y disminuirla cuando ésta sea más grande. El principio de realimentación ha tenido éxito en áreas como: control, comunicaciones e instrumentación. Para un mejor entendimiento observe el diagrama de bloques de la figura 9.



A este tipo de realimentación se la conoce como realimentación negativa; tal como se observa en el bloque -1 , debido a que la variable manipulada se mueve en dirección opuesta a la variable del proceso, las flechas indican las entradas y salidas del proceso, observe que existe un símbolo especial el cual indica la suma de las señales. (Améstegui, 2001, pág. 1).

2.4.2.2 Funcionamiento.

Para el correcto funcionamiento de un control PID que permita regular el sistema se necesita:

- Un sensor, informará el estado del sistema.
- Un controlador, para generar la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador, el cual modifica al sistema de manera controlada, puede ser: motor, válvula, bomba, etc.

Los tres componentes para el control PID son:

- Parte Proporcional
- Acción Integral
- Acción Derivativa(Villalba, 2011, pág. 27)

2.4.2.3 Control proporcional.

Para este tipo de controlador, la relación entre la salida del controlador $u(t)$ y la señal de error $e(t)$ es:

Ecuación 5. Control proporcional

$$u(t) = K_p e(t)$$

Donde:

$u(t)$ = Señal de salida del controlador

K_p = Ganancia proporcional

$e(t)$ = Señal de error.(Ogata, 2003, pág. 65)

2.4.2.4 Control integral.

En este tipo de controlador, el valor de la salida del controlador $u(t)$ se cambia a una razón proporcional a la señal de *error* $e(t)$, como se puede observar en la ecuación 6:

Ecuación 6. Control integral

$$u(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

Donde:

$u(t)$ = Señal de salida del controlador

K_i = Constante ajustable o Ganancia integral

$e(t)$ = Señal de error. (Ogata, 2003, pág. 65)

2.4.2.5 Control proporcional integral.

Este tipo de controlador conocido como PI, permite resolver el problema de la reducción en la estabilidad relativa, se define como:

Ecuación 7. Control proporcional integral

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Donde:

$u(t)$ = Señal de salida del controlador

K_p = Ganancia proporcional

$e(t)$ = Señal de error.

T_i = Tiempo integral. (Ogata, 2003, págs. 65,66)

2.4.2.6 Control proporcional derivativo.

La acción de control de un controlador proporcional-derivativa (PD) se define mediante la ecuación 8.

Ecuación 8. Control proporcional derivativo

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

$u(t)$ = Señal de salida del controlador

K_p = Ganancia proporcional

$e(t)$ = Señal de error.

T_d = Tiempo derivativo. (Ogata, 2003, pág. 66)

2.4.2.7 Control proporcional-integral-derivativo.

Este sistema de control tiene la ventaja de las 3 acciones de control individuales como son: la acción de control proporcional, acción de control integral y la acción de control derivativa, se la denomina acción de control proporcional-integral-derivativa, y se define mediante la ecuación 9.

Ecuación 9. Control proporcional integral derivativo

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Donde:

$u(t)$ = Señal de salida del controlador.

K_p = Ganancia proporcional.

$e(t)$ = Señal de error.

T_i = Tiempo integral.

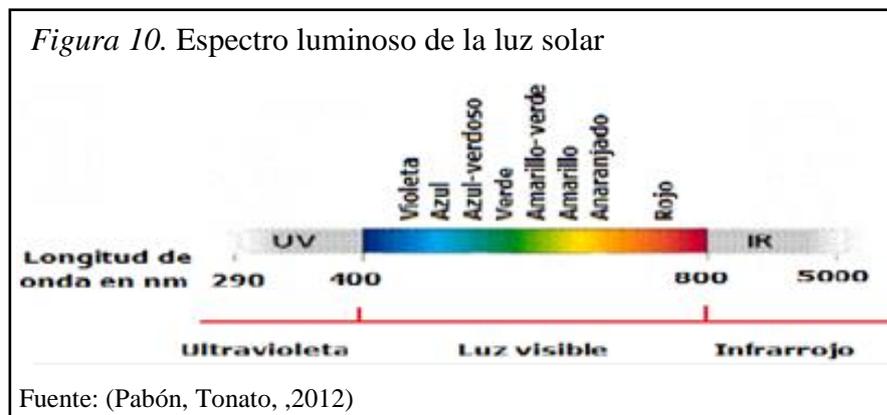
T_d = Tiempo derivativo. (Ogata, 2003, pág. 66)

2.5 Análisis de prefactibilidad

2.5.1 Prefactibilidad ambiental.

La radiación solar se considera a la propagación de la energía en forma de ondas electromagnéticas, la capa de ozono ayuda a que la totalidad de la energía procedente del sol no llegue a la superficie terrestre, a la superficie terrestre solo llegan longitudes de onda comprendidas entre 290nm y 5000nm, de esta manera no llega la radiación que es peligrosa para el planeta y los seres vivos, su unidad de medida es el vatio/metro cuadrado (W/m^2).

La luz visible es la parte del espectro que puede ser percibida por el ojo humano, como se observa en la figura 10, cada uno de los colores posee un rango de longitud de onda, a los extremos de la luz visible se tiene la radiación ultravioleta y la infrarroja. La radiación infrarroja es aquella que se percibe a través del calor. La figura 10, indica el espectro luminoso de la luz solar.



La radiación ultravioleta está dividida en:

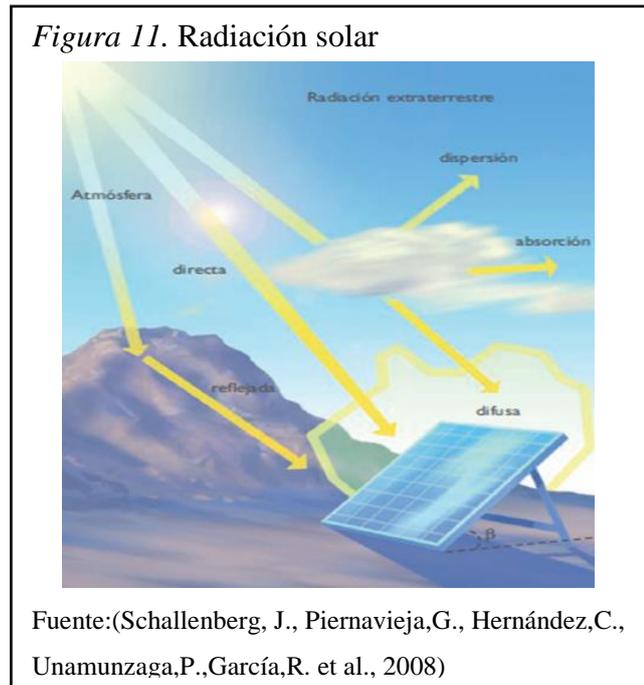
- **Radiación ultravioleta A (UVA):**este tipo de radiación abarca un rango entre 320 y 400nm, constituye el 98% de la radiación ultravioleta, además es de considerar que es capaz de atravesar el vidrio y penetrar hasta la epidermis, pero su energía decrece en función de la longitud de onda.

- **Radiación ultravioleta B (UVB):** este tipo de radiación constituye el 2% de la radiación ultravioleta, ya que tiene un rango de longitud de onda entre 290 y 320nm, su energía es alta, pero no es capaz de atravesar el vidrio y la epidermis.
- **Radiación ultravioleta C (UVC):** su rango de longitud de onda se encuentra entre 100 y 280nm, gracias a la capa de ozono es retenida, por lo cual no avanza a la superficie terrestre, posee alta energía y gran capacidad destructiva. (Pabón & Tonato, 2012, págs. 7,8)

La radiación solar llega a nuestro planeta en distintas formas como se observa en la figura 11, aunque esto depende en la forma en cómo los rayos solares inciden en los objetos situados en la superficie de nuestro planeta y estos son:

- **Radiación directa:** se trata de la radiación que llega de manera directa del sol; sin haber con nada por el camino, esta radiación es la que produce las sombras.
- **Radiación difusa:** es la radiación que llega después de haber incidido con cualquier elemento de la atmósfera tales como: nubes, polvo, contaminantes, etc. Este tipo de radiación predomina en un día nublado.
- **Radiación reflejada:** se trata de la radiación reflejada por la superficie terrestre ya sea en la nieve, en ríos, mares, etc.
- **Radiación global:** es la suma de la radiación directa y la radiación difusa.

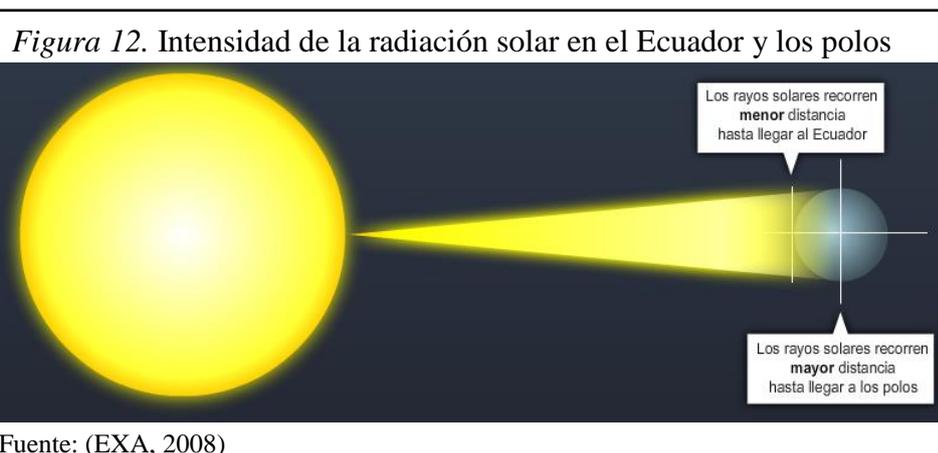
Figura 11. Radiación solar



Fuente:(Schallenberg, J., Piernavieja,G., Hernández,C., Unamunzaga,P.,García,R. et al., 2008)

2.5.1.1 La radiación solar en Ecuador.

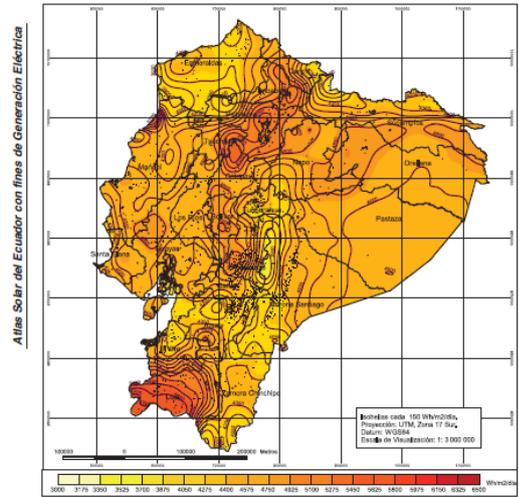
La posición geográfica del Ecuador, hace que la luz solar pase por menos atmósfera en Ecuador la radiación cae perpendicularmente como se ve en la figura 12, situación que no ocurre en otros sitios del planeta en donde el ángulo de incidencia de la luz solar varía acorde a las estaciones del año.(Pabón & Tonato, 2012, pág. 10)



Fuente: (EXA, 2008)

Ecuador cuenta con un Atlas Solar desde el 2008. El Atlas solar proporciona información sobre la insolación difusa, directa y global del Ecuador como lo ilustra en la figura 13.

Figura 13. Insolación global promedio de Ecuador durante el año 2008



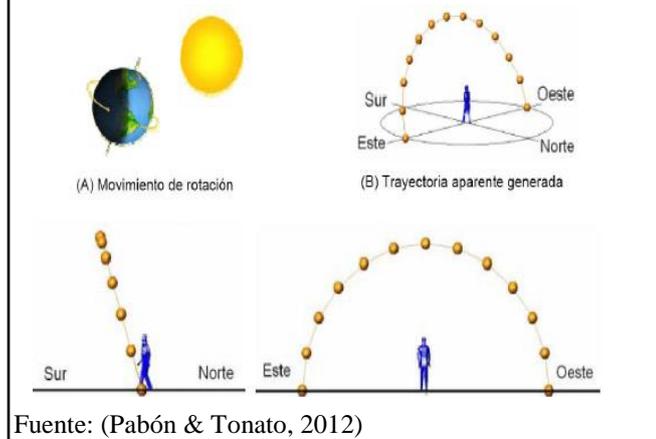
Fuente: (CONELEC, 2008)

2.5.1.2 Interacción sol-tierra.

Los movimientos principales que la tierra realiza son los de rotación y traslación, los cuales intervienen en la posición relativa de un punto en la superficie de la tierra con respecto al sol.

- **El movimiento de rotación:** lo realiza la Tierra sobre su propio eje con una duración de 24 horas 0 minutos y 57.33 segundos, a este movimiento se debe la sucesión de días y noches, para un mejor entendimiento ver la figura 14.

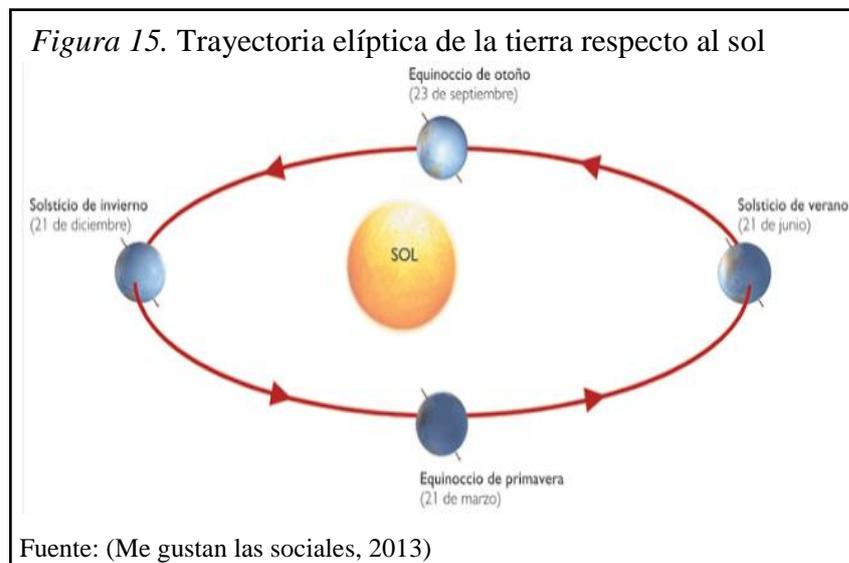
Figura 14. Movimiento de rotación de la tierra



Fuente: (Pabón & Tonato, 2012)

- **Movimiento de traslación:** este movimiento lo realiza la tierra alrededor del sol en 365.2422 días, aunque prácticamente se utiliza 365 como representación de una año.(Pabón & Tonato, 2012, págs. 3,4)

La intensidad de la radiación solar no va ser la misma, debido a que la trayectoria de la tierra respecto al sol describe en realidad una elipse; por lo tanto se tendrá mayor radiación en los meses diciembre y enero y mínima en los meses de junio y julio, como se ilustra en la figura 15.



La tabla 1, ayuda a un mejor entendimiento de los puntos tratados.

Tabla 1. *Variables y características para la prefactibilidad ambiental*

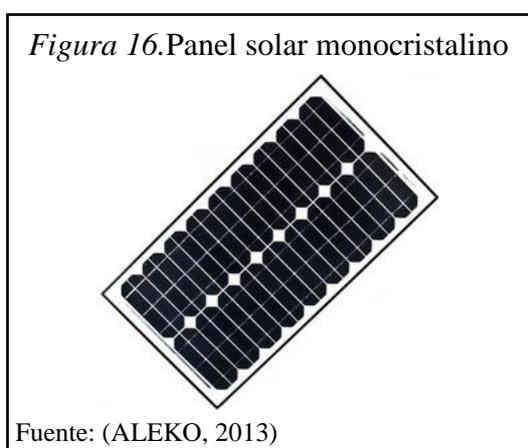
Variables	Características
Tiempo de vida del sol	4500 millones de años
Tiempo restante de vida del sol	5000 millones de años
Radiación UV en Ecuador	Alto
Facilidad para generación de electricidad con energías renovables	Si, según regulación 04/11 del CONELEC
Energías renovables implementadas en Ecuador	Si
Estaciones climáticas en Ecuador	Invierno y verano
Radiación solar que llega a la superficie terrestre	51%

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

2.5.2 Prefactibilidad técnica.

2.5.2.1 Panel solar.

De acuerdo a lo tratado en 2.3.2 se ha seleccionado el panel solar monocristalino, como se muestra en la figura 16



2.5.2.2 Acumuladores de energía.

El almacenamiento de la energía eléctrica producido por los módulos fotovoltaicos se lo realiza mediante baterías, las cuales realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento del sistema:

- Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica.
- Proveen energía eléctrica en periodos de baja o nula radiación solar.
- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. (Analuisa, 2011, págs. 83,84).

Tipos de baterías:

- Batería de Plomo Ácido.
- Batería de GEL.
- Batería AGM.

La batería de AGM (Absorbed Glass Mat)también se la puede llamar batería de funcionamiento en seco. Lo mejor de esta batería es, que a pesar de utilizar una tecnología muy avanzada, el precio es muy similar a la de plomo-ácido, creando así una batería de una prestación muy buena a un precio muy asequible, el tiempo de vida de esta batería es de 3-5 años. (Auto Solar, s.f.)

La figura 17, muestra la estructura física y componentes que utiliza este tipo de batería.

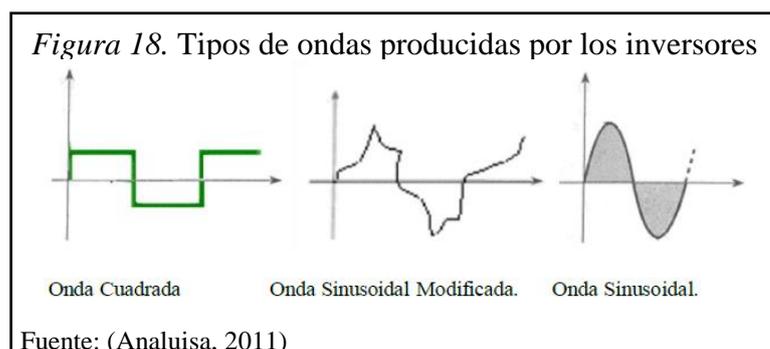


2.5.2.3 Convertidor de corriente directa a corriente alterna (CD-CA).

Los módulos fotovoltaicos proveen energía de corriente continua de 12 o 24 voltios por lo que se requiere un componente adicional llamado inversor, el mismo que a través de dispositivos electrónicos transforma la corriente continua de la batería de 12 voltios a 110 voltios de corriente alterna, las características principales que deben seguir estos dispositivos son las siguientes:(Analuisa, 2011, pp. 93,94).

- Demanda total de potencia de CA.
- Forma de onda de salida del inversor.
- Tensión de entrada y salida.
- Protección de sobretensión.
- Factor de potencia.
- Modularidad.

Una forma de clasificar a los inversores, es según su forma de onda como lo indica la figura 18.



2.5.2.4 Regulador del sistema de carga para la batería.

Para un funcionamiento de la instalación en la unión de los paneles solares con la batería es necesario un regulador de carga, el cual tiene como función principal impedir que siga recibiendo energía la batería, del panel solar, cuando ha alcanzado su valor máximo de carga.

La tabla 2, ayuda a un mejor entendimiento de los puntos tratados.

Tabla 2. *Características de prefactibilidad técnica*

Variables	Características
Tipo de batería con mejor relación calidad-precio	AGM(Absorbed Glass Mat)
Tipo de panel solar con mejor desempeño	Panel solar monocristalino
Tiempo de vida de un panel solar monocristalino	30 años
Regulador de carga para la batería	Si

Elaborado por: (Xavier Recalde& Fernando Prieto)

2.5.3 Prefactibilidad Legal.

2.5.3.1 Constitución política del Ecuador.

Para el desarrollo de este proyecto se ha basado en el Título II llamado Derechos y de manera específica en los Artículo 14 y 15 los cuales mencionan:

- “**Art.14.-** Se reconoce el derecho de la población de vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumakkawsay”.

- “**Art.15.-**El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua”. (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2008, pág. 24)

También se toma como base lo tratado en el Título VII del Régimen del Buen Vivir y de manera específica lo tratado en los Artículos 385 y 388 referente a Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales:

- “**Art.385.-** El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía”.
- “**Art. 388.-** El Estado destinará los recursos necesarios para la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación, la formación científica”.(Asamblea Nacional República del Ecuador, 2008, págs. 173,174)

2.5.3.2 Ley de Gestión Ambiental.

El desarrollo de este proyecto se ha basado en la Ley de Gestión Ambiental en el Título I llamado Ámbito y principios de la gestión ambiental y de manera específica en el artículo 2 el cual menciona:

- Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respeto a las culturas y prácticas tradicionales. (Honorable Congreso Nacional del Ecuador, 2004, pág. 1)

2.5.3.3 Plan Nacional del Buen Vivir.

Para el desarrollo del proyecto también se tomo como base el Plan Nacional del Buen Vivir el cual menciona de manera resumida:

Sección 5.1.2 Tecnología, innovación y conocimiento: en el marco de la estrategia de acumulación, distribución y redistribución, el desarrollo de las fuerzas productivas se centra en la formación de talento humano y en la generación de conocimiento, innovación, nuevas tecnologías, buenas prácticas y nuevas herramientas de producción, con énfasis en el bioconocimiento y en su aplicación a la producción de bienes y servicios ecológicamente sustentables. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013, pág. 67)

2.5.3.4 Permisos.

Que el artículo 13 del Reglamento Sustitutivo del Reglamento General de la Ley de Régimen del sector eléctrico dispone que las personas naturales o jurídicas autorizadas por el estado para generar, transmitir, distribuir y comercializar la energía eléctrica estarán obligadas a observar las disposiciones de la legislación ecuatoriana y las estipuladas en las normas internacionales relativas a la protección y conservación del ambiente que consten o se deriven de los convenios ratificados por el Ecuador.

Artículo 39 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico determina que corresponde al CONELEC, por delegación del estado, suscribir los contratos de concesión, permiso o licencia, para la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, en aplicación de la Ley y el Reglamento de Concesiones, Permisos y Licencias.

Que el artículo 20 de la Ley de Gestión Ambiental establece que para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la Licencia Ambiental respectiva, otorgada por el Ministerio del ramo.

2.5.3.5 Regulaciones.

Los proyectos con energías renovables no convencionales se basan en las siguientes regulaciones del CONELEC:

- **Regulación del CONELEC 003/11**, sobre determinación de la metodología para el cálculo del plazo y de los precios referenciales de los proyectos de generación y autogeneración desarrollados por la iniciativa privada, incluyendo aquellos que usen energías renovables. (CONELEC, 2011)
- **Regulación del CONELEC 004/11**, sobre el tratamiento para la energía producida con tecnologías basadas en recursos energéticos renovables no convencionales: eólica, biomasa, biogás, fotovoltaica, geotermia y centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW de capacidad instalada. Para su participación: Cualquier interesado en desarrollar un proyecto que utilice fuentes renovables podrá solicitar el tratamiento preferente como generador no convencional, para lo cual tendrá que presentar al CONELEC los requisitos respectivos. (CONELEC, 2011)
- **Regulación 008/08 del CONELEC**, que fija los procedimientos para presentar, calificar, priorizar y aprobar los proyectos del FERUM (Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal). (CONELEC, 2008).

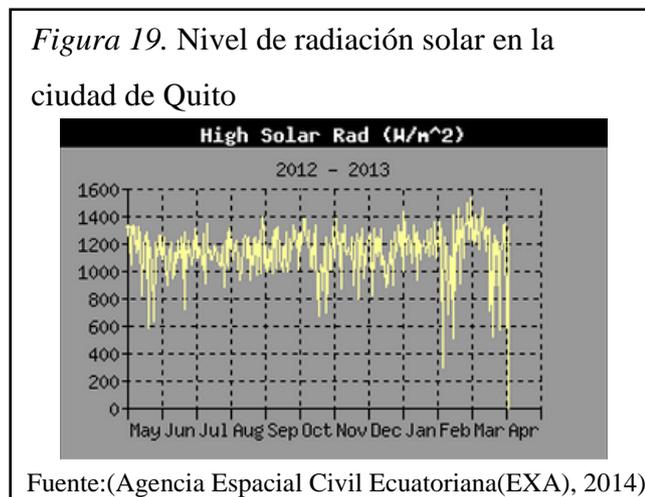
CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL FUZZY-PID

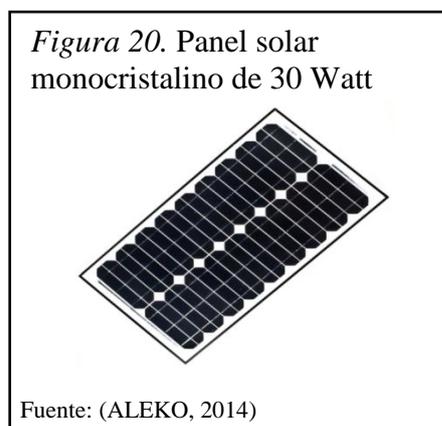
En este capítulo se presentan las características técnicas de los componentes utilizados, también se indica el diseño del software y hardware implementado en el proyecto.

3.1 Definición de parámetros

El nivel de radiación solar registrado en la ciudad de Quito entre mayo del 2012 y abril del 2013 se indica en la figura 19.



El panel solar utilizado es un panel de silicio monocristalino, de 30 Watt de potencia, tiene un peso de 3.1 Kg. Con dimensiones a lo largo de 64.5cm., a lo ancho 35cm., y a lo alto 2.5cm, cuya estructura física se indica en la figura 20.



Los datos que posee el panel solar monocristalino se encuentran en la tabla 3.

Tabla 3. *Características del panel solar monocristalino*

Máxima Potencia Nominal	30 Watt
Máxima Tensión[Vmp]	18.2 V
Máxima Intensidad de Corriente [Imp]	1.65 A
Tensión en circuito abierto [Voc]	22 V
Intensidad en corto circuito [Isc]	1.82 A

Fuente: (ALEKO, 2014)

La batería usada es una batería de tecnología AGM (Absorbent Glass Mat), reconocida por las normas de seguridad UL, se puede montar en cualquier orientación, libre de mantenimiento, tiene un peso de 3.67 Kg. Tiene dimensiones a lo largo de 15.1 cm., a lo ancho de 9.8cm., y a lo alto de 10.1cm., cuya apariencia física se indica en la figura 21.

Figura 21. Batería de tecnología AGM



Fuente: (VISION, 2003)

Las principales características de la batería están en la tabla 4, cuya hoja de datos están en el anexo 1.

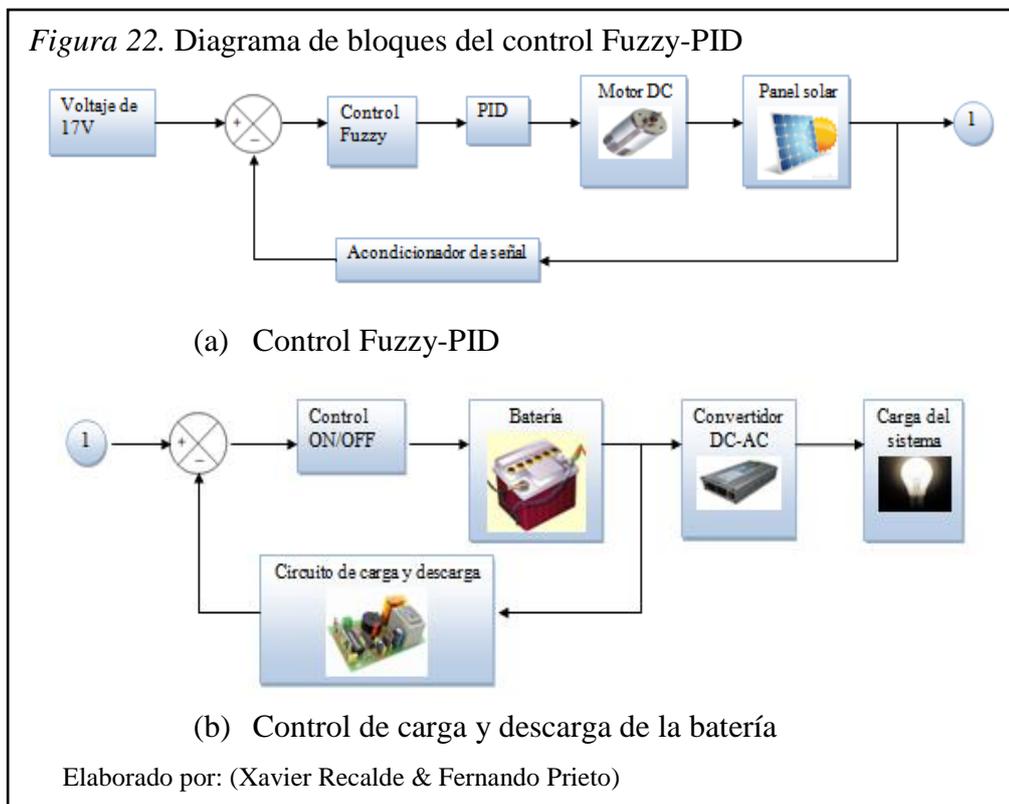
Tabla 4. Características de la batería

Voltaje Nominal	12 V
Capacidad en Amperios-Hora	12 Ah
Número de células	6
Tiempo de vida	3-5 años
Tecnología	AGM(AbsorbentGlass Mat)
Resistencia Interna, al estar cargada completamente (25°C)	17 mΩ
Peso aproximado	8.10 lbs.

Fuente: (VISION, 2003)

3.2 Diseño y modelación del software para el sistema de control Fuzzy-PID

La estructura de control que se muestra en la figura 22, es la que se utiliza, para el sistema de control Fuzzy-PID del panel solar monocristalino de 30 watt.



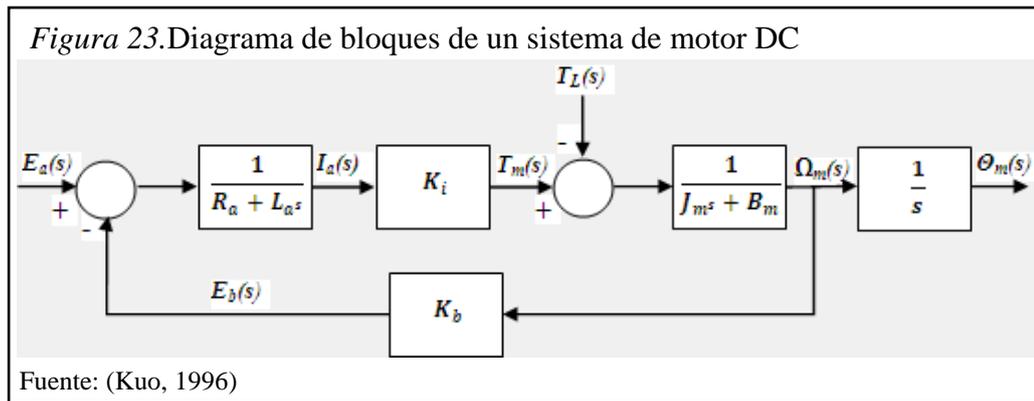
La diferencia entre la referencia del sistema en voltaje y el voltaje del panel solar ingresa a la entrada del control Fuzzy, luego de realizar el proceso requerido para dicho control, se obtiene un resultado; el cual será la entrada de Error para el PID, el motor será controlado en base al resultado conseguido del PID, el panel y el motor están unidos físicamente por un tornillo sin fin, se aprovecha la salida de voltaje del panel para que trabaje como sensor de retroalimentación para el sistema, como se puede observar en la figura 22 (a).

El voltaje adquirido por el panel solar tiene como finalidad cargar la batería, este proceso no se realiza de manera directa, ya que existe un control ON/OFF de un circuito de carga y descarga para la batería, la diferencia entre el voltaje del panel solar y el voltaje que dispone la batería es la entrada para el control ON/OFF, este control dejara pasar voltaje del panel solar a la batería solo cuando realmente sea necesario, con lo cual se consigue una prolongación de la vida útil de la batería, a la salida de la batería se coloca un convertidor DC a AC (inversor) que permitirá colocar una carga AC al sistema, ver la figura 22 (b).

3.2.1 Modelado del motor DC.

Para la elaboración del modelo básico de un motor DC se tomó como pauta lo desarrollado en el libro de Sistemas de Control Automático de Kuo.

Aunque el motor DC es por si solo un sistema en lazo abierto, el diagrama de bloques de la figura 23, indica que internamente tiene un lazo de realimentación provocado por la fuerza contraelectromotriz, físicamente la fuerza contraelectromotriz representa la realimentación de la señal, la cual es proporcional al negativo de la velocidad del motor, la fuerza electromotriz tiende a mejorar la estabilidad del motor y en general del sistema. (Kuo, 1996, págs. 178,179)



Los datos de la tabla 5, proporcionan las características que posee el motor DC implementado en el proyecto.

Tabla 5. Características del motor DC

Voltaje	12V
Radio de reducción	5.9:1
Resistencia	0.71 Ω
Inductancia	0.66 mH
Constante de torque	0.023 Nm/A
Constante de fuerza contra electromotriz	0.023 V/rad/s

Fuente: (Pittman , 2007)

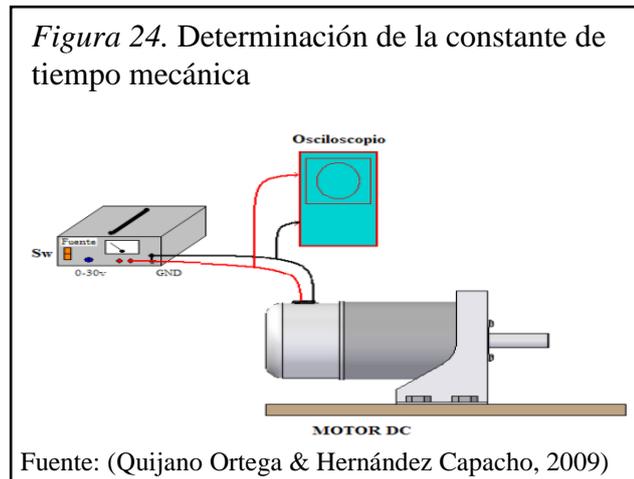
Dado que se necesita inercia del rotor (J_m) y coeficiente de fricción (B_m) para la función de transferencia mecánica, se procede a realizar la obtención de dichos valores de manera experimental.

3.2.1.1 Obtención de la constante de tiempo mecánica(t_m).

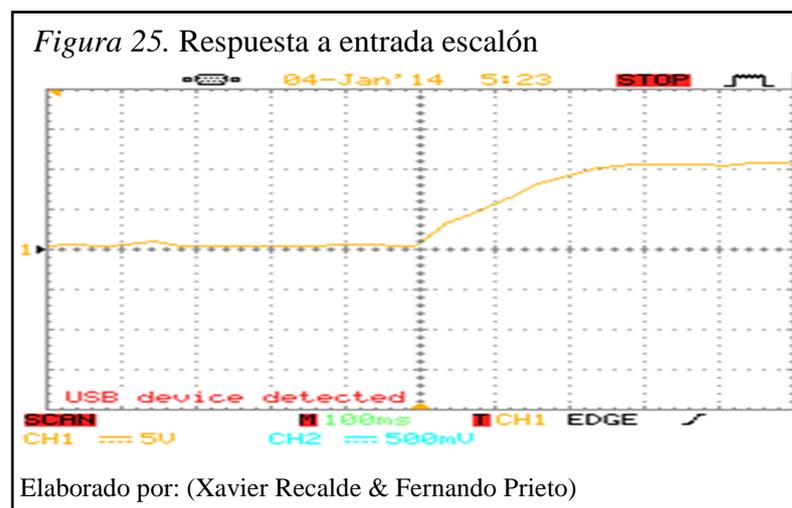
Para la obtención de la Inercia del motor (J_m) es necesario determinar la constante de tiempo mecánica (t_m). El modelo matemático de un motor de corriente continua presenta la relación directa entre la tensión de armadura y la velocidad en el eje, que experimentalmente se observa, al aplicarse un escalón de voltaje en sus terminales haciendo generar en principio una característica transitoria de velocidad, seguida de una respuesta de régimen estable para condiciones de carga fija, se involucra por

tanto, con estas características una constante de tiempo, conocida como constante de tiempo mecánica.

Para fines de esta práctica se le proporciona al motor un voltaje de 11 voltios, como se puede observar en la figura 24 el circuito que se utilizó.



La figura 25 muestra la señal medida con el osciloscopio digital correspondiente a la respuesta del sistema a una entrada paso unitario, para lo cual se utilizó el montaje de la figura 24.



Para la obtención de la constante mecánica, se mide el tiempo requerido para que la señal de salida alcance el 63.2% de su valor final, como se puede observar en la figura 25, se ubica el valor de voltaje al 63.2% lo cual equivale a 6.95 voltios, lo

siguiente es proyectar una línea que corte la gráfica, y es en este punto donde se encuentra el tiempo mecánico: $t_m(s) = 189.6 \text{ ms}$

3.2.1.2 Determinación de momento de inercia (J_m).

Se utiliza un método paramétrico, ya que apela al conocimiento de datos ya conseguidos u obtenidos tales como: Constante de torque (K_t), Constante de fuerza contraelectromotriz (K_e), Resistencia de Armadura (R_a), constante de tiempo mecánica (t_m), utilizando la siguiente Ecuación 10 se puede calcular J_m .

Ecuación 10. Constante de tiempo

$$t_m(s) = \frac{J_m \times R_a}{K_t \times K_e} = \frac{\text{Kg-m}^2, \text{Ohmios}}{\text{Nm/A, V/rad-seg}}$$

Despejando J_m

Ecuación 11. Momento de inercia

$$J_m = \frac{(t_m)(K_t)(K_e)}{R_a}$$

Ingresando valores obtenidos en la ecuación 11 para conseguir J_m

$$J_m = \frac{(189.6 \text{ ms})(0.023 \text{ Nm/A})(0.023 \text{ V/rad-seg})}{0.71 \text{ Ohmios}}$$

$$J_m = 1.41 \times 10^{-4} \text{ Kg-m}^2$$

3.2.1.3 Obtención del torque de fricción y de la corriente de arranque del motor DC.

Utilizando una fuente de voltaje DC variable, se va incrementando gradualmente el valor de la tensión, teniendo en cuenta el instante en que el eje del motor comienza a girar, cuando ello ocurre, se suspende el incremento del voltaje, y se toma la lectura del amperímetro correspondiente.

La fricción estática es una pérdida originada por una oposición al desarrollo de la dinámica inicial del movimiento. En un motor se manifiesta la corriente de arranque, cuando la corriente de armadura inicial que es insuficiente para superar el torque causado por dicha fricción, supera el torque de fricción y se produce el movimiento del eje esto debido a un aumento en la corriente de armadura. Esta corriente mínima se denomina corriente de arranque.

Para lo cual se utiliza la ecuación 12:

Ecuación 12. Torque de fricción

$$T_f = K_t \times I_{arr}$$

Donde:

T_f = Torque de fricción

K_t = Constante de torque

I_{arr} = Corriente de arranque

$$T_f = (0.023 \text{ Nm/A}) (0.25 \text{ A})$$

$$T_f = 5.75 \times 10^{-3} \text{ Nm}$$

3.2.1.4 Determinación de la constante de fricción de Coulomb (B).

La constante B se determina cuando el sistema se encuentra en estado estable, es decir, cuando el motor alcanza una velocidad constante, al aplicar la derivada a la velocidad constante su resultado es cero, por ende la aceleración es cero, aplicando la ecuación 13 para el torque mecánico.

Ecuación 13. Torque mecánico

$$T_m = K_t \times I_a = J\dot{\omega} + B\omega + T_f$$

Donde:

T_m = Torque mecánico

ω = Velocidad

$\dot{\omega}$ = Aceleración

B = Constante de fricción de coulomb

Para estado estable $\dot{\omega}=0$

Por lo tanto

$$T_m = K_t x I_a = B\omega + T_f$$

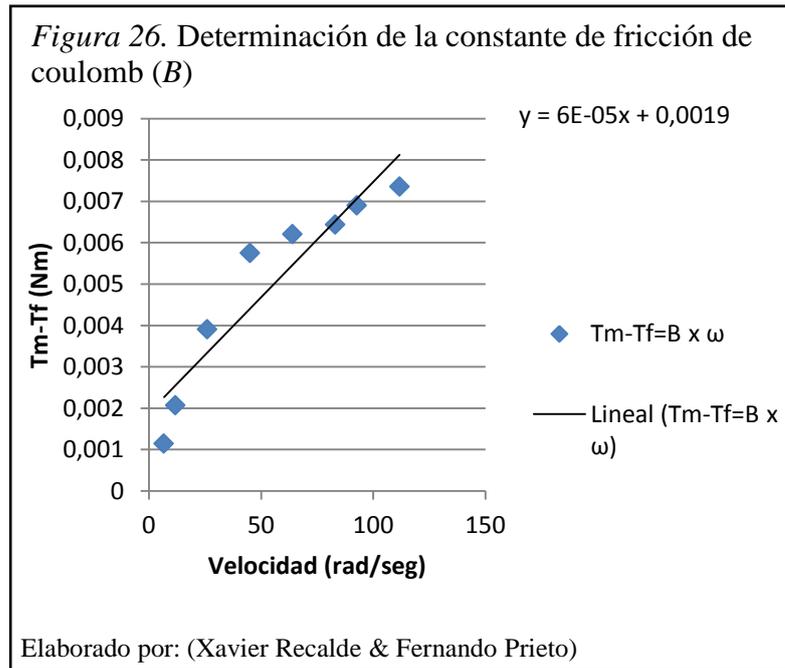
Con lo cual se puede conseguir los siguientes valores de forma experimental, como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6. *Valores experimentales*

Voltaje(Vin)	Corriente de Armadura (Ia)	Torque mecánico (Tm)	Velocidad angular (ω)	$T_m - T_f = B \times \omega$
1	0,3	0,0069	6,70208	0,00115
1,5	0,34	0,00782	11,83336	0,00207
3	0,42	0,00966	26,0061648	0,00391
5	0,5	0,0115	45,0652048	0,00575
7	0,52	0,01196	64,1242448	0,00621
9	0,53	0,01219	83,1832848	0,00644
10	0,55	0,01265	92,7128048	0,0069
12	0,57	0,01311	111,771845	0,00736

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

La figura 26, muestra la relación entre torque de fricción (T_f) y el torque mecánico (T_m) versus velocidad angular (ω). Utilizando el método de regresión lineal se obtiene la ecuación de la recta, la pendiente de la grafica dará el valor de la constante de fricción B . (Quijano & Hernández, 2009, págs. 20-26)



Observando la figura 26, se puede decir que la pendiente de la grafica es 6×10^{-6} , entonces el valor de la constante de fricción es:

$$B = 6 \times 10^{-6} \text{ Nms.}$$

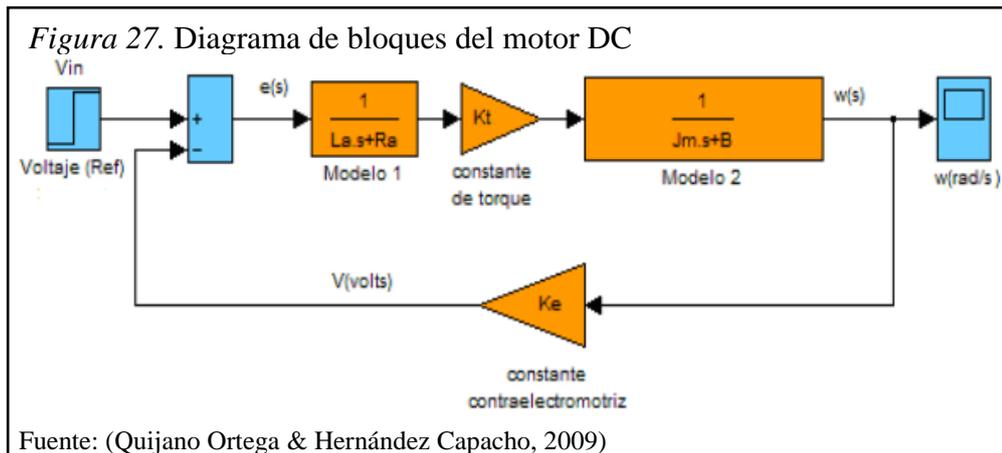
Los datos obtenidos mediante la hoja de datos del motor se pueden observar en la tabla 6 y los datos conseguidos de manera experimental se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Constantes obtenidas de manera experimental del motor DC

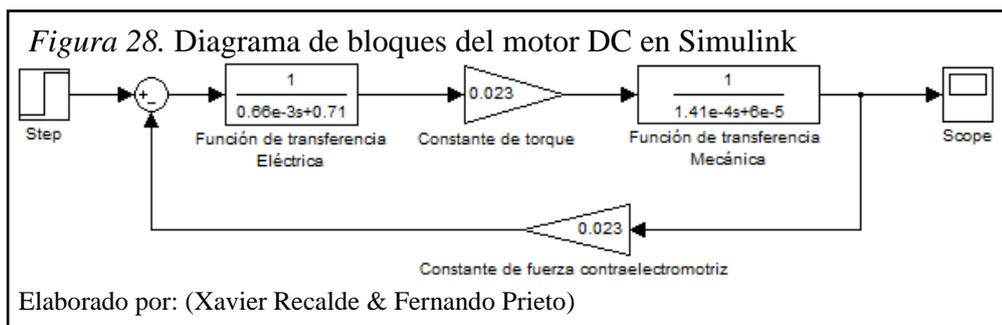
Jm	tm	Tf	B
1.41 x10-4 Kg-m2	189.6 ms	5.75 x10 ⁻³ Nm	6x10 ⁻⁶ Nms.

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

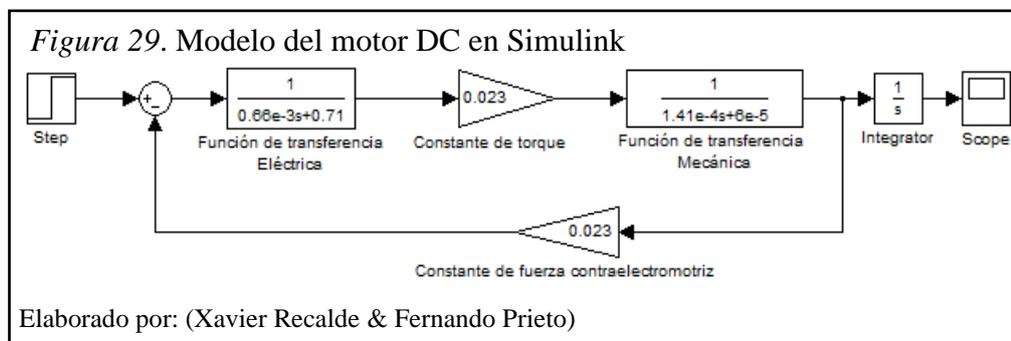
La figura 27, muestra el diagrama de bloques del motor dc, a construirse en Simulink de Matlab.



Una vez obtenidos todos los datos que requiere el diagrama de bloques del motor DC, es posible ingresar los valores de la tablas 6 y 8 para el diagrama de bloques del motor DC del proyecto tal y como se puede ver en la figura 28.



Como en este caso lo que se desea controlar es la posición no la velocidad lo único que hay que agregar es un integrador a la salida del sistema, ya que al integrar la velocidad se consigue la posición como se puede observar en la figura 29.



Simplificando el diagrama de bloques de las figura 27, se obtiene la ecuación 14.

Ecuación 14. Función de transferencia

$$\frac{\omega}{V} = \frac{\frac{Kt}{(Las+Ra)(Jms+B)}}{1 + \frac{(Kt)(Ke)}{(Las+Ra)(Jms+B)}}$$

Simplificando la Ecuación 14, resulta la ecuación 15:

Ecuación 15. Función de transferencia simplificada

$$\frac{\omega}{V} = \frac{Kt}{(Las+Ra)(Jms+B) + Kt*Ke}$$

La función de transferencia obtenida para el motor DC a partir de la ecuación 15 es:

$$\frac{\omega}{V} = \frac{247046.19}{s^2 + 1074.11s + 5725.03} = G(s)$$

3.2.2 Panel solar y acondicionador de señal.

El panel solar recibe en sus placas luz solar, la cual se transforma en voltaje de corriente continua (DC), esta característica es aprovechada, para que el panel solar trabaje como sensor, esta señal de voltaje se compara con la referencia del sistema, y es la entrada al control Fuzzy.

A la salida del panel se obtiene un voltaje de 22 voltios en un día soleado y sin carga, conforme se pierde la radiación solar, va disminuyendo el voltaje a la salida del panel solar; pero cuando el panel tiene carga (batería), la salida de voltaje del panel baja a 19 voltios en condiciones de alta radiación solar, y así mismo va disminuyendo el voltaje conforme se va perdiendo la radiación solar.

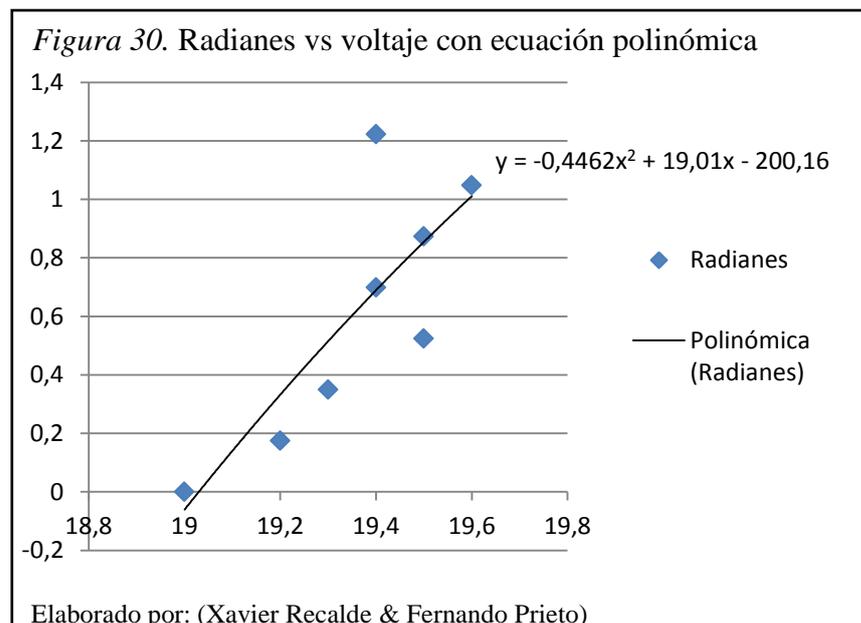
Dado que se obtiene a la salida del motor DC la posición del mismo en radianes, se desarrolla una relación que permite vincular, la variación de voltaje del panel conforme existe una variación en la posición del panel, es decir, se implementa un acondicionador de señal, para lo cual se tomaron datos experimentales los cuales se fabulan en la tabla 7, relacionando la posición del panel solar con el voltaje obtenido.

A continuación se grafica (figura 29) los datos de la tabla experimental (tabla 8), para ajustar la curva a la siguiente expresión $y = -0.446x^2 + 19.01x - 200.1$

Tabla 8. *Variación del voltaje vs variación de posición*

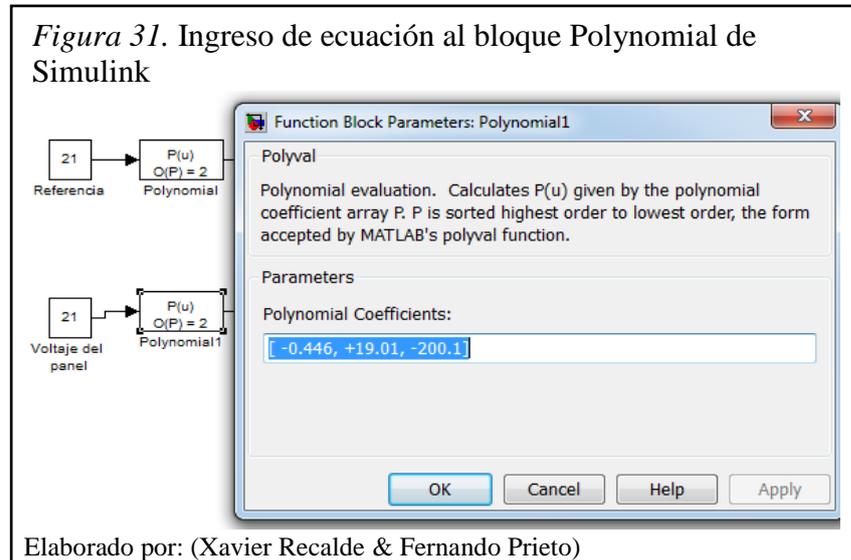
Grados	Voltaje	Radianes
70	19,4	1,221694444
60	19,6	1,047166667
50	19,5	0,872638889
40	19,4	0,698111111
30	19,5	0,523583333
20	19,3	0,349055556
10	19,2	0,174527778
0	19	0

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



La ecuación que se examina en la figura 30, viene a ser el acondicionador de señal, por lo que permitirá relacionar la posición en función de la variación de voltaje en el panel solar.

Para transformar el voltaje a posición angular se utiliza el bloque de funciones Polynomial del Simulink, donde se agrega la ecuación obtenida a partir del figura 30, como se observa en la figura 31.



3.2.3 Referencia del sistema.

La referencia del sistema, para el panel solar monocristalino es variable, porque depende de:

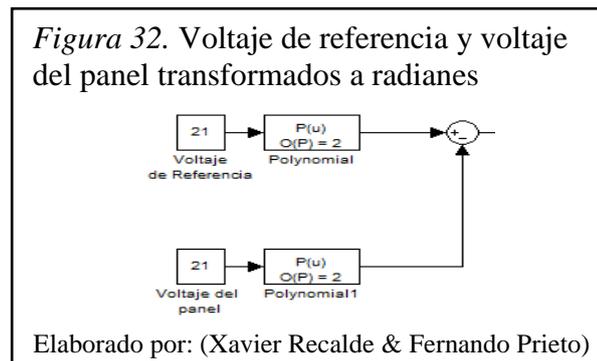
- La carga del panel solar (batería).
- Las condiciones climáticas.

Se ha definido una referencia de 21 voltios, cuando el panel solar no tiene carga y las condiciones ambientales son óptimas (día soleado, sin nubes, sin lluvia). La referencia de 17.5 voltios se define cuando el panel solar tiene carga (batería) en condiciones ambientales óptimas.

Cuando las condiciones ambientales no son las mejores (día nublado, con lluvia) en pruebas experimentales el panel solar genera de 10 a 14 voltios que no son suficientes para cargar la batería.

Para la noche el sistema tiene instalado una fotocelda que compensa la salida del módulo PID. Entonces si la fotocelda detecta poca iluminación y la salida del módulo PID es alta entonces el panel solar se posiciona al punto de partida para el siguiente día. Si el sistema no cumple las dos condiciones; el sistema sigue trabajando normalmente o está en otra condición de funcionamiento.

La figura 32, muestra el voltaje de referencia y el voltaje del panel en Simulink.

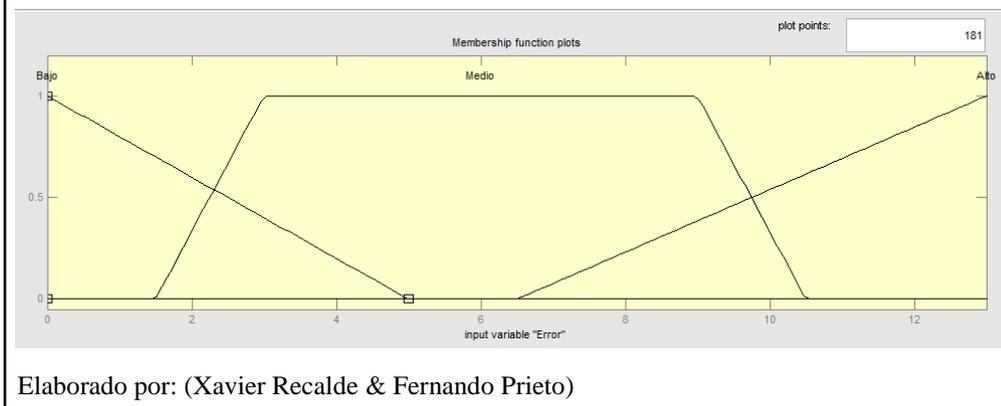


3.2.4 Control Fuzzy.

La parte ambiental ha sido el punto de partida para implementar este tipo de control, ya que no se puede predecir fácilmente las condiciones climáticas que se esperan para un día cotidiano, y de manera más específica no se puede controlar la radiación solar, por lo que el sistema Fuzzy es una buena alternativa para sistemas no lineales. El sistema de control Fuzzy es modelado en la herramienta Simulink de Matlab.

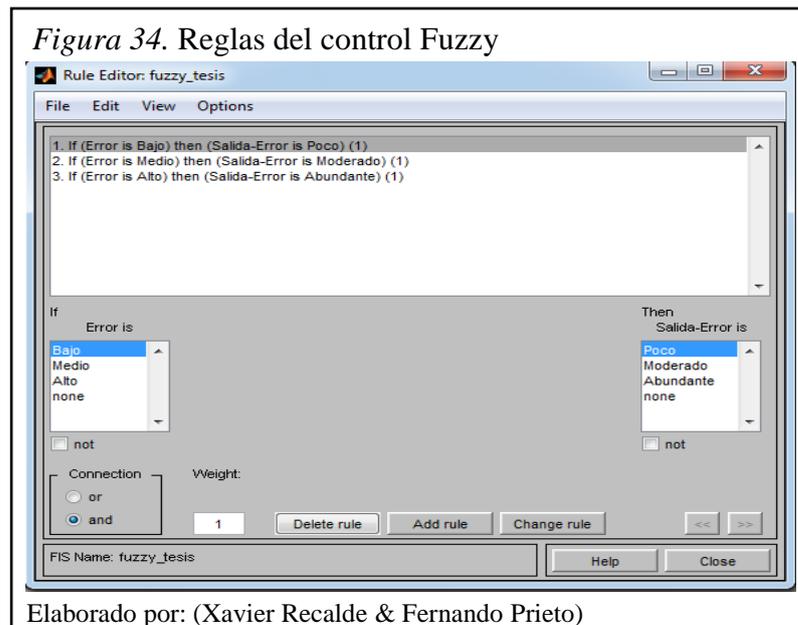
La entrada cuyo nombre es Error se muestra en la figura 33, en el mismo se observa que existen 3 variables lingüísticas, la primera con nombre bajo abarca desde 0 hasta 5, la segunda de nombre medio toma valores desde 1.5 hasta 10.5, y la última cuyo nombre es alto abarca desde 6.5 hasta 13; aquí se puede observar que dependiendo de la resta entre el Set Point y el voltaje del panel, el resultado se asigna a la o a las variables lingüísticas que se encuentren en ese rango.

Figura 33. Entrada del sistema Fuzzy



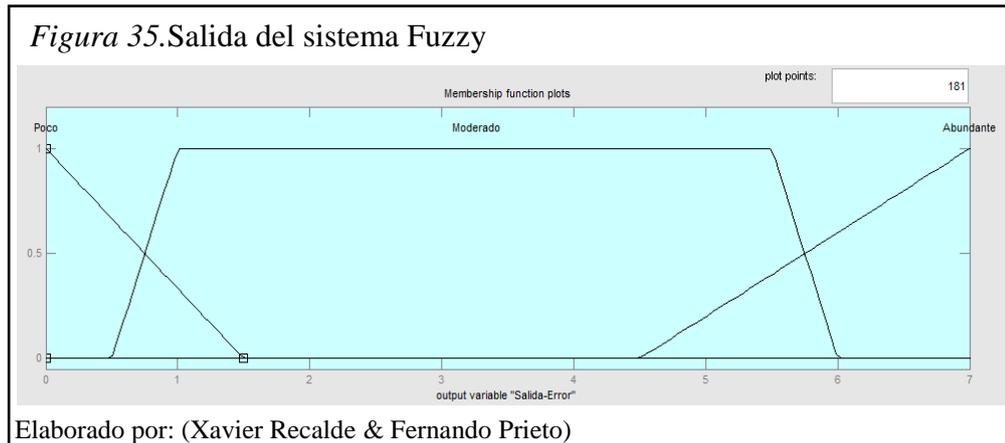
El Control Fuzzy consta de 3 reglas lógicas como se examina en el figura 34, además se realiza Inferencia por el mínimo por lo que las reglas tienen conector And, como se ilustra en la parte inferior izquierda del mismo gráfico.

Figura 34. Reglas del control Fuzzy

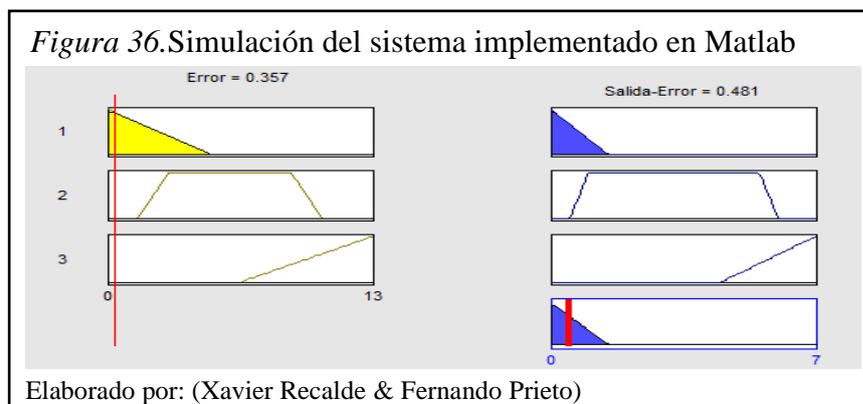


La salida cuyo nombre es Salida-Error, se muestra en la figura 35, en esta figura se asigna el resultado del proceso Fuzzy para lo cual se tiene 3 variables lingüísticas.

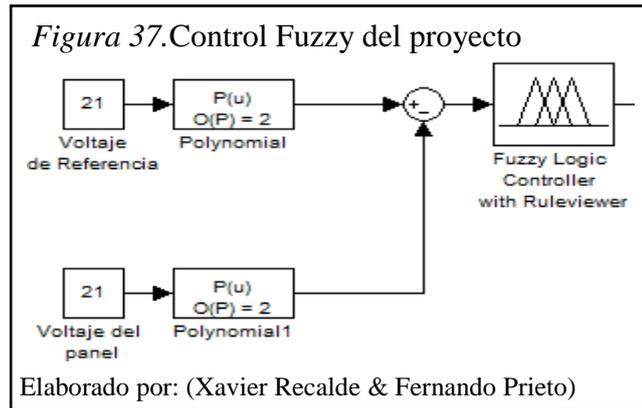
La primera de nombre poco toma valores desde 0 a 1.5, la segunda cuyo nombre es moderado abarcará desde 0.5 a 6 y la última de nombre abundante su rango va desde 4.5 a 7, el resultado obtenido del sistema Fuzzy será también la entrada de Error para el controlador PID.



El sistema Fuzzy con sus reglas implementadas en funcionamiento se analiza en la figura 36, en el gráfico se analiza que al tener una entrada de Error de 0.357 que corresponde a la diferencia entre el Set point y el voltaje del panel se activa la variable lingüística Bajo, y además se obtiene el resultado del proceso Fuzzy llamado Salida-Error, un valor de 0.481, como se puede observar la variable lingüística activada en esta ocasión es Poco.



El Control Fuzzy se representa en Simulink con el bloque Fuzzy Logic Controller with Ruleviewer, este bloque permite ver las reglas implementadas en el control Fuzzy, la figura 37 ayuda a examinar la forma en la que se ha implementado el control Fuzzy en el proyecto. El código programado lo puede revisar en el anexo 3.



3.2.5 Control PID.

A partir de la ecuación 9, la función de transferencia es la siguiente:

Ecuación 16. Control PID

$$PID = Kp + \frac{Ki}{s} + sKd$$

Se realiza la transformación bilineal, y se obtiene la función discretizada del PID en la cual se observa en la ecuación 17.

Ecuación 17. Función discretizada del PID

$$PID(z) = Kp + \frac{\frac{Ki}{2Fs}(1 + z^{-1})}{(1 - z^{-1})} + \frac{2FsKd(1 - z^{-1})}{(1 + z^{-1})}$$

Donde:

Fs = Frecuencia de muestreo

Del análisis anterior se puede deducir tres funciones de transferencia para el controlador, donde la entrada es la señal de error, las siguientes funciones matemáticas están implementadas en el microcontrolador 18F452, cuyo código de programación se encuentra en el anexo 3. La función en diferencia para el PID es la siguiente y se observa en la ecuación 21 y es la unión de las ecuaciones 18,19 y 20. (Clavijo, 2011, pág. 239)

Ecuación 18. Función en diferencia para la parte proporcional

$$yp(n) = [Kp]e(n)$$

Ecuación 19. Función en diferencia para la parte integral

$$yi(n) = \frac{Ki}{2Fs} [e(n) + e(n - 1)] + yi(n - 1)$$

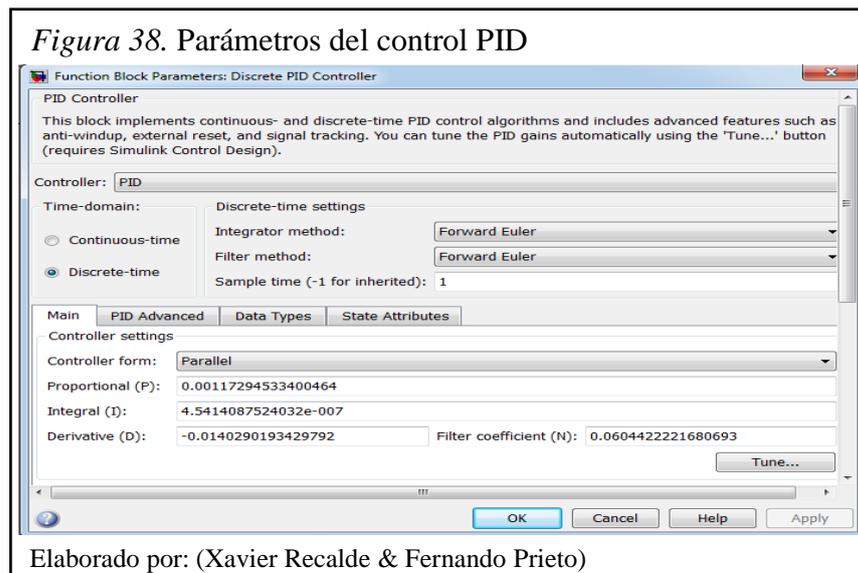
Ecuación 20. Función en diferencia para la parte derivativa

$$yd(n) = 2FsKd[e(n) - e(n - 1)] - yd(n - 1)$$

Ecuación 21. Función en diferencia para el PID

$$ypid(n) = yp(n) + yi(n) + yd(n)$$

Para modelar el sistema se utiliza el bloque PID de Simulink, además se utiliza la herramienta auto tune para obtener los valores óptimos de las acciones: Proporcional(P), Integral(I), Derivativo(D), como se indica en la figura 38.



De la figura 38 se obtiene:

$$Kp = 0.00117294$$

$$Ti = 4.541408752 \times 10^{-7} \text{ seg}$$

$$Td = -0.0140290 \text{ seg o equivalente a cero}$$

Ki y Kd , se obtienen de la siguiente manera, y se observan en las ecuaciones 22 y 23.

Ecuación 22. Obtención del Ki

$$Ki = \frac{Kp}{Ti}$$

Ecuación 23. Obtención del Kd

$$Kd = Td Kp$$

Remplazando los valores en las ecuaciones 22 y 23 se obtiene:

$$Ki = 2582.7669$$

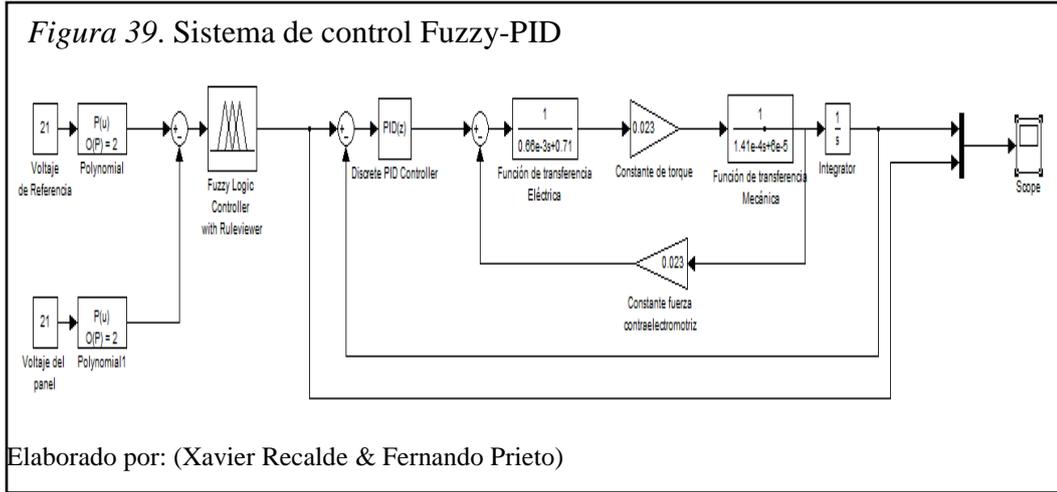
$$Kd = 0$$

Remplazando estos datos en la ecuación 21 en diferencia del PID se tiene:

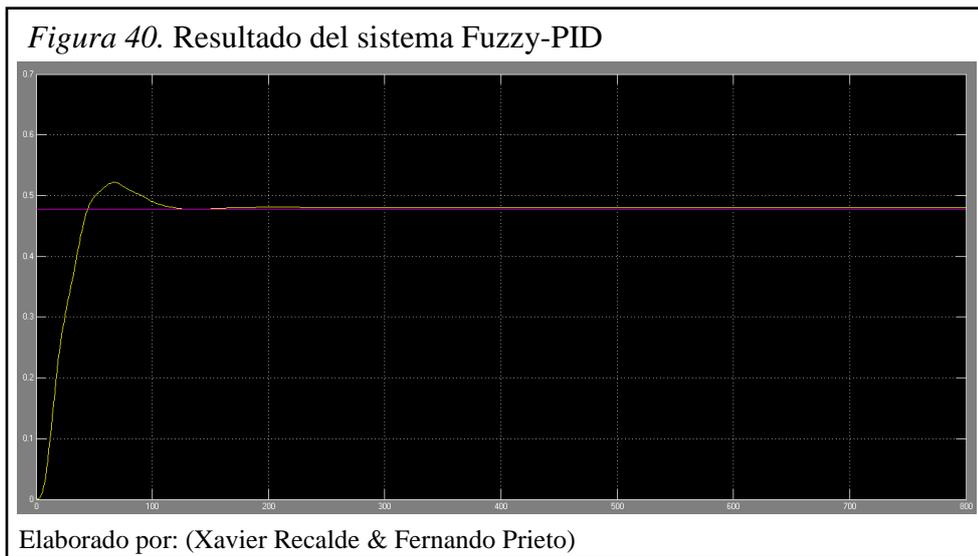
$$ypid(n) = 0.00117294 e(n) + \left\{ \frac{2582.7669}{2 (38.14697266)} [e(n) - e(n - 1)] - yd(n - 1) \right\} + 0$$

La frecuencia de muestreo (Fs) que tiene un valor de 38.14697266 Hz ha sido un valor que se ha obtenido de forma experimental (anexo 5), en el cual el sistema se comporta de una manera adecuada. El código implementado se puede observar en el anexo 3.

El modelamiento del sistema de control Fuzzy-PID para el panel solar en Simulink se muestra en la figura 39.

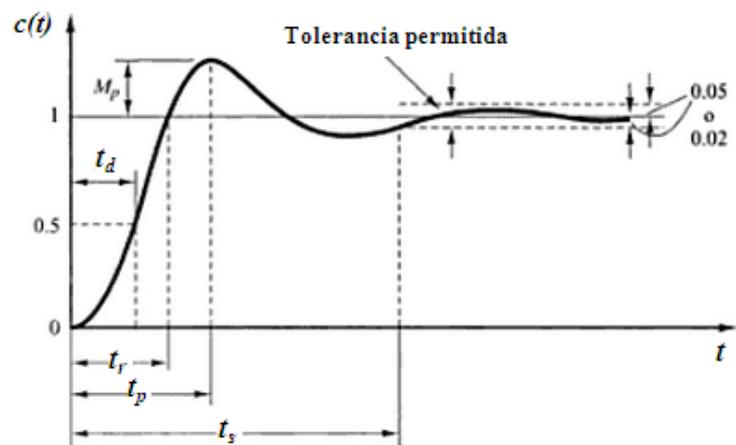


El resultado conseguido de un sistema Fuzzy-PID se ilustra en la figura40, la línea de color morado es el Set point del sistema y la amarilla el resultado del sistema Fuzzy-PID.



Tomando como referencia la figura 41 que trata de la respuesta transitoria de un sistema de control para una entrada escalón unitario, puede conseguirse dichos valores de la figura40.

Figura 41. Curva de respuesta a escalón unitario con t_d , t_r , t_p , M_p , y t_s



Fuente: (Ogata, 2003)

Examinando la figura40 se obtiene:

Tiempo de retardo, $t_d = 19.67$ seg.

Tiempo de subida, $t_r = 44.24$ seg.

Tiempo pico, $t_p = 67.2$ seg

Sobrelongación, $M_p = 0.0498$

Tiempo de establecimiento, $t_s = 105.1$ seg.

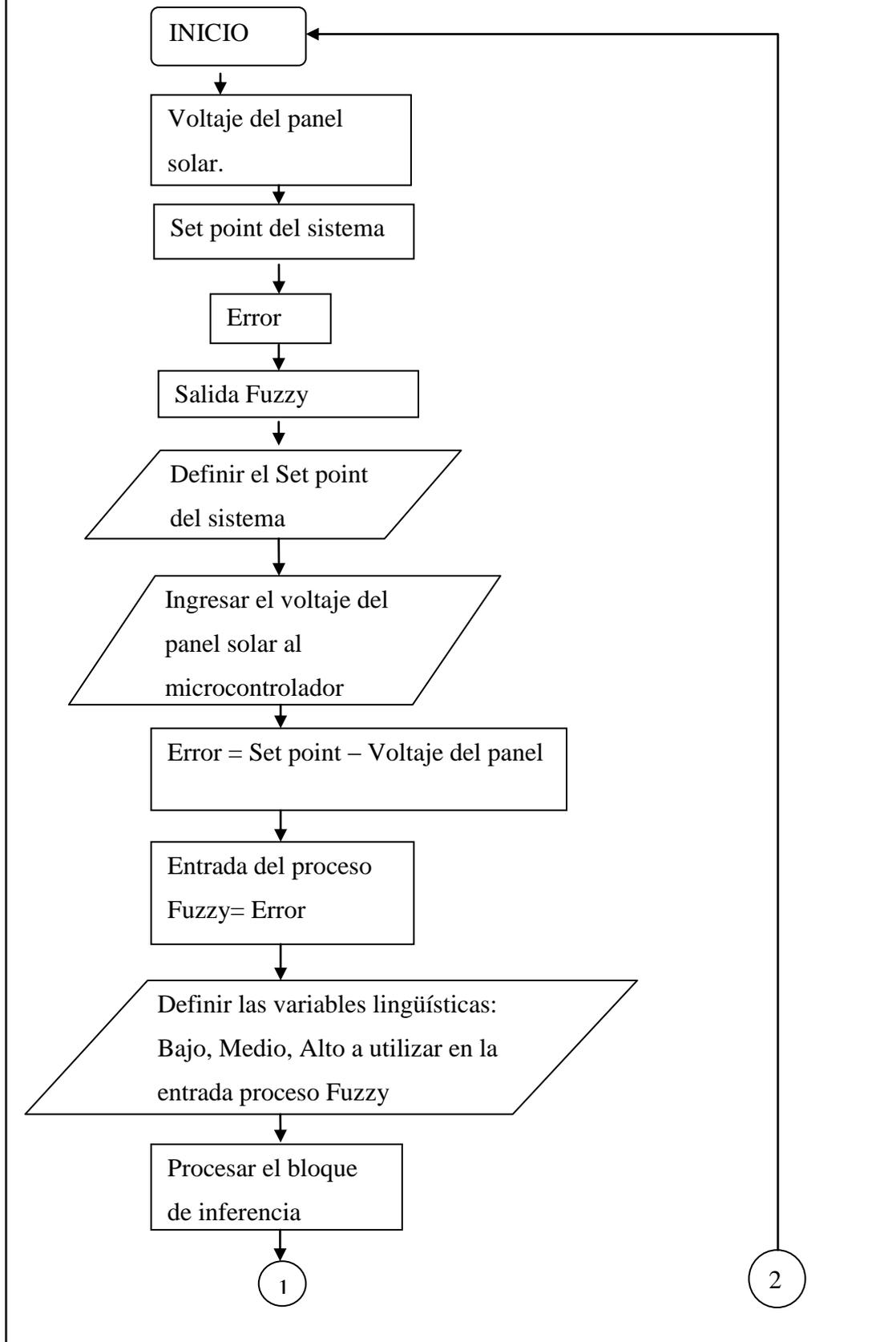
Error de posición, $E_p = 2.8 \times 10^{-3}$

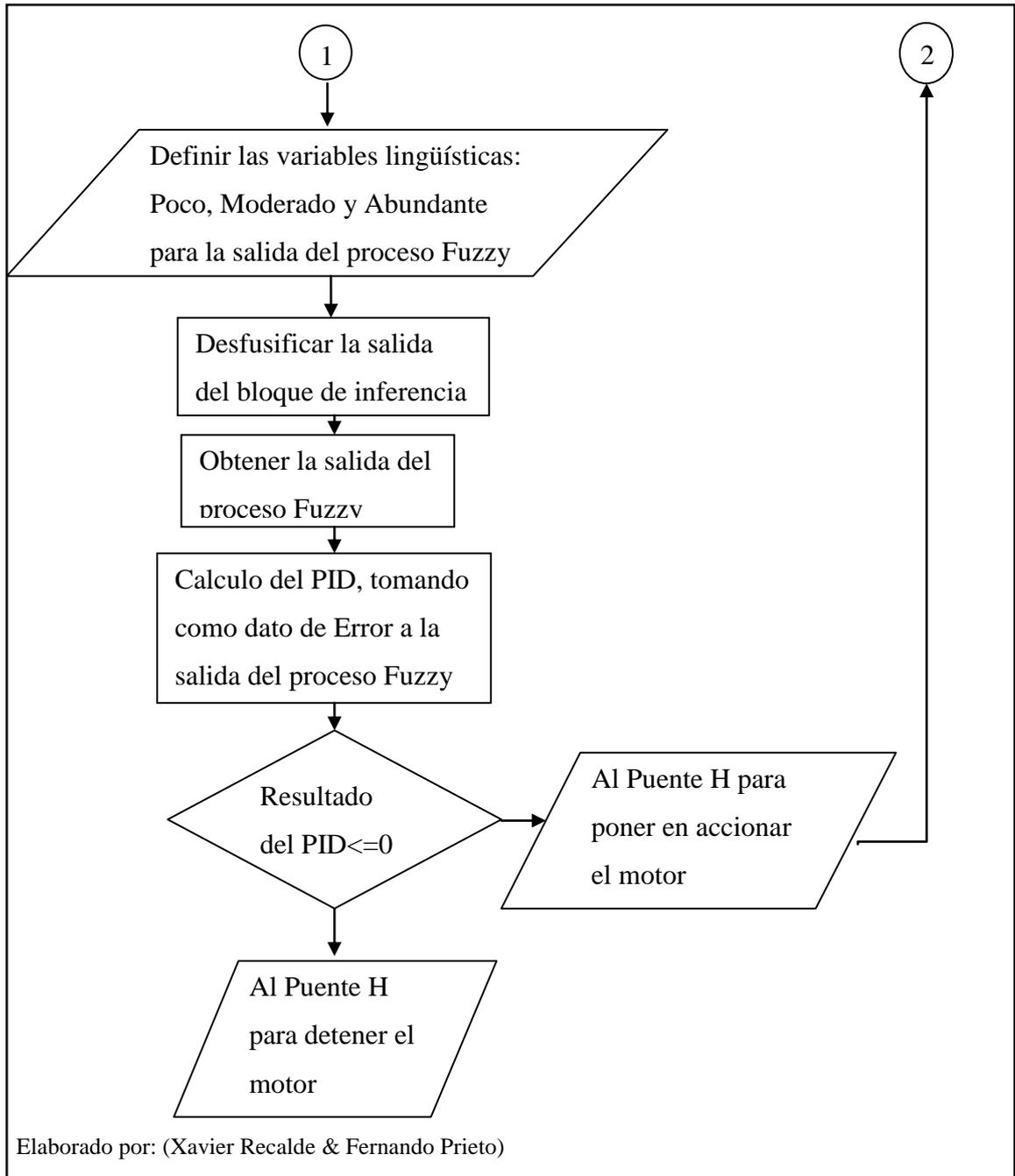
Para el tiempo de establecimiento se fijó una banda de error del 2 %.

3.3 Lógica de control para el sistema del panel solar

El diagrama de flujo implementado para el control Fuzzy-PID se observa en la figura 42 y es el siguiente:

Figura 42. Lógica de control del sistema Fuzzy-PID





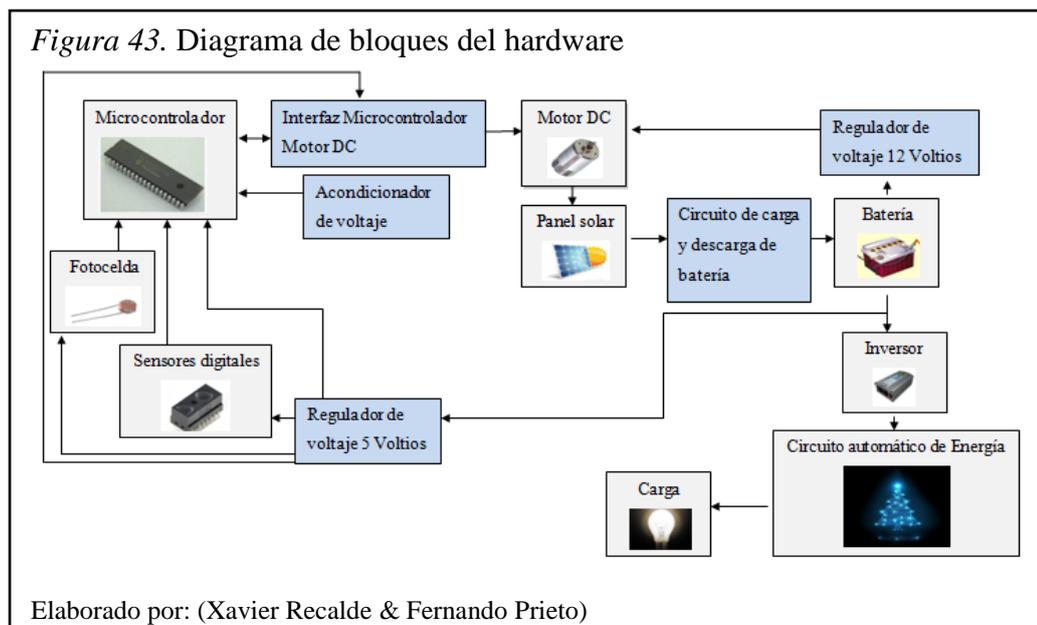
Como se examina en el diagrama de flujo (figura 42): Se define el set point para el sistema en este caso será un valor de voltaje, además se leerá en el microcontrolador el voltaje que el panel este captando del ambiente, la resta entre el Set Point del sistema y el voltaje del panel solar que se está leyendo en el microcontrolador es la entrada del sistema Fuzzy, al final del proceso del sistema Fuzzy este arrojará una salida de Error, la misma es utilizada como dato de Error para el Controlador PID, por último el controlador estabiliza el sistema a fin de encontrar el punto con la

mejor captación solar, si dicho objetivo no es conseguido el proceso debe comenzar de nuevo.

3.4 Diseño e Implementación del hardware del sistema Fuzzy-PID para el control del ángulo de inclinación del panel solar monocristalino de 30 Watt

3.4.1 Diseño y desarrollo del hardware.

El hardware utilizado en este proyecto está formado por diferentes etapas tales como: Interfaz Microcontrolador-Motor, Acondicionador de voltaje, Circuito de carga y descarga de la batería, Regulador de voltaje. Su interconexión se detalla en el diagrama de bloques de la figura 42.

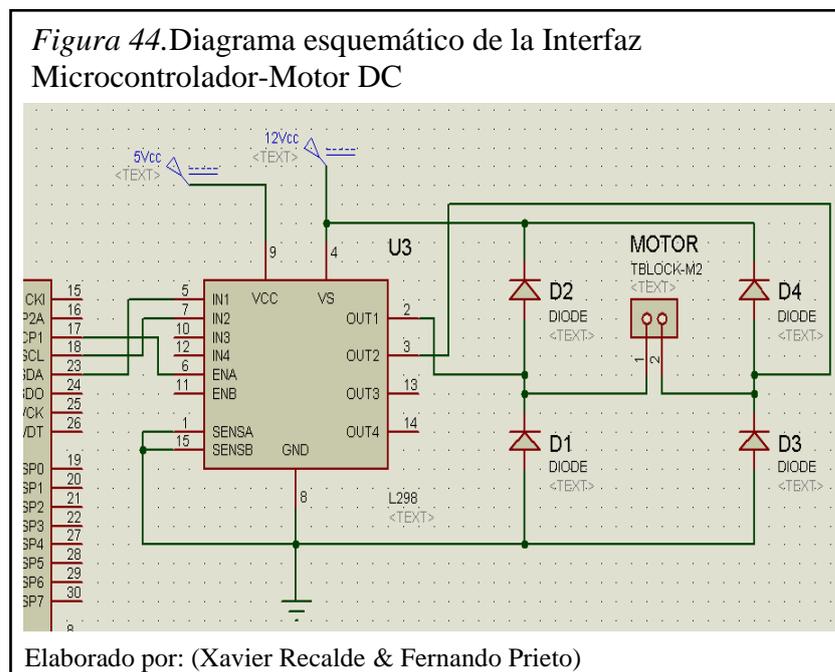


A continuación se describe los bloques de hardware.

3.4.1.1. Interfaz microcontrolador motor DC.

El microcontrolador y el motor DC no pueden conectarse directamente, debido a sus diferencias entre voltajes.

Las salidas del microcontrolador se conectan a un puente H, L298 que permite maniobrar el motor en sentido horario y anti horario, la velocidad del motor DC se controla desde el módulo PWM del microcontrolador que se habilita en el puente H L298, se trata de un dispositivo que soporta hasta 4 A, las salidas de este dispositivo se deben conectar a unos diodos 1N4007, los diodos eliminan los picos de tensión de la fuente cuando el dispositivo L298 se encuentre abierto. La figura 44, permite entender de mejor manera lo explicado, el mismo que fue desarrollado en el software Proteus ISIS.



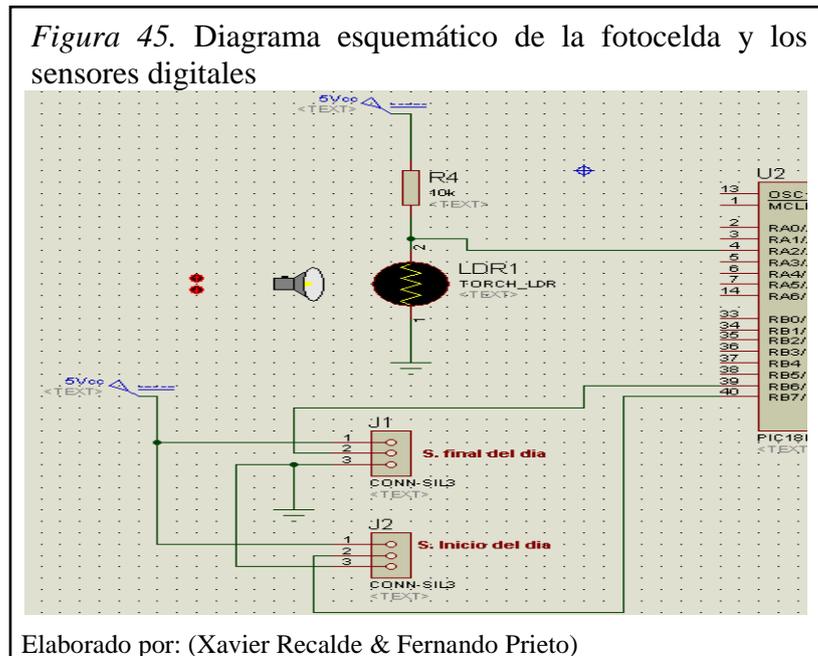
3.4.1.1.1 Condiciones de funcionamiento.

Se utiliza también una fotocelda o LDR (Light Dependent Resistor) que permite que el proyecto tenga un mejor desempeño según varié las condiciones climáticas y cuando la luz del día se haya ido para dar paso a la noche, la fotocelda se encuentra conectada en serie con una resistencia de 10 K Ω , esto permite realizar un divisor de tensión el mismo que puede ser leído por un puerto ADC del microcontrolador y detectar la variación de la iluminación en el ambiente.

Además, se utiliza dos sensores digitales que serán leídos por entradas del microcontrolador, los cuales posibilitan que el desplazamiento del panel tenga

limites, estos sensores ayudan al proyecto a tener un mejor desempeño y saber si ya se ha llegado al límite de su desplazamiento y poder posicionarse en la posición de inicio es decir para recibir al sol en un nuevo día.

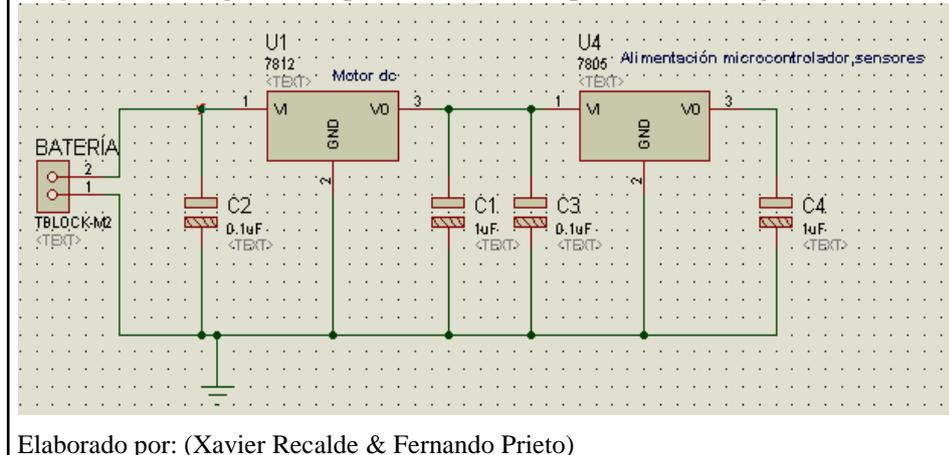
La figura 45, desarrollada en Proteus ISIS ayuda a entender mejor lo tratado.



3.4.1.2 Regulador de voltaje.

Se dispone de dos reguladores de voltaje un LM7805 y un LM7812. El LM7805 regula el voltaje a 5v y el LM7812 a 12 voltios. El regulador de 5 voltios se utiliza para alimentar al microcontrolador, la fotocelda, los sensores digitales y también al L298, la fuente de 12 voltios sirve para energizar el motor DC por medio del L298 La Figura46, desarrollada en Proteus ISIS muestra el adaptador de voltaje.

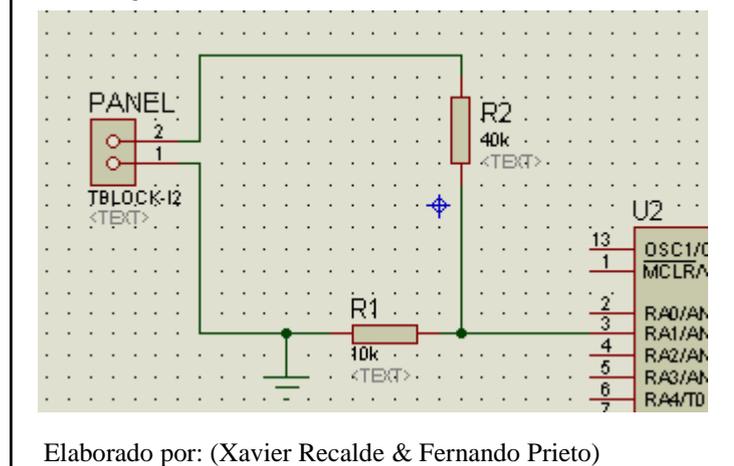
Figura 46. Diagrama esquemático del adaptador de voltaje



3.4.1.3 Acondicionador de voltaje.

La lectura de voltaje del panel solar se realiza de manera analógica, ya que varía su voltaje de salida según la radiación solar existente a mayor radiación solar mayor voltaje y a menor radiación solar menor voltaje a la salida del panel solar. Es indispensable realizar un divisor de voltaje, ya que el panel solar proporciona un voltaje superior a lo que resiste el microcontrolador, como se puede ilustrar en el figura 47.

Figura 47. Diagrama esquemático del acondicionador de voltaje



Aplicando la fórmula del divisor al circuito de la figura 47 se obtiene la ecuación 24.

Ecuación 24. Obtención de voltaje en resistencia 1

$$VR1 = \frac{1}{5} V_{Panel}$$

Donde:

$VR1$ = Voltaje en la resistencia 1

V_{Panel} = Voltaje del panel

Para leer el dato real que ingresa al panel solo queda por despejar de la ecuación 21 V_{Panel} , como se observa en la ecuación 25 e ingresar esta operación matemática al microcontrolador, cuya estructura de programación está en el anexo 3.

Ecuación 25. Obtención de V_{panel}

$$V_{Panel} = VR1 \times 5$$

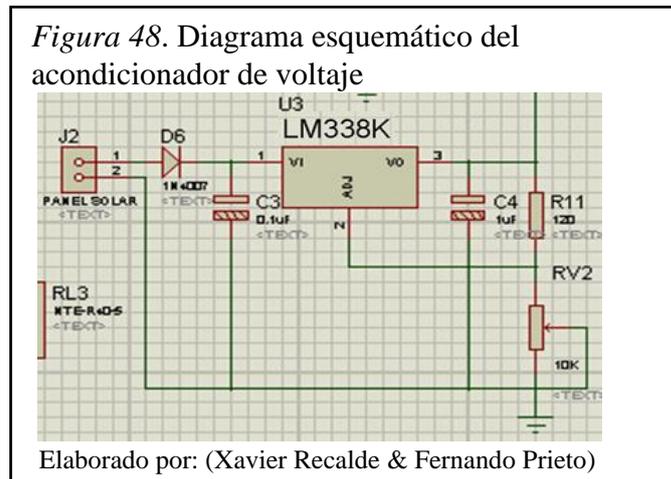
El voltaje en $VR1$ está variando, esto depende de la radiación solar existente, en realidad $VR1$ está incrementando en forma lineal, dado que el Convertidor Analógico/Digital (A/D) del microcontrolador es de 10 bits, se puede representar hasta 1024 números en función del voltaje analógico de entrada.

3.4.1.4 Diseño del sistema de carga y descarga de la batería.

En la figura 22 (b), ayuda a un mejor entendimiento de lo diseñado, se encuentra el voltaje del panel solar como este voltaje no es recomendable para cargar a la batería, se acondiciona para poner en los rangos que se especifica en la hoja de datos de la batería, este voltaje ingresa al sistema de control ON/OFF que es el sistema de carga y descarga, es el que permite dejar pasar energía para que acumule la batería cuando está descargada, al momento que la batería está cargada el sistema de control no deja pasar energía a la batería, el comparador es el que indica si la batería está cargada o descargada, si está cargada manda una señal para que se desactive el sistema de carga y descarga o si está descargada se activara el sistema de carga y descarga.

3.4.1.4.1 Acondicionador de voltaje de carga.

Es la parte donde el voltaje del panel solar es acondicionado para cargar a la batería, este acondicionador está compuesto por LM338K que es una fuente de voltaje variable la salida de esta fuente es el voltaje necesario para cargar la batería constantemente, como se puede observar en la figura 48.



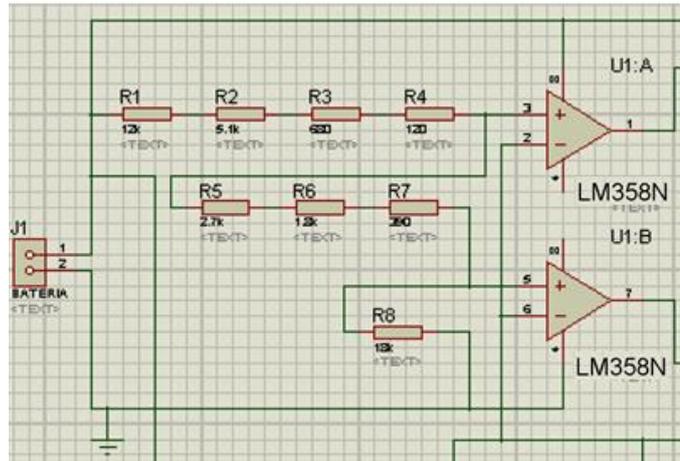
3.4.1.4.2 Circuito de carga y descarga para la batería.

En este circuito está compuesto por dos amplificadores operacionales LM358N este contiene dos amplificadores operacionales en un mismo encapsulado, para saber si la batería está cargada o descargada se tiene voltajes de referencia con las diferentes resistencias que son divisores de voltaje, las resistencias R1, R2, R3 y R4 estas detectan si el voltaje es de 10.6 V es el voltaje cuando la batería este descargada, la resistencia R8 es la que nos enseña si el voltaje es 13.6 V es el voltaje que indica que ya está cargado la batería. En la 49 (a) se tiene el circuito de comparación.

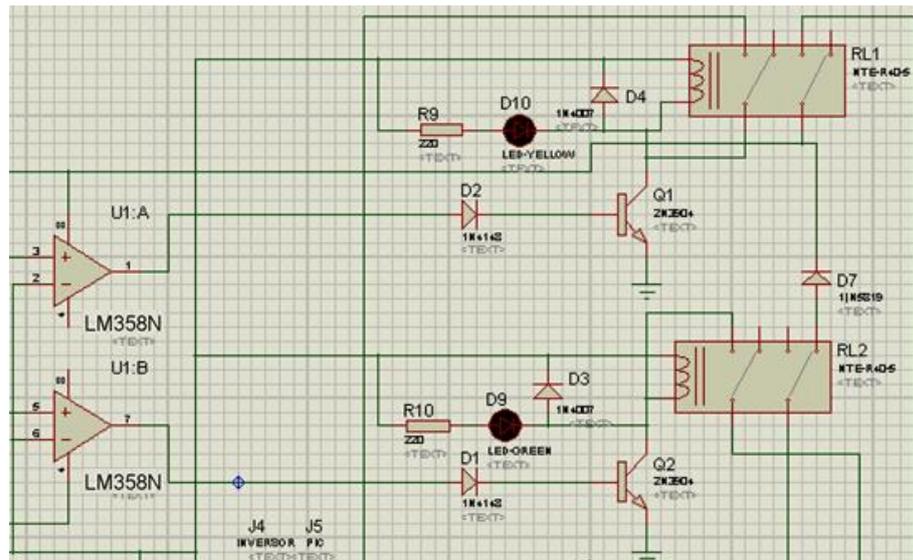
En este sistema también se tiene dos reles el RL1 y RL2 son los que se activa al comparar el voltaje de la batería con el voltaje del panel, cuando el voltaje de la batería sea menor de 10.6 V se desactiva RL1 y se desactiva RL2, si el voltaje es mayor que 10.6 V ó menor que 13.6 V se activaran RL1 y se desactiva RL2, cuando el voltaje sea mayor que 13.6 V se activara RL1 y RL2. El relé RL2 es el que se encarga de controlar si pasa o no pasa energía a la batería, este relé se activara cuando a la salida del amplificador operacional en el pin 7 detecte los 13.6 V de la

batería y se desactivara cuando tenga un voltaje menor que 10.6 V esta señal lo envía el pin 1 del LM358N, como se demuestra en la figura 49(b).

Figura 49. Diagrama esquemático del circuito de carga y descarga de la batería



(a) Circuito de comparación



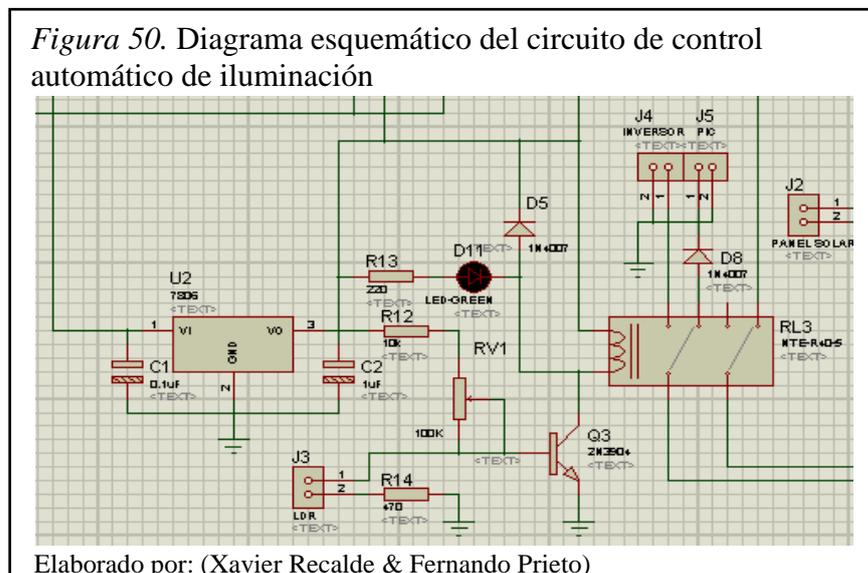
(b) Circuito de control de carga y descarga de la batería

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

3.4.1.4.3 Circuito de control automático de iluminación.

En este circuito es la que se encarga de controlar la activación de la iluminación, está compuesto por un LDR y un relé RL3, se tiene un divisor de voltaje que está conformado con las resistencias R12, RV1, LDR y R14, el transistor Q3 tiene la configuración de corte y saturación para activar y desactivar el RL3 dependiendo de

las condiciones del LDR, cuando se tiene iluminación el RL3 desactivado, el RL3 se activa cuando el LDR detecte oscuridad. Como se puede observar en la figura 50.



3.4.2 Elección del convertidor CD-CA.

Se ha seleccionado el inversor de corriente por ser un dispositivo que se alimenta con voltaje de 12 v en corriente continua, consume una corriente menor al del acumulador, la tensión que suministra en corriente alterna es de 120 V AC, la frecuencia es la adecuada en cuanto a las aplicaciones en el país es decir 60 Hz y su potencia 100 Watt, que es suficiente como para soportar la carga implementada en el proyecto, las características del dispositivo se muestran en la tabla 9, cuya hoja de datos se puede observar en anexo 4.

Tabla 9. *Características técnicas del convertidor CD-CA*

ENTRADA	
Tensión	12 V dc
Corriente	0.45 A
Descarga del acumulador sin carga	< 0.45 A (con entrada de 12 V)
Punto de auto-apagado por carga baja del acumulador (nominal)	10 V
Punto de auto-apagado por carga alta del acumulador (nominal)	15.5 V
Fusible deslizante de	10A
SALIDA	
Tensión	120 V ac
Frecuencia	60 Hz
Potencia	100 W
Forma de onda	Senoidal modificada
Potencia pico	215 W

Fuente: (Truper, 2010)

3.4.3 Carga del sistema.

La aplicación para el siguiente sistema es un circuito de iluminación que consta de 2 focos tipo Led de 2 Watios, 90 lumenes, cada uno los cuales trabajan bajo las siguientes condiciones:

- Van a funcionar en la noche exclusivamente.

- Disponen de un circuito automático de energía el cual enciende el inversor cuando la fotocelda detecta un nivel bajo de iluminación y de igual manera enciende el circuito de iluminación para el espacio ornamental de entrada de la institución.

La figura 51, muestra El foco led a utilizar.



CAPÍTULO 4

PRUEBAS, RESULTADOS Y COSTO DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta los resultados obtenidos durante 5 días de pruebas; 2 días el panel solar permanece en modo estático y 3 días el panel solar permanece en modo dinámico es decir en funcionamiento el sistema Fuzzy-PID, también se indica el costo de los componentes utilizados para la elaboración de este proyecto.

4.1 Pruebas de funcionamiento del sistema de control Fuzzy-PID

En la figura 52, se muestra como se encuentran los indicadores en la estructura del panel solar, esto para verificar su correcto funcionamiento.

Figura 52. Lista de chequeo para el funcionamiento del proyecto

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA				
				
Carrera de Ingeniería Electrónica				
LISTA DE CHEQUEO DEL SISTEMA FUZZY-PID DEL PANEL SOLAR				
Fecha:		21 de Abril del 2014		
ITEM	DESCRIPCION	ESTADO		OBSERVACIONES
		BIEN	MAL	
1	POSICIÓN INICIAL	X		PANEL DIRECCIONADO AL ESTE GEOGRAFICO
2	POSICIÓN FINAL	X		PANEL DIRECCIONADO AL OESTE GEOGRAFICO
3	ENCENDIDO DEL SISTEMA FUZZY-PID	X		LED DE COLOR VERDE ENCENDIDO
4	PANEL SOLAR EN FUNCIONAMIENTO	X		LED DE COLOR VERDE ENCENDIDO
5	INDICADOR DE MAL FUNCIONAMIENTO	X		LED COLOR ROJO ENCENDIDO
6	MOTOR EN MOVIMIENTO	X		LED COLOR AMARILLO ENCENDIDO
7	OPERACIÓN DEL SISTEMA DE CARGA DE BATERIA	X		LED COLOR AMARILLO ENCENDIDO
8	INVERSOR EN FUNCIONAMIENTO	X		LED COLOR VERDE ENCENDIDO
9	CARGA COMPLETA DE BATERÍA	X		LED COLOR VERDE ENCENDIDO

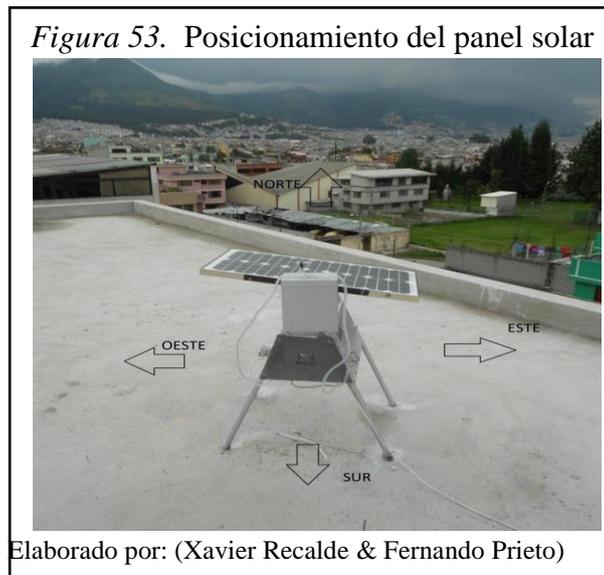
Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

4.2 Pruebas del sistema de conversión de energía en modo estático y dinámico

La posición inicial del panel solar, es en dirección hacia el este geográfico, al comenzar el día, para ello se utiliza una brújula, una vez que se orienta el panel solar, se ancla a la superficie de la terraza (figura 53). El panel solar durante el día va a seguir la trayectoria del sol para captar el mayor nivel de iluminación, con el fin de cargar la batería lo más pronto posible al trabajar el sistema en modo dinámico.

Cuando el sistema trabaja en modo estático, el panel solar se queda en la posición inicial durante todo el día, cuando el sol sale en las mañanas no hay inconveniente, pero si en la mañana estuvo nublado o con lluvia y en la tarde existe radiación el panel solar no podrá cargar la batería.

El sistema posee las siguientes cargas: Circuito del Sistema Fuzzy-PID, circuito cargador de la batería, circuito de iluminación, Inversor y los 2 focos Leds.



Para las pruebas de funcionamiento se tomaron datos durante 5 días en intervalos de tiempo de 1 hora, los datos tabulados corresponden a: Nivel de iluminación (lx) para esto se utiliza un luxómetro TENMARS TM-204, voltaje generado en el panel solar (V), corriente de carga en la batería; para la medición del voltaje y la corriente se utiliza un multímetro SOMY MAX DT9208A. Las tablas 10, 11, 12, 13 y 14 muestran los datos del primer, segundo, tercer, cuarto y quinto día, de pruebas del panel solar:

Tabla 10. *Datos del primer día en modo estático*

Primer día			
Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de panel solar (V)	Corriente de carga de la batería (A)	Hora
20500	15,83	0,17	7:30
98000	16,72	1,05	8:25
116900	17,06	1,38	9:20
103500	16,93	1,23	10:15
98800	16,73	1,08	11:00
85900	16,7	0,9	11:55
73200	16,67	0,7	12:20
59600	16,4	0,64	13:08
35500	16,15	0,38	14:00
32800	15,97	0,32	15:00
19450	15,74	0,11	16:00
12930	15,67	0,065	16:50
7700	15,24	0,023	17:25
3460	14,82	-0,025	17:55
288	8,8	-0,051	18:20

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Tabla 11. *Datos del segundo día en modo estático*

Segundo día			
Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de panel solar (V)	Corriente de carga de la batería (A)	Hora
99000	16,72	1,03	7:45
102000	16,91	1,2	8:40
90000	16,68	0,93	9:30
72200	16,55	0,68	10:20
110000	17,02	1,3	11:10
99700	16,72	1,1	12:00
90600	16,68	0,95	12:55
85500	16,63	0,86	13:00
79500	16,6	0,73	14:00
40600	16,18	0,57	14:50
30800	16,03	0,31	15:45
31000	16,07	0,32	16:35
20100	15,76	0,15	17:20
10020	15,17	0,052	18:00
1240	14,1	-0,061	18:15

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Tabla 12. *Datos del tercer día en modo dinámico*

Tercer día			
Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de panel solar (V)	Corriente de carga de la batería(A)	Hora
16400	15,29	0,095	7:30
53400	16,42	0,61	8:25
129300	17,17	1,72	9:20
129800	17,17	1,76	10:00
151500	17,58	2,19	11:00
45300	16,23	0,45	12:00
43800	16,12	0,41	13:00
152400	17,62	2,2	13:45
47600	16,3	0,59	14:35
19920	15,55	0,12	15:30
19990	15,56	0,12	16:25
29300	15,91	0,28	17:20
1590	5,91	-0,066	18:10

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Tabla 13. *Datos del cuarto día en modo dinámico*

Cuarto día			
Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de panel solar (V)	Corriente de carga de la batería (A)	Hora
100500	16,73	1,1	7:55
124800	17,15	1,5	8:50
121700	17,1	1,45	9:35
142300	17,45	2,03	10:15
23700	15,94	0,23	11:10
112100	17,02	1,26	12:25
34800	16,11	0,31	13:15
26700	16,04	0,22	14:10
20700	15,86	0,14	15:05
11900	15,62	0,031	16:00
20300	15,81	0,13	16:50
8700	15,06	0,018	17:20
3900	14,93	-0,043	17:50
1000	13,2	-0,085	18:15

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Tabla 14. *Datos quinto día en modo dinámico*

Quinto día			
Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de panel solar (V)	Corriente de carga de la batería (A)	Hora
18200	15,67	0,105	7:20
113000	16,95	1,25	8:25
62700	16,48	0,78	9:20
114600	17,01	1,31	10:10
126500	17,19	1,58	10:54
119000	17,11	1,41	11:15
85000	16,67	1	11:55
134200	17,25	1,83	12:35
41400	16,24	0,44	13:20
37800	16,15	0,38	14:45
47500	16,35	0,54	15:43
43600	16,3	0,47	16:00
54500	16,4	0,63	16:25
14520	15,12	0,074	17:22
3240	14,75	-0,047	18:05

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

4.2.1 Prueba del panel solar en modo estático primer día.

Para realizar esta prueba se bloquea el sistema de control Fuzzy-PID y el panel queda en la posición inicial durante todo el día.

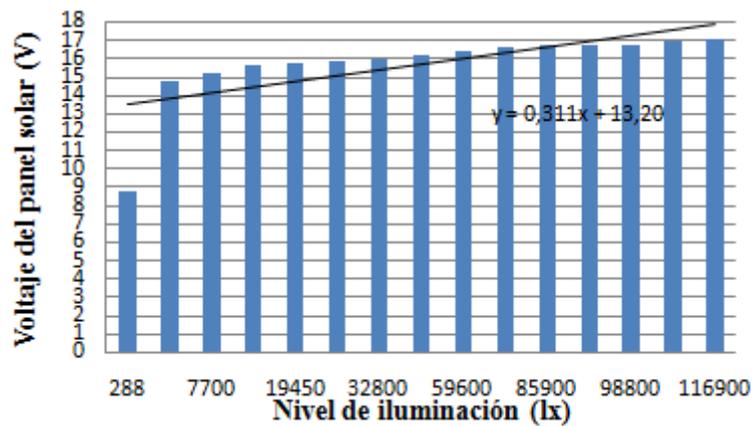
Las siguientes gráficas indican el comportamiento del sistema con relación a las diferentes variables, cuyos datos corresponden al primer día en modo estático.

Tabla 15. Voltaje del panel solar y de nivel de iluminación del primer día en modo estático

Voltaje de panel solar (V)	Nivel de iluminación (lx)
8,8	288
14,82	3460
15,24	7700
15,67	12930
15,74	19450
15,83	20500
15,97	32800
16,15	35500
16,4	59600
16,67	73200
16,7	85900
16,72	98000
16,73	98800
16,93	103500
17,06	116900

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 54. Voltaje del panel solar vs nivel de iluminación para el primer día en modo estático



Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Los datos de la tabla 15, corresponden a voltaje del panel solar con nivel de iluminación tomados de la tabla 10 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 54; el nivel de iluminación tiene una relación directa con el voltaje del panel solar, es decir cuando existe mayor nivel de

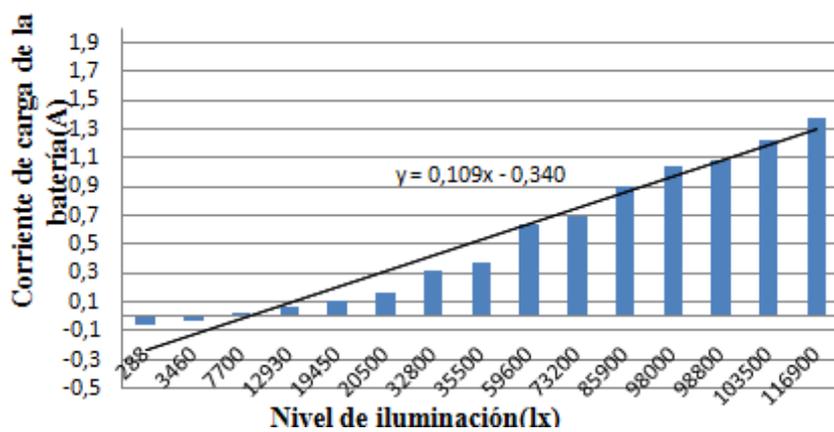
iluminación se tiene mayor voltaje a la salida del panel solar, y cuando existe menor nivel iluminación el voltaje a la salida del panel solar es menor.

Tabla 16. *Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del primer día en modo estático*

Corriente de carga de la batería (A)	Nivel de iluminación (lx)
-0,051	288
-0,025	3460
0,023	7700
0,065	12930
0,11	19450
0,17	20500
0,32	32800
0,38	35500
0,64	59600
0,7	73200
0,9	85900
1,05	98000
1,08	98800
1,23	103500
1,38	116900

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 55. Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para del primer día en modo estático



Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

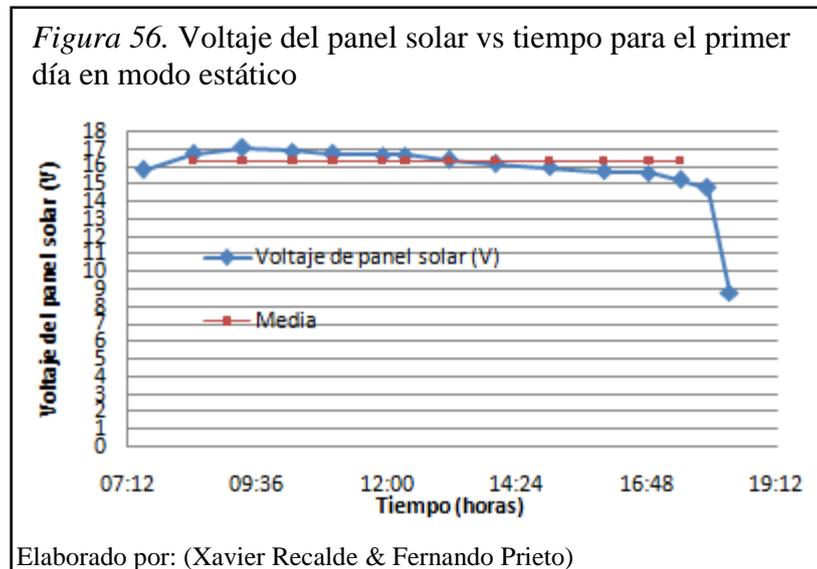
Los datos que muestra la tabla 16, corresponden a la corriente de carga de la batería y nivel de iluminación tomados de la tabla 10 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 55; la gráfica

presenta una relación directa, conforme el nivel de iluminación aumenta la corriente de carga de la batería también, y si disminuye el nivel de iluminación también disminuye la corriente de carga en la batería.

Tabla 17. Voltaje del panel solar y hora del primer día en modo estático

Voltaje de panel solar (V)	Hora
15,83	7:30
16,72	8:25
17,06	9:20
16,93	10:15
16,73	11:00
16,7	11:55
16,67	12:20
16,4	13:08
16,15	14:00
15,97	15:00
15,74	16:00
15,67	16:50
15,24	17:25
14,82	17:55
8,8	18:20

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



Los datos de la tabla 17, que relacionan el voltaje del panel solar con el tiempo en lapsos de una hora se extraen de la tabla 10 y se pueden observar en la figura 56. El voltaje generado por el panel solar llega a un valor pico de alrededor de 17 voltios

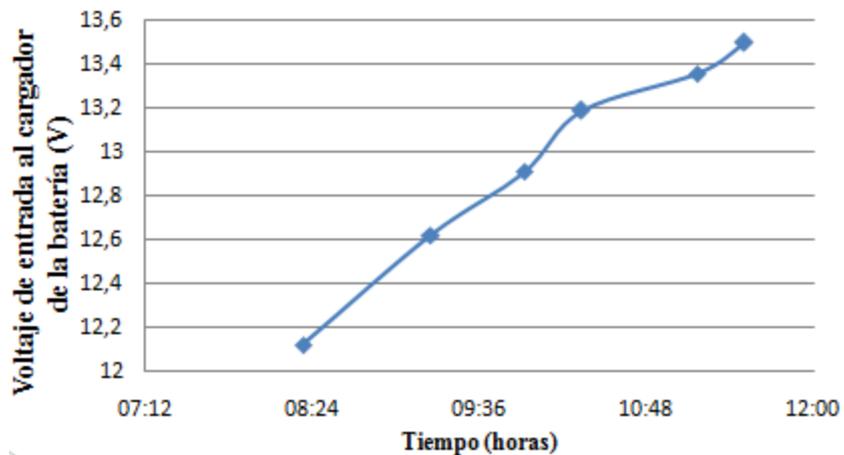
aproximadamente a las 9:20 am, y conforme transcurre el día el voltaje decae, esto debido a las condiciones ambientales como al nublarse el sol o cuando llueve. Al llegar la tarde el nivel de iluminación decae rápidamente a partir de las 17:00 aproximadamente, el valor medio de voltaje generado por el panel solar es de 16,33 voltios durante el día de prueba, suficiente para cargar la batería en el día.

Tabla 18. *Tiempo en cargarse la batería en modo estático para el primer día*

Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de entrada al cargador de la batería (V)	Tiempo
88500	12,12	8:20 a.m.
99000	12,62	9:15 a.m.
121500	12,91	9:55 a.m.
100300	13,19	10:20 a.m.
113000	13,36	11:10 a.m.
123000	13,5	11:30 a.m.

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 57. Voltaje de entrada al cargador de la batería versus tiempo para del primer día en modo estático



Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

La figura 57, muestra la relación que tiene el voltaje de entrada al cargador de la batería en relación al tiempo, esto depende de las condiciones ambientales presentes en este día, como se observa en la tabla 18. De acuerdo a esto se llega a cargar aproximadamente en 4 horas. Con referencia a la hoja de datos de la batería (anexo 1, Características de la curva de carga), el porcentaje de carga corresponde al 80%, voltaje de la batería 13,5 V, y corriente de carga 0,18A.

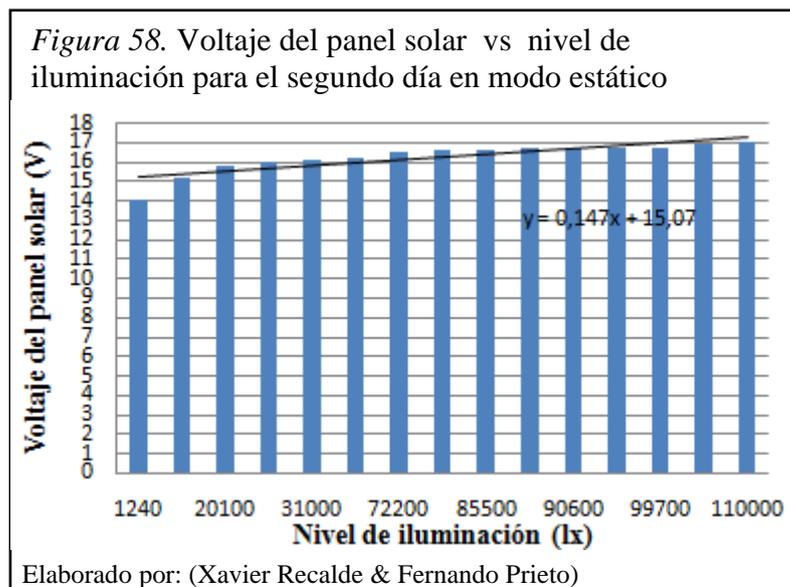
4.2.2 Prueba del panel solar en modo estático segundo día.

Las siguientes gráficas y tablas indican el comportamiento del sistema con relación a diferentes variables, cuyos datos corresponden al segundo día.

Tabla 19. Voltaje del panel solar y nivel de iluminación del segundo día en modo estático

Voltaje de panel solar (V)	Nivel de iluminación (lx)
14,1	1240
15,17	10020
15,76	20100
16,03	30800
16,07	31000
16,18	40600
16,55	72200
16,6	79500
16,63	85500
16,68	90000
16,68	90600
16,72	99000
16,72	99700
16,91	102000
17,02	110000

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



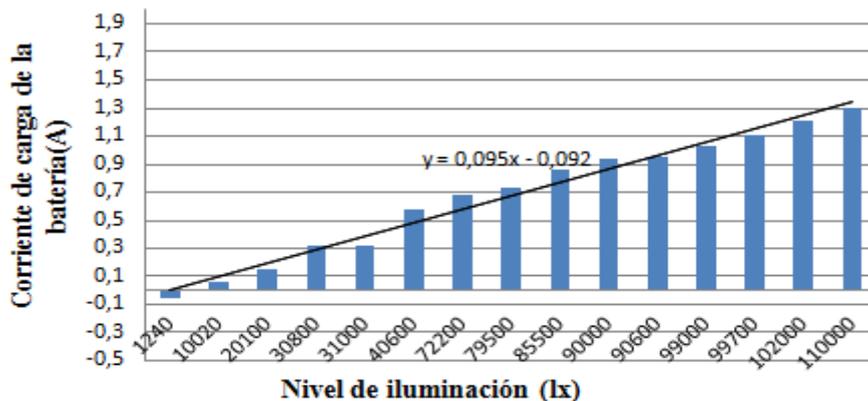
Los datos de la tabla 19, corresponden voltaje del panel solar con nivel de iluminación tomados de la tabla 11 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 58; el nivel de iluminación tiene una relación directa con el voltaje del panel solar, es decir cuando existe mayor nivel de iluminación se tiene mayor voltaje a la salida del panel solar, y cuando existe menor nivel de iluminación se tiene menor voltaje a la salida del panel solar.

Tabla 20. *Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del segundo día en modo estático.*

Corriente de carga de la batería (A)	Nivel de iluminación (lx)
-0,061	1240
0,052	10020
0,15	20100
0,31	30800
0,32	31000
0,57	40600
0,68	72200
0,73	79500
0,86	85500
0,93	90000
0,95	90600
1,03	99000
1,1	99700
1,2	102000
1,3	110000

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 59. Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para el segundo día en modo estático



Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

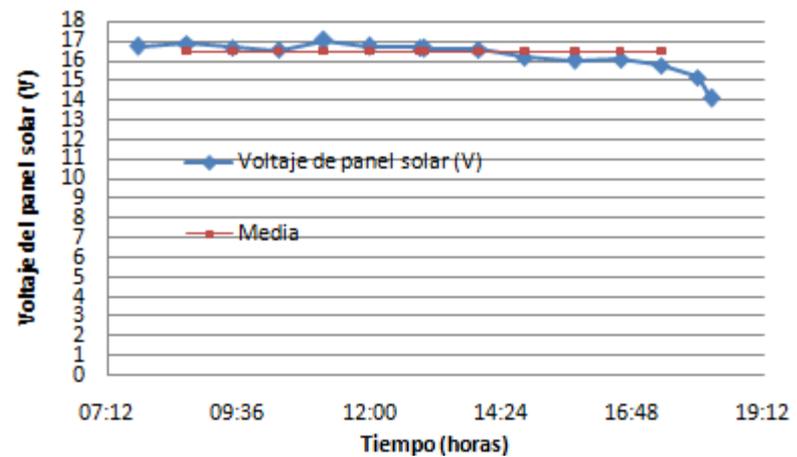
Los datos que muestra la tabla 20, corresponden a la corriente de carga de la batería y Nivel de iluminación tomados de la tabla 11 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 59; la gráfica presenta una relación directa, conforme el nivel de iluminación aumenta la corriente de carga de la batería también, y si disminuye el nivel de iluminación también disminuye la corriente de carga en la batería.

Tabla 21. Voltaje del panel solar y hora del segundo día en modo estático

Voltaje de panel solar (V)	Tiempo
16,72	7:45 a.m.
16,91	8:40 a.m.
16,68	9:30 a.m.
16,55	10:20 a.m.
17,02	11:10 a.m.
16,72	12:00
16,68	12:55
16,63	13:00
16,6	14:00
16,18	14:50
16,03	15:45
16,07	16:35
15,76	17:20
15,17	18:00
14,1	18:15

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 60. Voltaje del panel solar vs tiempo para el segundo día en modo estático



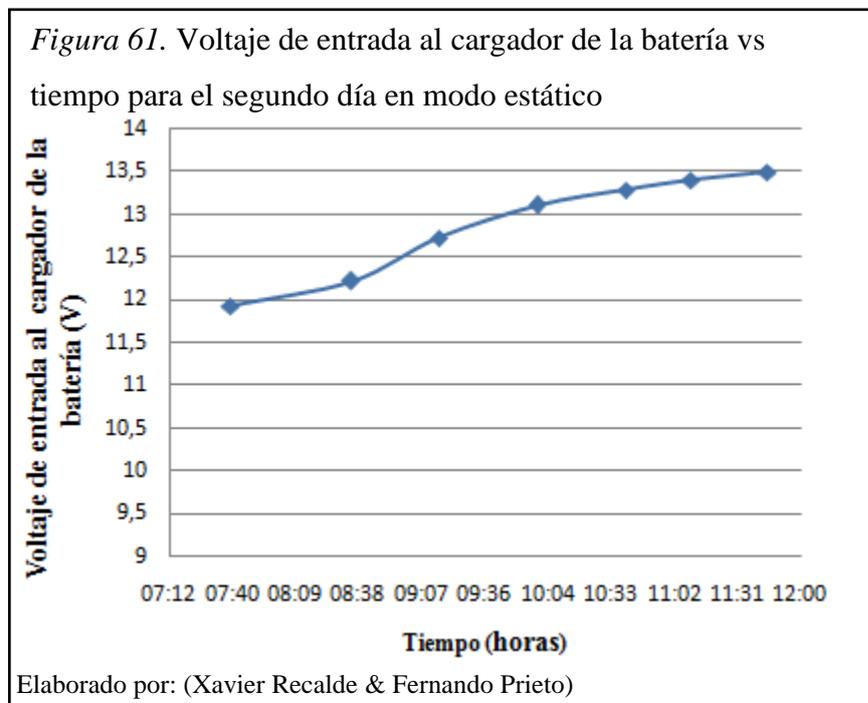
Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Los datos de la tabla 21, que relacionan el voltaje del panel solar con el tiempo a retardos de 1 hora se extraen de la tabla 11 y se pueden observar en la figura 60. El voltaje generado por el panel solar llega a un valor pico de alrededor de 17 voltios aproximadamente a las 11:15 am, y conforme transcurre el día el voltaje decae, esto debido a las condiciones ambientales, como al nublarse el sol o cuando llueve. Al llegar la tarde el nivel de iluminación decae rápidamente a partir de las 17:00 aproximadamente, el valor medio de voltaje generado por el panel solar es de 16,49 voltios durante el día de prueba, suficiente para cargar la batería en el día.

Tabla 22. *Tiempo en cargarse la batería en modo estático para el segundo día*

Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de entrada al cargador de la batería (V)	Tiempo
17600	11,93	7:40 a.m.
95000	12,22	8:35 a.m.
84500	12,73	9:15 a.m.
110300	13,11	10:00 a.m.
102000	13,29	10:40 a.m.
98700	13,4	11:10 a.m.
95400	13,5	11:45 a.m.

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



La figura 61, muestra la relación que tiene el voltaje de entrada al cargador de la batería en relación al tiempo, esto depende de las condiciones ambientales presentes en este día, como se observa en la tabla 22. De acuerdo a esto se llega a cargar aproximadamente en 4 horas. Con referencia a la hoja de datos de la batería (anexo 1, Características de la curva de carga) el porcentaje de carga corresponde al 80%, voltaje de la batería 13,5 V, y corriente de carga 0,18 A.

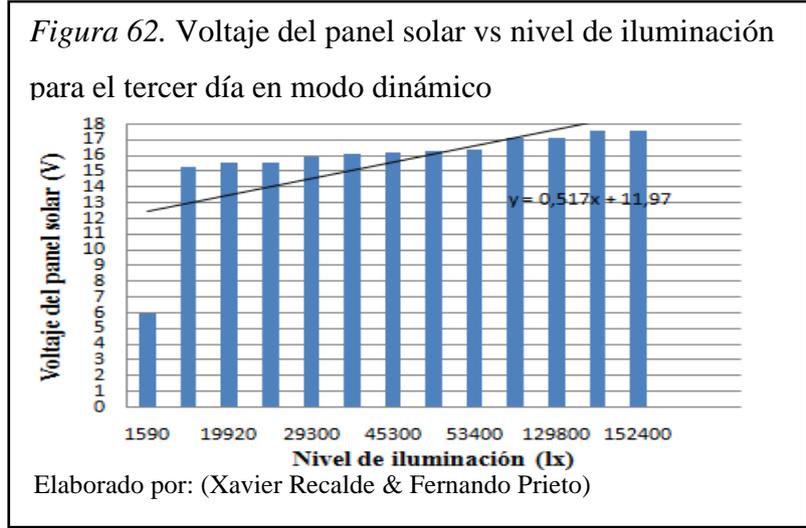
4.2.3 Prueba del panel solar en modo dinámico tercer día.

Para la realización de esta prueba el panel trabaja con el sistema Fuzzy-PID, el cual busca la captación de mayor nivel de radiación solar, para obtener el voltaje de salida en el panel solar. Las siguientes gráficas corresponden al día tercero en modo de prueba dinámico.

Tabla 23. *Voltaje del panel solar y nivel de iluminación del tercer día en modo dinámico.*

Voltaje de panel solar (V)	Nivel de iluminación (lx)
5,91	1590
15,29	16400
15,55	19920
15,56	19990
15,91	29300
16,12	43800
16,23	45300
16,3	47600
16,42	53400
17,17	129300
17,17	129800
17,58	151500
17,62	152400

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



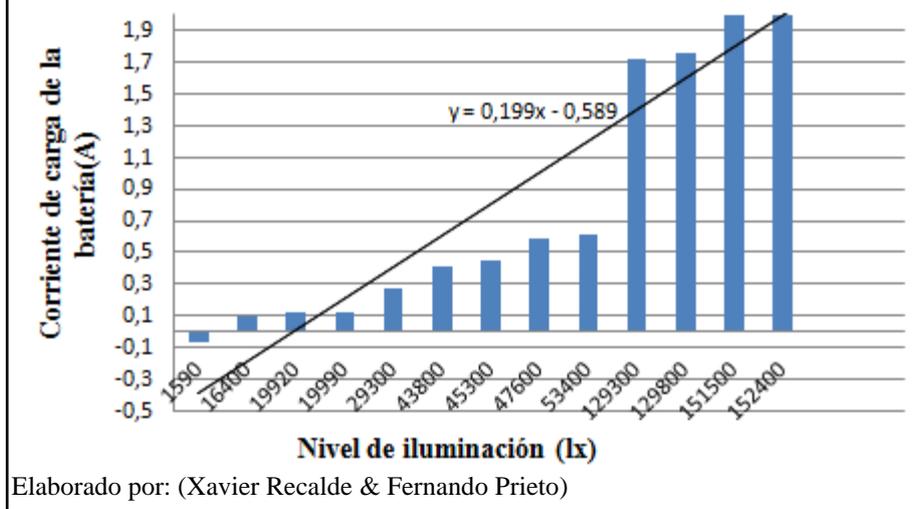
Los datos de la tabla 23, corresponden a Voltaje del panel solar con nivel de iluminación tomados de la tabla 12 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 63; el nivel de iluminación tiene una relación directa con el voltaje del panel solar, es decir cuando existe mayor nivel de iluminación se tiene mayor voltaje a la salida del panel solar, y cuando existe menor nivel iluminación el voltaje a la salida del panel solar es menor.

Tabla 24. *Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del tercer día en modo dinámico.*

Corriente de carga de la batería(A)	Nivel de iluminación (lx)
-0,066	1590
0,095	16400
0,12	19920
0,12	19990
0,28	29300
0,41	43800
0,45	45300
0,59	47600
0,61	53400
1,72	129300
1,76	129800
2,19	151500
2,2	152400

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 63. Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para tercer día en modo dinámico.

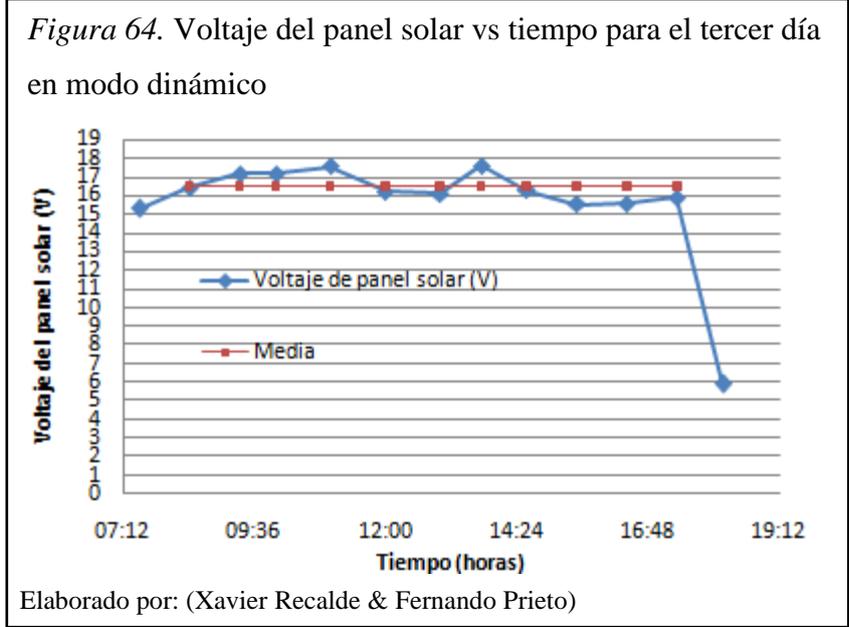


Los datos que muestra la tabla 24 corresponden a corriente de carga de la batería con nivel de iluminación tomados de la tabla 12 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 63; la gráfica presenta una relación directa, conforme el nivel de iluminación aumenta la corriente de carga de la batería también, y si disminuye el nivel de iluminación también disminuye la corriente de carga en la batería.

Tabla 25. Voltaje del panel solar y tiempo del tercer día en modo dinámico

Voltaje de panel solar (V)	Tiempo
15,29	7:30 a.m.
16,42	8:25 a.m.
17,17	9:20 a.m.
17,17	10:00 a.m.
17,58	11:00 a.m.
16,23	12:00
16,12	13:00
17,62	13:45
16,3	14:35
15,55	15:30
15,56	16:25
15,91	17:20
5,91	18:10

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



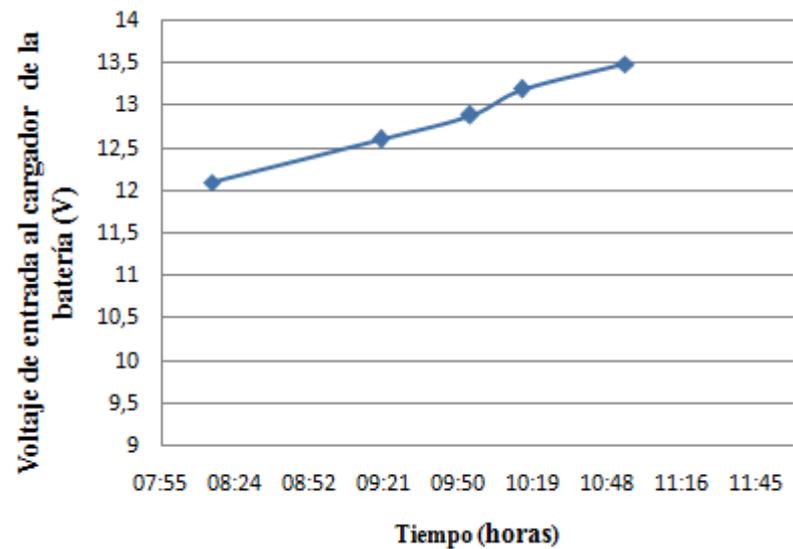
Los datos de la tabla 25, que relacionan el voltaje del panel solar con el tiempo a lapsos de 1 hora se extraen de la tabla 12 y se pueden observar en la figura 64. El voltaje generado por el panel solar llega a un valor pico de alrededor de 17,5 voltios aproximadamente a las 13:30, y conforme transcurre el día el voltaje decae, esto debido a las condiciones ambientales, como al nublarse el sol o cuando llueve. Al llegar la tarde el nivel de iluminación decae rápidamente a partir de las 17:00 aproximadamente, el valor medio del voltaje generado por el panel solar es de 16,51 voltios durante el día de prueba, suficiente para cargar la batería en el día.

Tabla 26. Tiempo en cargarse la batería en modo dinámico para el tercer día

Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de entrada al cargador de la batería (V)	Tiempo
78700	12,1	8:15
95000	12,61	9:20
111900	12,89	9:55
119000	13,2	10:15
129000	13,5	10:55

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 65. Voltaje de entrada al cargador de la batería vs tiempo para el tercer día en modo dinámico.



Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

La figura 65, muestra la relación que tiene el voltaje de entrada al cargador de la batería en relación al tiempo, esto depende de las condiciones ambientales presentes en este día, como se observa en la tabla 26. De acuerdo a esto se llega a cargar aproximadamente en 3,5 horas. Con referencia a la hoja de datos de la batería (anexo 1, Características de la curva de carga), el porcentaje de carga corresponde al 80%, voltaje de la batería 13,5 V, y corriente de carga 0,18 A.

4.2.4 Prueba del panel solar en modo dinámico cuarto día.

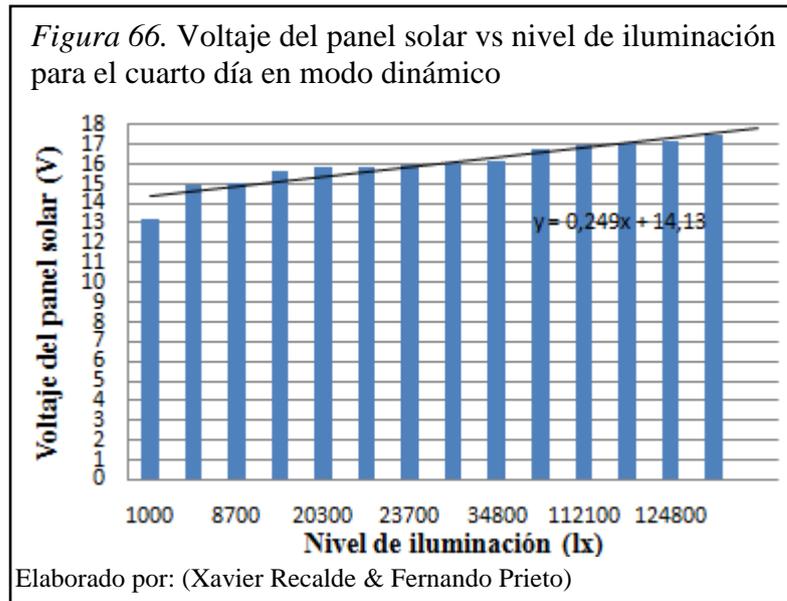
Las siguientes gráficas y tablas indican el comportamiento del sistema con relación a diferentes variables, cuyos datos corresponden al cuarto día.

Tabla 27. Voltaje del panel solar y nivel de iluminación del cuarto día en modo dinámico

Voltaje de panel solar (V)	Nivel de iluminación (lx)
13,2	1000
14,93	3900
15,06	8700
15,62	11900
15,81	20300
15,86	20700
15,94	23700
16,04	26700
16,11	34800
16,73	100500
17,02	112100
17,1	121700
17,15	124800
17,45	142300

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 66. Voltaje del panel solar vs nivel de iluminación para el cuarto día en modo dinámico



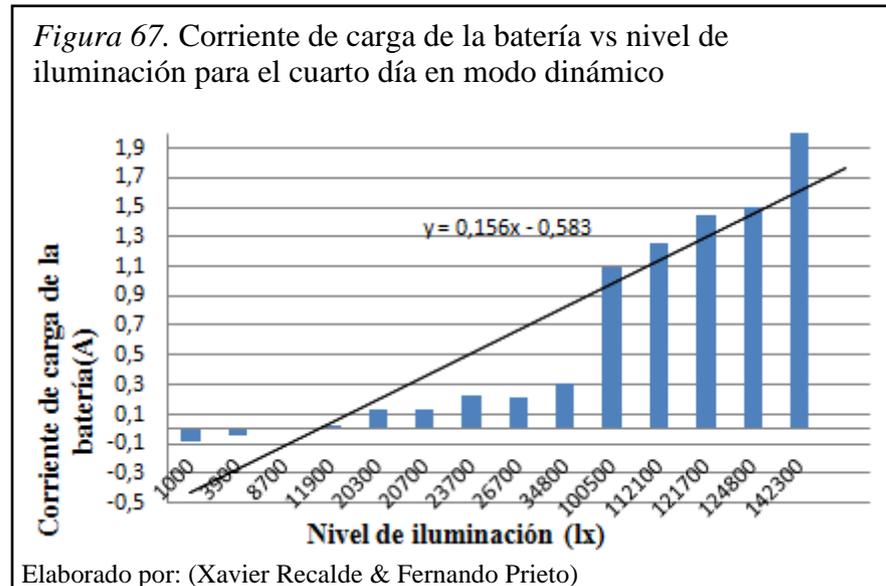
Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Los datos de la tabla 27, corresponden al voltaje del panel solar con el nivel de iluminación tomados de la tabla 13 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 66; el nivel de iluminación tiene una relación directa con el voltaje del panel solar, es decir cuando existe mayor nivel de iluminación se tiene mayor voltaje a la salida del panel solar, y cuando existe menor nivel iluminación el voltaje a la salida del panel solar es menor.

Tabla 28. Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del cuarto día en modo dinámico

Corriente de carga de la batería (A)	Nivel de iluminación (lx)
-0,085	1000
-0,043	3900
0,018	8700
0,031	11900
0,13	20300
0,14	20700
0,23	23700
0,22	26700
0,31	34800
1,1	100500
1,26	112100
1,45	121700
1,5	124800
2,03	142300

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



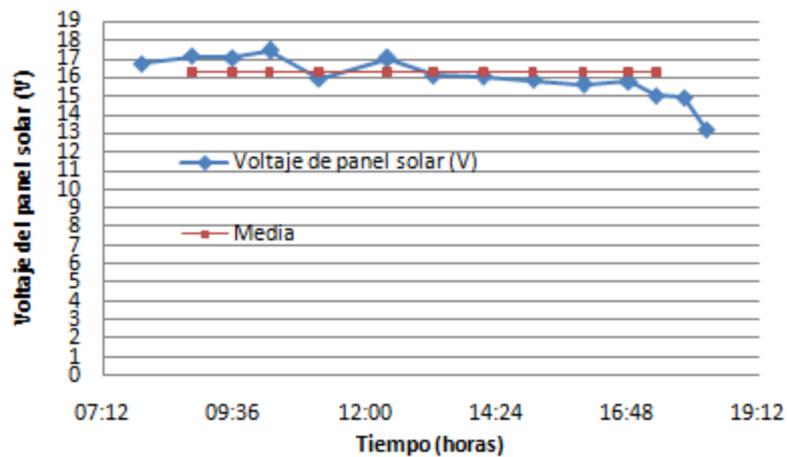
Los datos que muestra la tabla 28, corresponden a corriente de carga en la batería y nivel de iluminación tomados de la tabla 13 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 67; la gráfica tiene una relación directa, conforme el nivel de iluminación aumenta la corriente de carga de la batería también, y si disminuye el nivel de iluminación también disminuye la corriente de carga en la batería.

Tabla 29. Voltaje del panel solar y tiempo del cuarto día en modo dinámico

Voltaje de panel solar (V)	Tiempo
16,73	7:55 a.m.
17,15	8:50 a.m.
17,1	9:35 a.m.
17,45	10:15 a.m.
15,94	11:10 a.m.
17,02	12:25
16,11	13:15
16,04	14:10
15,86	15:05
15,62	16:00
15,81	16:50
15,06	17:20
14,93	17:50
13,2	18:15

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 68. Voltaje del panel solar vs tiempo para el cuarto día en modo dinámico



Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

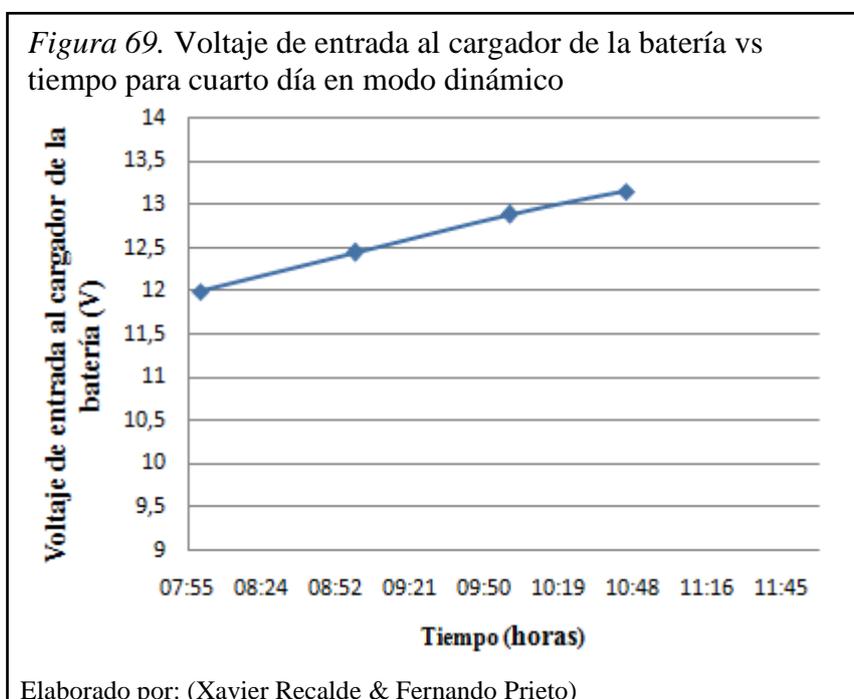
Los datos de la tabla 29, que relacionan el voltaje del panel solar con el tiempo en lapsos de 1 hora se extraen de la tabla 13 y se pueden observar en la figura 68. El voltaje generado por el panel solar llega a un valor pico de alrededor de 17,5 voltios aproximadamente a las 10:15a.m., y conforme transcurre el día el voltaje decae, esto debido a las condiciones ambientales, como al nublarse el sol o cuando llueve. Al llegar la tarde el nivel de iluminación decae rápidamente a partir de las 17:15

aproximadamente, el valor medio del voltaje generado por el panel solar es de 16,29 voltios durante el día de prueba, suficiente para cargar la batería en el día.

Tabla 30. *Tiempo en cargarse la batería en modo dinámico para el cuarto día*

Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de entrada al cargador de la batería (V)	Tiempo
59700	12	8:00
83000	12,45	9:00
140000	12,89	10:00
75000	13,15	10:45

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



La figura 69, muestra la relación que tiene el voltaje de entrada al cargador de la batería en relación al tiempo, esto depende de las condiciones ambientales presentes en este día, como se observa en la tabla 30. De acuerdo a esto se llega a cargar aproximadamente en 3,5 horas. Con referencia a la hoja de datos de la batería (anexo 1, características de la curva de carga), el porcentaje de carga corresponde al 80%, Voltaje de la batería 13,5 V, y corriente de carga 0,18 A.

4.2.5 prueba del panel solar en modo dinámico quinto día.

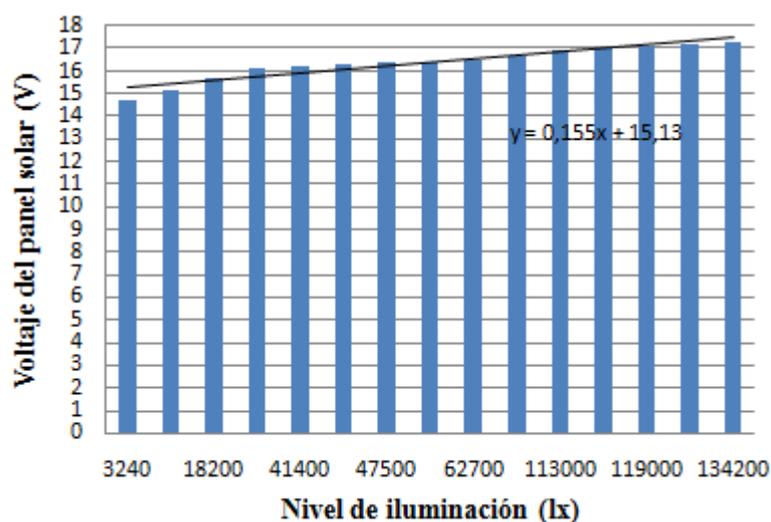
Las siguientes gráficas y tablas indican el comportamiento del sistema con relación a diferentes variables, cuyos datos corresponden al quinto día.

Tabla 31. Voltaje del panel solar y nivel de iluminación del quinto día en modo dinámico

Voltaje de panel solar (V)	Nivel de iluminación (lx)
14,75	3240
15,12	14520
15,67	18200
16,15	37800
16,24	41400
16,3	43600
16,35	47500
16,4	54500
16,48	62700
16,67	85000
16,95	113000
17,01	114600
17,11	119000
17,19	126500
17,25	134200

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 70. Voltaje del panel solar vs nivel de iluminación para el quinto día en modo dinámico



Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

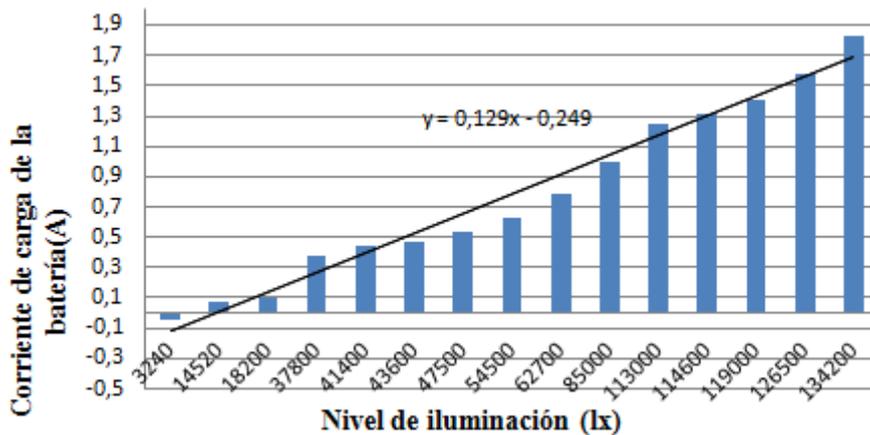
Los datos de la tabla 31, corresponden a voltaje del panel solar con nivel de iluminación tomados de la tabla 14 y se ordenan de forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 70; el nivel de iluminación tiene una relación directa con el voltaje del panel solar, es decir cuando existe mayor nivel de iluminación se tiene mayor voltaje a la salida del panel solar, y cuando existe menor nivel iluminación el voltaje a la salida del panel solar es menor.

Tabla 32. Corriente de carga de la batería y nivel de iluminación del quinto día en modo dinámico

Corriente de carga de la batería (A)	Nivel de iluminación (lx)
-0,047	3240
0,074	14520
0,105	18200
0,38	37800
0,44	41400
0,47	43600
0,54	47500
0,63	54500
0,78	62700
1	85000
1,25	113000
1,31	114600
1,41	119000
1,58	126500
1,83	134200

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Figura 71. Corriente de carga de la batería vs nivel de iluminación para el quinto día en modo dinámico



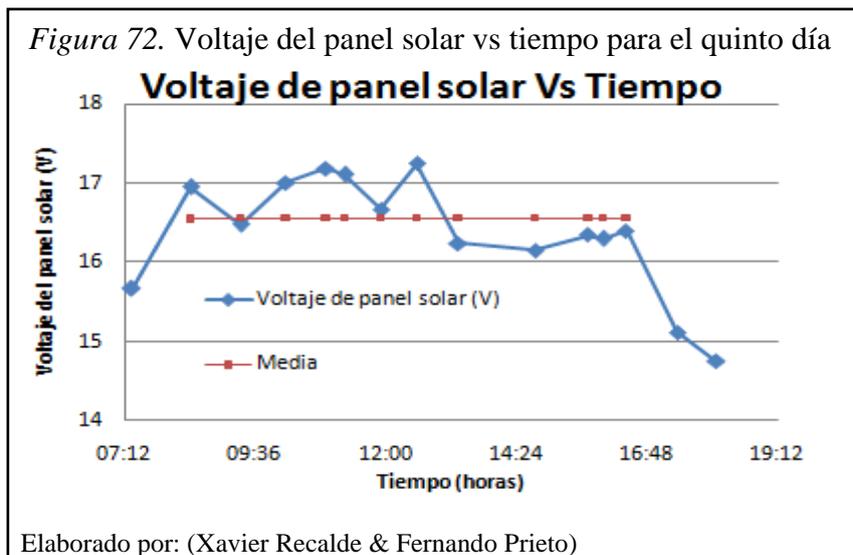
Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Los datos que muestra la tabla 32, corresponden a la corriente de carga de la batería y nivel de iluminación tomados de la tabla 14 y se ordenan forma ascendente para examinar la relación de las dos variables, como se observa en la figura 71; la gráfica presenta una relación directa, conforme el nivel de iluminación aumenta la corriente de carga de la batería también, y si disminuye el nivel de iluminación también disminuye la corriente de carga en la batería.

Tabla 33. Datos del voltaje del panel solar y tiempo del quinto día en modo dinámico

Voltaje de panel solar (V)	Tiempo
15,67	7:20 a.m.
16,95	8:25 a.m.
16,48	9:20 a.m.
17,01	10:10 a.m.
17,19	10:54 a.m.
17,11	11:15 a.m.
16,67	11:55 a.m.
17,25	12:35
16,24	13:20
16,15	14:45
16,35	15:43
16,3	16:00
16,4	16:25
15,12	17:22
14,75	18:05

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

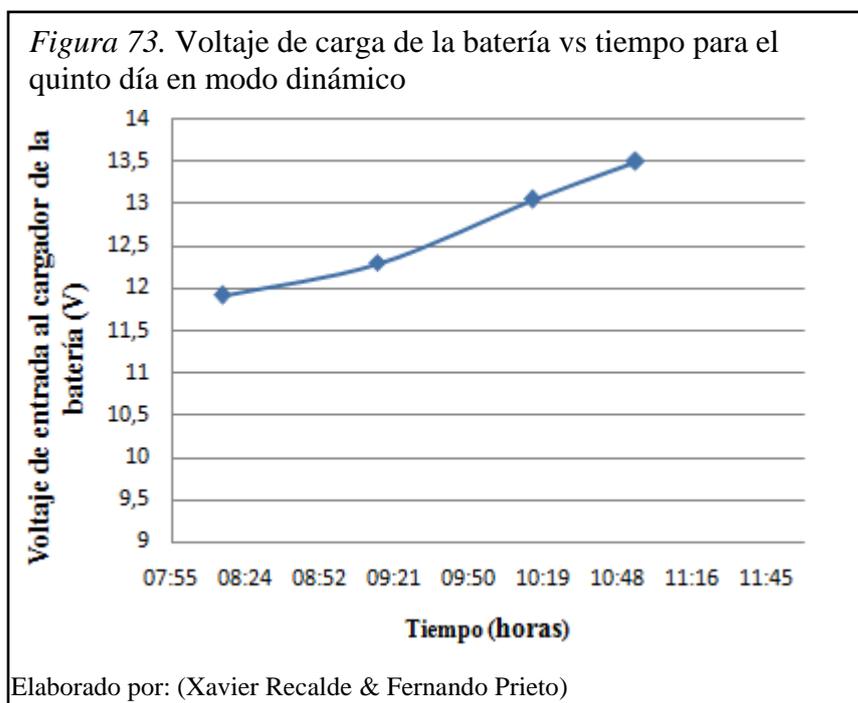


Los datos de la tabla 33, que relacionan el voltaje del panel solar con el tiempo a lapsos de 1 hora se extraen de la tabla 14 y se pueden observar en la figura 72. El voltaje generado por el panel solar llega a un valor pico de alrededor de 17,25 voltios aproximadamente a las 12:30 pm, y conforme transcurre el día el voltaje decae, esto debido a las condiciones ambientales, como al nublarse el sol o cuando llueve. Al llegar la tarde el nivel de iluminación decae rápidamente a partir de las 17:00 aproximadamente, el valor medio del voltaje generado por el panel solar es de 16,56 voltios durante el día de prueba, suficiente para cargar la batería en el día.

Tabla 34. *Tiempo en cargarse la batería en modo dinámico para el quinto día*

Nivel de iluminación (lx)	Voltaje de entrada al cargador de la batería (V)	Tiempo
98200	11,92	8:15 a.m.
75000	12,3	9:15 a.m.
120000	13,05	10:15 a.m.
103000	13,5	10:55 a.m.

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



La figura 73, muestra la relación que tiene el voltaje de entrada al cargador de la batería de carga de la batería en relación al tiempo, esto depende de las condiciones ambientales presentes en este día, como se observa en la tabla 34. De acuerdo a esto se llega a cargar aproximadamente en 3 horas. Con referencia a la hoja de datos de la

batería (anexo 1, Características de la curva de carga), el porcentaje de carga corresponde al 80%, voltaje de la batería 13,5 V, y corriente de carga 0,18 A

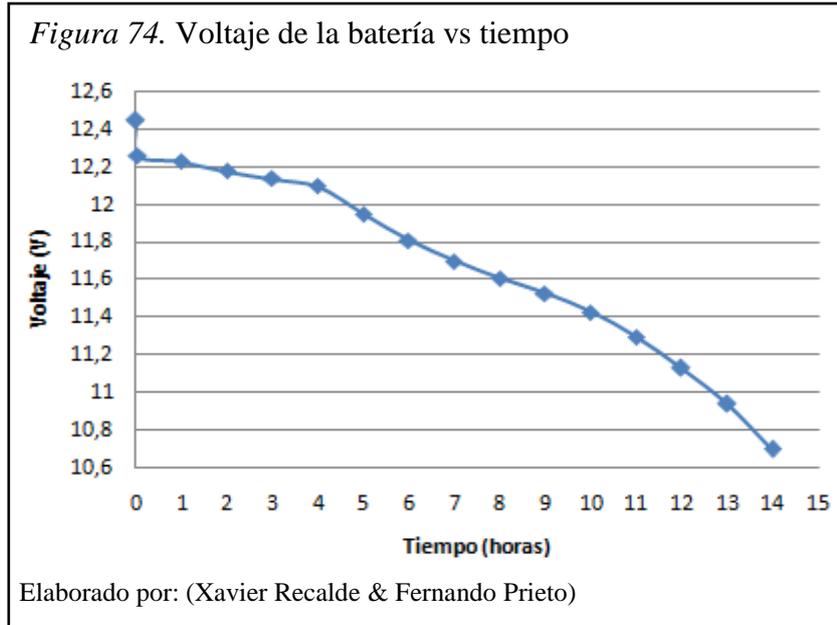
4.3 Tiempo de descarga de la batería

La gráfica de la figura 74 corresponde a los datos de la tabla 35 y muestra el tiempo de descarga de la batería, para una corriente DC constante de 0,51 A.

Tabla 35. *Datos del tiempo de descarga de la batería*

Voltaje (V)	Tiempo (horas)
12,45	0
12,26	0,05
12,23	1
12,18	2
12,14	3
12,1	4
11,95	5
11,81	6
11,7	7
11,61	8
11,53	9
11,43	10
11,3	11
11,13	12
10,94	13
10,7	14

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)



Como se observa en la figura 74, las primeras cuatro horas, no se descarga rápidamente el voltaje de la batería, llegando a un valor de 12 voltios aproximadamente, posteriormente la batería comienza a disminuir el nivel de voltaje con mayor pendiente, teniendo la misma corriente de carga.

El tiempo total de descarga es aproximadamente 14 horas, para una carga constante de 0,51 amperios, que incluye circuito de carga, circuito de iluminación, circuito del control Fuzzy-PID, y el inversor logrando proporcionar energía durante la noche.

4.4 Comparación modo estático y modo dinámico

Tabla 36. *Comparación de resultados*

VARIABLE MODO	Relación Voltaje del panel solar Vs Nivel de iluminación	Relación Corriente de carga de la batería Vs Nivel de iluminación	Tiempo de carga de la batería aproximadamente
ESTÁTICO	Directa	Directa	4 horas
DINAMICO	Directa	Directa	3,33 horas

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

En la tabla 36 se observa que la relación del voltaje del panel solar, corriente de carga de la batería y nivel de iluminación es directa para ambos modos. El tiempo de carga en modo estático difiere al tiempo de carga en modo dinámico en aproximadamente 45 minutos, de esta manera el sistema Fuzzy-PID busca aprovechar o captar mejor el nivel de radiación solar.

4.5 Costo del proyecto

Tabla 37. *Equipos y materiales con el sistema Fuzzy-PID*

Cantidad	Equipos y Materiales	Costo
1	Batería 12V/12AH	54,00
1	Convertidor CD-CA(inversor) 200W	90,00
1	Panel solar monocristalino 30 Watt	110,00
1	Estructura con panel de control	100,00
1	Motor DC 12v/790rpm	35,00
2	Focos led's(120V/2W)	18,00
20 metros	Cable gemelo AWG #18	9,60
1	Boquillas para exteriores	15,00
1	Programadora para PIC	32,00
1	MicrocontroladorPIC18F452	9,00
20	Resistencias	1,00
8	Condensadores	1,60
10	Diodos	0,70
3	Reguladores de voltaje	10,00
1	Amplificadores Operacionales	0,80
15	Borneras	5,25
2	Circuito impreso	10,00
Varios	Cables de conexión	2,00
7	Diodos Leds	0,70
2	Fotoceldas	0,80
	Suma Total	505,45

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Tabla 38. *Equipos y materiales sin el sistema Fuzzy-PID*

Cantidad	Equipos y Materiales	Costo
1	Batería 12V/12AH	54,00
1	Convertidor CD-CA(inversor) 200W	90,00
1	Panel solar monocristalino 30 Watt	110,00
1	Estructura con panel de control	100,00
2	Focos led's(120V/2W)	18,00
20 metros	Cable gemelo AWG #18	9,60
1	Boquillas para exteriores	15,00
12	Resistencias	0,60
2	Condensadores	0,40
4	Diodos	0,40
1	Reguladores de voltaje	8,00
1	Amplificadores Operacionales	0,80
7	Borneras	2,45
1	Circuito impreso	5,00
Varios	Cables de conexión	1,00
3	Diodos Leds	0,30
1	Fotoceldas	0,40
	Suma Total	415,95

Elaborado por: (Xavier Recalde & Fernando Prieto)

Como se observa en las tablas 37 y 38 existe una diferencia de un 21,5% aproximadamente, es decir con una inversión de un 21,5% del costo total se logra tener un sistema Fuzzy-PID dinámico, el cual mejora el tiempo de carga de la batería en aproximadamente 45 minutos.

CONCLUSIONES

- La generación de electricidad a partir de paneles solares, es una tecnología limpia, segura, robusta de mínimo de mantenimiento, pero a gran escala resulta muy costosa.
- Los paneles solares pueden ser instalados en sitios alejados de la red eléctrica convencional.
- Con la implementación del sistema Fuzzy-PID, para el panel solar monocristalino en modo dinámico, el tiempo de carga de la batería se reduce en comparación con el tiempo de carga de la batería en el panel solar en modo estático.
- Se logra implementar un circuito de control para la carga y descarga de la batería, a partir de su curva característica, optimizando el tiempo de vida útil del acumulador de energía.
- Antes de la instalación a gran escala es muy importante realizar un estudio previo para la ubicación y posicionamiento de los paneles solares, caso contrario si el panel solar se ubica en sitios no favorables a la radiación solar es necesario tener un sistema de control Fuzzy-PID para captar la mayor radiación solar.
- La implementación del sistema de control Fuzzy-PID para el panel solar monocristalino, es eficiente en un 19% con respecto al panel solar en modo estático, en cuanto al tiempo de carga de la batería.
- La potencia de consumo para iluminación con tecnología led, logra optimizar el uso del panel solar monocristalino, ya que se tiene mayor nivel de iluminación con baja potencia.
- En este proyecto el panel solar es la planta y sensor a la vez, debido a que el panel solar recibe radiación solar y entrega voltaje de corriente continua, que alimenta al circuito de carga de la batería (planta) y esta misma señal se utiliza para realimentar el sistema de control Fuzzy-PID.

RECOMENDACIONES

- Se puede agregar un sistema de generación eólico, que sirva como respaldo al sistema fotovoltaico, es decir una micro red de generación eléctrica en el hogar, que permita cubrir más necesidades energéticas en todo el día.
- Es recomendable hacer un estudio, para demostrar si es factible, alimentar las cocinas de inducción con una micro red de generación eléctrica.
- Para incrementar la carga de consumo, utilizando el mismo panel solar monocristalino, se debe instalar una batería de mayor amperio-hora, considerando que el tiempo que se va a demorar en cargarse la batería será mayor.
- Se puede mejorar el diseño de la estructura, con la finalidad de resistir mayores vibraciones causadas por el viento o a las diferentes condiciones ambientales.
- Para el recorrido del panel solar desde la posición inicial hasta la posición final, se puede instalar sensores de tipo inductivos o infrarrojos, los cuales podría soportar ambientes más hostiles.
- Se puede acoplar un motor DC, al panel solar monocristalino con caja de reducción de menores revoluciones por minuto y de torque necesario, con el fin de que su movimiento sea más suave.
- Investigar, desarrollar y construir paneles solares locales, con el fin fortalecer la industria ecuatoriana y masificar su uso.

LISTA DE REFERENCIAS

- ALEKO. (s.f. de s.f. de 2013). *Solar Panels* . Recuperado el 19 de diciembre de 2013, de Solar panels : <http://www.alekogreenenergy.com/ALEKO-Solar-Panel-30-Watt-12-Volt-Monocrystalline-p/sp30w12v-ae.htm>
- Améstegui, M. (2001). *Apuntes de Control PID*. La Paz, Bolivia: Universidad mayor de San Andres.
- Analuisa, P. (2011). *Sistema de energía fotovoltaico para respaldo de energía eléctrica en el edificio del municipio del cantón Sigchos*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (s.f. de s.f. de 2008). *CONSTITUCIÓN 2008*. Recuperado el 18 de diciembre de 2013, de Constitución de la república del Ecuador:
http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Auto Solar. (s.f. de s.f. de s.f.). *Baterías*. Recuperado el 17 de diciembre de 2013, de Información acerca de las Baterías: <http://autosolar.es/baterias/bateria-gel/baterias-ciclo-profundo-gel>
- Chávez, H. (2011). *Diseño y elaboración de guías de práctica para implementar controladores mediante lógica difusa en el plc Compact Logix L43*. Sangolquí: ESPE.
- Clavijo Mendoza, J. R. (s.f. de mayo de 2011). *Diseño y simulación de sistemas microcontrolados en lenguaje C*. Recuperado el 20 de Febrero de 2014, de Diseño y simulación de sistemas microcontrolados en lenguaje C:
http://www.mikroe.com/download/eng/documents/publications/other-books/libro_simulacion_mikroc.pdf

CONELEC. (2008). *Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica*. Quito, Ecuador: CONELEC.

CONELEC. (2008, octubre 23). *Procedimientos para presentar, calificar y aprobar los proyectos ferum (Regulación no. CONELEC 008/08)*. Retrieved Enero 04, 2014, from CONELEC- 008/08: <http://www.conelec.gob.ec/images/normativa/23-oct-08.pdf>

CONELEC. (s.f. de s.f. de 2011). *Atlas solar del ecuador con fines de generación eléctrica*. Recuperado el 3 de diciembre de 2013, de Atlas solar del ecuador con fines de generación eléctrica:
<http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=1792&l=1>

CONELEC. (14 de abril de 2011). *Determinación de la metodología para el cálculo del plazo y de los precios referenciales de los proyectos de generación y autogeneración (Regulación No. CONELEC 003/11)*. Recuperado el 04 de enero de 2014, de Determinación de la metodología para el cálculo del plazo y de los precios referenciales de los proyectos de generación y autogeneración (Regulación No. CONELEC 003/11):
http://www.conelec.gob.ec/normativa_detalle.php?cd_norm=360

CONELEC. (14 de abril de 2011). *Tratamiento para la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales (REGULACIÓN NO. CONELEC 004/11)*. Recuperado el 04 de enero de 2014, de Tratamiento para la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales (REGULACIÓN NO. CONELEC 004/11):
http://www.conelec.gob.ec/normativa_detalle.php?cd_norm=361

CONELEC. (31 de enero de 2013). *CONELEC*. Recuperado el 29 de noviembre de 2013, de CONELEC: <http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10249>

CONELEC. (s.f. de marzo de 2014). *Balance Nacional de Energía Eléctrica*. Recuperado el 12 de mayo de 2014, de Balance Nacional de Energía Eléctrica:
<http://www.conelec.gob.ec/contenido.php?cd=10261>

CONELEC. (s.f. de s.f. de s.f.). *Proyectos de generación de energía eléctrica*.

Recuperado el 3 de diciembre de 2013, de Proyectos de generación de energía eléctrica:

https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&ved=0CDoQFjAD&url=http%3A%2F%2Fwww.conelec.gob.ec%2Farchivos_articulo%2Fdoc_10167_Proyectos%2520ERNC%2520con%2520T%25C3%25ADtulos%2520Habilitantes%2520y%2520Registros.xlsx&ei=1vqXU

Eliseo Sebastian. (23 de julio de 2012). *Elementos contituyentes de un panel solar fotovoltaico*. Recuperado el 4 de diciembre de 2013, de Eliseo sebastian:
<http://eliseosebastian.com/elementos-constituyentes-de-un-panel-solar-fotovoltaico/>

EXA. (s.f. de s.f. de 2008). *Agencia espacial civil Ecuatoriana*. Recuperado el 12 de diciembre de 2013, de MNR: monitor nacional de radiación ultravioleta:
<http://www.exa.ec/>

EXA. (s.f. de s.f. de 2008). *Agencia civil Ecuatoriana*. Recuperado el 12 de diciembre de 2013, de Agencia civil Ecuatoriana: <http://uv.exa.ec/infografia.htm>

FONDEAR. (s.f. de s.f. de s.f.). *InfoNáutica*. Recuperado el 17 de diciembre de 2013, de Baterías AGM ¿Qué son?:
http://www.fondear.org/infonautic/equipo_y_usos/Electricidad_Energia/Baterias_AGM/Baterias_Absorbent-Glass-Mat.asp

Gómez, J. (2008). *Fuzzy control*. Buenos Aires: EduTecNe.

Honorable Congreso Nacional del Ecuador. (s.f. de s.f. de 2004). *Ley de Gestión Ambiental*. Recuperado el 19 de diciembre de 2013, de Ley de Gestión Ambiental :
<http://www.ceda.org.ec/descargas/biblioteca/Ley%20de%20Gestion%20Ambienta%20Codificacion.doc>

Jara, T. W. (2006). *Introducción a las energías renovables no convencionales (ERNCC)*. Santiago de Chile: Endesa.

Kuo, B. (1996). *Sistemas de control automático*. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.

Me gustan las sociales. (2013, Octubre 6). *La tierra, planeta del sistema solar. 1ª Prueba 2013-14*. Retrieved Diciembre 13, 2013, from La Tierra, planeta del sistema solar. 1ª Prueba 2013-14.: <http://encaralkaken.blogspot.com/2013/09/movimientos-de-la-tierra.html>

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (7 de marzo de 2013). *Ministerio de electricidad y energía renovable presentó el primer atlas eólico del Ecuador*. Recuperado el 29 de noviembre de 2013, de Ministerio de electricidad y energía renovable presentó el primer atlas eólico del Ecuador: <http://www.energia.gob.ec/ministerio-de-electricidad-y-energia-renovable-presento-el-primer-atlas-eolico-del-ecuador/>

Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (s.f de s.f. de s.f.). *Proyectos Emblemáticos*. Recuperado el 25 de noviembre de 2013, de Proyectos Emblemáticos: <http://www.energia.gob.ec/proyectos-emblematicos-2/>

Ministerio del Ambiente. (8 de mayo de 2008). *Reglamento legal para actividades eléctricas*. Recuperado el 25 de diciembre de 2013, de Reglamento legal para actividades eléctricas: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/REGLAMENTO-AMBIENTAL-PARA-ACTIVIDADES-ELECTRICAS.pdf>

Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

- Pabón, L., & Tonato, D. (2012). *Diseño e implementación de un sistema electrónico para trazar el perfil de radiación solar en la terraza del edificio “c” de la espe extensión latacunga, mediante paneles solares, fijo y móvil*. Latacunga, Ecuador: ESPE.
- Pineda, M. V. (2009). *Control de un modelo aerodinámico aplicando sistemas difusos*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Pittman . (2007). *Pittman Express*. Harleysville, Pennsylvania: Ametek.
- Prensa Virtual Trujillo. (13 de junio de 2012). *Los focos led superan a los ahorradores*. Recuperado el 27 de febrero de 2014, de Los focos led superan a los ahorradores: <http://prensavirtualtrujillo.blogspot.com/2012/06/los-focos-led-superan-los-ahorradores.html>
- Quijano Ortega, M. G., & Hernández Capacho, C. G. (2009). *Obtención experimental de los parámetros del motor que se utilizará en el sistema de locomoción de una esfera rodante*. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Rashid, M. (2004, s.f. s.f.). *Electrónica de potencia*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Schallenberg, J. P. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Quito: Senplades.
- Truper. (2010). *Inversor de corriente, potencia 100W*. México: Truper Herramientas, S.A.

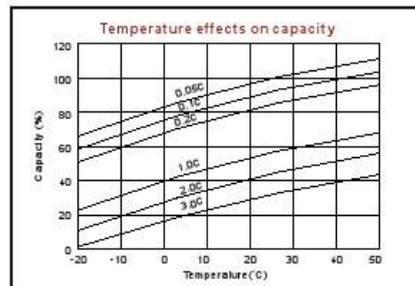
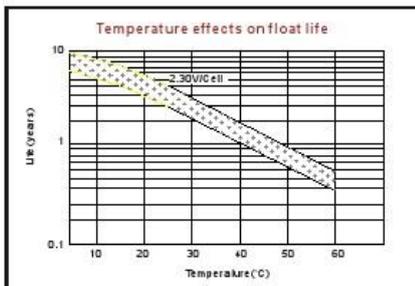
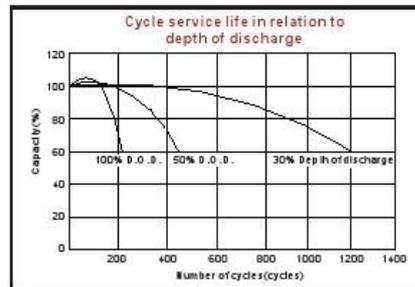
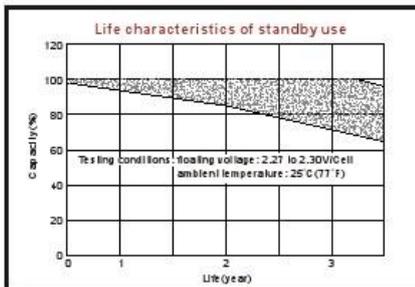
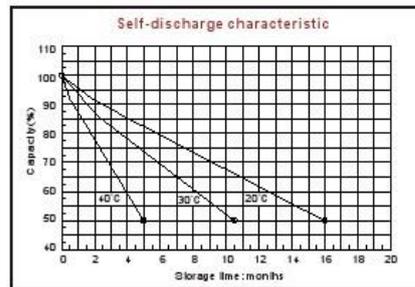
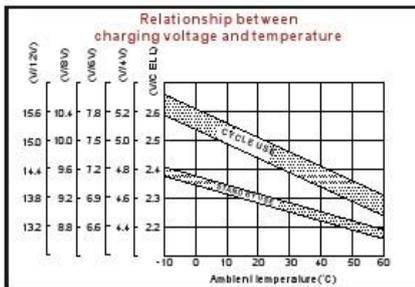
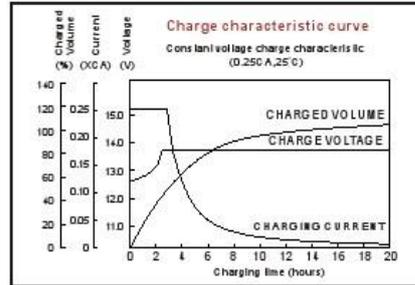
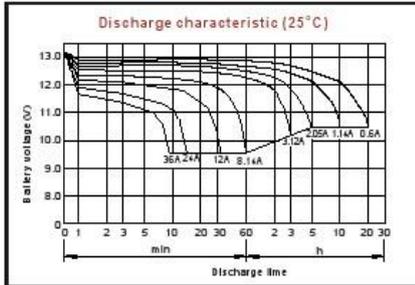
Villalba, M. (2011). *Sistema de control de temperatura para la climatización del quirófano y la sala de recuperación del Hospital Municipal Nuestra Señora de la Merced de la ciudad de Ambato*. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato.

VISION. (2003). *CP12120 12V 12Ah*. Shenzhen: Shenzhen Center Power Technology.

Anexo 1. Bateria



CP12120 12V12Ah



Shenzhen Center Power Tech. Co., Ltd.
Center Power Industrial Park, Tongxin Industrial District Dapeang Town, 518120 Shenzhen, China
Tel: (+86-755) 8431 8088 Fax: (+86-755) 8431 8038 E-mail: sales@vision-batt.com

www.vision-batt.com

Copy Right Shenzhen Center Power Technology Co., Ltd (Edition 2003-8)

Anexo 2. Motor dc

PITTMAN EXPRESS

Series GM 8000 LO-COG[®] Brush Commutated DC Motors (continued)

Reduction Ratio	Maximum Continuous Torque		No-Load Speed		Peak Torque (Stall)		Torque Constant	Back EMF Constant	Resistance	Inductance	Rated Voltage	Encoder	Outline Drawing Page Number	Part Number
	oz·in (Nm)	rpm (rad/s)	oz·in (Nm)	oz·in/A (Nm/A)	V/krpm (V/rad/s)	Ω	mH	V						
187.7:1	175	24	911 ^{1,2}	6.18	4.57	17	9.35	24	None	PE-10	GM8724S028 ³			
187.7:1	(1.23)	(2.5)	(6.434)	(0.044)	(0.044)									
187.7:1	175	24	911 ^{1,2}	6.18	4.57	17	9.35	24	500 CPR	PE-10	GM8724S029 ³			
187.7:1	(1.23)	(2.5)	(6.434)	(0.044)	(0.044)									

Series GM 9000 LO-COG[®] Brush Commutated DC Motors

Reduction Ratio	Maximum Continuous Torque		No-Load Speed		Peak Torque (Stall)		Torque Constant	Back EMF Constant	Resistance	Inductance	Rated Voltage	Encoder	Outline Drawing Page Number	Part Number
	oz·in (Nm)	rpm (rad/s)	oz·in (Nm)	oz·in/A (Nm/A)	V/krpm (V/rad/s)	Ω	mH	V						
115:1	61	424	304 ^{1,2}	3.29	2.43	1.26	1.02	12	None	PE-11	GM9234S016 ³			
115:1	(4.31)	(44.4)	(2.147)	(0.023)	(0.023)									
115:1	61	424	304 ^{1,2}	6.5	4.81	4.62	3.97	24	None	PE-11	GM9234S017 ³			
115:1	(4.31)	(44.4)	(2.147)	(0.046)	(0.046)									
38.3:1	187	127	911 ^{1,2}	3.29	2.43	1.26	1.02	12	None	PE-11	GM9234S022 ³			
38.3:1	(1.321)	(13.3)	(6.434)	(0.023)	(0.023)									
38.3:1	187	127	911 ^{1,2}	6.5	4.81	4.62	3.97	24	None	PE-11	GM9234S023 ³			
38.3:1	(1.321)	(13.3)	(6.434)	(0.046)	(0.046)									
127.8:1	500	36	2747 ^{1,2}	3.29	2.43	1.26	1.02	12	None	PE-11	GM9234S028 ³			
127.8:1	(3.51)	(3.8)	(19.401)	(0.023)	(0.023)									
127.8:1	500	36	2747 ^{1,2}	6.5	4.81	4.62	3.97	24	None	PE-11	GM9234S029 ³			
127.8:1	(3.51)	(3.8)	(19.401)	(0.046)	(0.046)									
218.4:1	500	21	4199 ^{1,2}	3.29	2.43	1.26	1.02	12	None	PE-11	GM9234S030 ³			
218.4:1	(3.51)	(2.2)	(29.655)	(0.023)	(0.023)									
218.4:1	500	21	4199 ^{1,2}	3.29	2.43	1.26	1.02	12	500 CPR	PE-11	GM9234S031 ³			
218.4:1	(3.51)	(2.2)	(29.655)	(0.023)	(0.023)									
218.4:1	500	21	4199 ^{1,2}	6.5	4.81	4.62	3.97	24	None	PE-11	GM9234S032 ³			
218.4:1	(3.51)	(2.2)	(29.655)	(0.046)	(0.046)									
218.4:1	500	21	4199 ^{1,2}	6.5	4.81	4.62	3.97	24	500 CPR	PE-11	GM9234S033 ³			
218.4:1	(3.51)	(2.2)	(29.655)	(0.046)	(0.046)									
5.9:1	48	790	286 ¹	3.25	2.4	0.71	0.66	12	None	PE-11	GM9236S012 ³			
5.9:1	(.339)	(82.7)	(2.02)	(0.023)	(0.023)									
5.9:1	48	790	286 ¹	3.25	2.4	0.71	0.66	12	500 CPR	PE-11	GM9236S013 ³			
5.9:1	(.339)	(82.7)	(2.02)	(0.023)	(0.023)									
5.9:1	48	790	286 ¹	6.49	4.8	2.49	2.63	24	None	PE-11	GM9236S014 ³			
5.9:1	(.339)	(82.7)	(2.02)	(0.046)	(0.046)									
5.9:1	48	790	286 ¹	6.49	4.8	2.49	2.63	24	500 CPR	PE-11	GM9236S015 ³			
5.9:1	(.339)	(82.7)	(2.02)	(0.046)	(0.046)									
19.7:1	153	236	860 ^{1,2}	3.25	2.4	0.71	0.66	12	None	PE-11	GM9236S018 ³			
19.7:1	(1.081)	(24.7)	(6.074)	(0.023)	(0.023)									

¹Caution: Peak Torque (Stall) is provided for the purpose of performance calculations only. Operation near, or at, a stalled condition will result in motor and/or gearhead damage.

²Caution: The gearhead will be damaged when operating at the Peak Torque.

³Unit supplied with ball bearing output shaft.

Note: All speed and torque ratings are specified at the Rated Voltage.

For winding characteristics of a specific Model and Winding Voltage, refer to the appropriate catalog data sheet.

Note: All encoders supplied with 20° lead wires.

Please contact your Pittman sales representative or the factory application engineering group for specific recommendations regarding gearhead applications.



Anexo 3. Código de programación

```

float recta (float y2, float y1, float x2, float x1, float
sensor);
floatminimo (float valor1, float valor2);
floatmaximo (float val1, float val2, float val3, float
val4);
float suma (float x_0,float x_1, float x_2, float x_3,
float x_4, float x_5, float x_6, float x_7, float x_8,
float x_9, float x_10, float x_11, float x_12, float
x_13, float x_14);

// Fin de declaración de variables de
conexión.//e_b1/e_m1/e_a1=entrada bajo,medio y
alto del ERROR
float e_b1,e_m1,e_a1;
//bajo1 , medio1,alto1 ---CONJUNTOS DIFUSOS
bit bajo1, media1, alto1;
//poco,moderado,abundante---SALIDAS DE LOS
CONJUNTOS DIFUSOS
bit poco, moderado, abundante;
// minr1,minr2,minr3---Salida de valores minimos
float minr1,minr2,minr3;
//max_pocos, max_moderados, max_abundantes---
Salida de valores Maximos
floatmax_poco, max_moderado, max_abundante;
//p0,m2,a9--- la p=pocos,la m=moderados, la
a=abundantes evaluados en dif. puntos
float p0_0,p0_5,p1_0,p1_5,m0_5,
m1_0,m1_5,m2_0,m2_5,m3_0,m3_5,m4_0,m4_5,m5
_0, m5_5,a4_5,a5_0,a5_5,a6_0,a6_5,a7_0;
//max en los puntos del 0 al 14
float
max0_0,max0_5,max1_0,max1_5,max2_0,max2_5,m
ax3_0,max3_5,max4_0,max4_5,max5_0,max5_5,ma
x6_0,max6_5,max7_0;
//numerador, denominador, resultado, salida---del
metodo CENTRO PROMEDIO
float numerador, denominador, resultado;
//Datos de entrada y Salida
floatsen_voltaje,PUNTO_DE_CONTROL;
//PUNTO_DE_CONTROL= 17.8 a man<21
float e0=0.0;
char texto[15];
//chartexto1[15];
intman , SENSOR; //lectura de LDR

//Declaración de constantes y variables.
const float Kp=0.00117294, Ki=0.0000004541408,
Kd=0.000005562, Fs =37.14697266;
const float Fi=ki/(2.0*Fs), Fd=2.0*Fs*Kd;
float YN=0.0;
unsigned short SALIDA;
//Variables provisionales para la función 'VOID
INTERRUPT()'
float e1=0.0, yi0=0.0, yi1=0.0, yd0=0.0, yd1=0.0,
ypid=0.0;
char contador=0,estado, estado1; //variables para giro
en retroceso

voidmain() {
PORTC=0x00; //Inicialización.
PORTA=0x00; // Inicialización del puerto A
ADCON1= 0b00000010; //AN0-AN4 como entradas
analógicas, resto ent. digitales
TRISA = 0b11111111; // PORTA is input

TRISC = 0b00000000;
NOT_RBPU_bit=0; //Habilitarlas pull-up.

PWM1_Init(5000);
PWM1_Start();
TOCON= 0b10000000;
INTCON=0b10100000;

do {
if (sen_voltaje>=14.4) RC0_bit=1; //Panel en
funcionamiento
if (sen_voltaje<14.4) RC0_bit=0;
if (RC3_bit==1 | RC4_bit==1) RC1_bit=1; //Motor
en movimiento
if (RC3_bit==0 & RC4_bit==0) RC1_bit=0;
if (man<=35 &sen_voltaje<14.0) RC5_bit=1;
//Error en el sistema
if (man >800 &sen_voltaje>16.1) RC5_bit=1;
if (man <=35 &sen_voltaje>15.1 ) RC5_bit=0;
if (e0 <=7.0 ) RC6_bit=1; //Sistema Fuzzy-PID en
funcionamiento
if (e0 >7.0 ) RC6_bit=0;
if (SALIDA<=1 & man<45){
if (SALIDA==0 &man<35){ //hay sol detengase
//estaba 20
PWM1_Set_Duty(0);
RC3_bit=0;
RC4_bit=0;
continue;
}

//if (SALIDA>250 &man>300){ //YA ES
DENOCHES O ESTA NUBLADO
if (SALIDA==255 &man>=390){
PWM1_Set_Duty(0); //detengase para
posteriormente volver a su posición
RC3_bit=0; //de recibir el sol para la
siguiente mañana
RC4_bit=0;
PWM1_Set_Duty(255); //pongase en
posición de Inicio de trabajo
RC3_bit=1;
RC4_bit=0;
if (RB7_bit==0 & RB6_bit==1){
PWM1_Set_Duty(0);
RC3_bit=0;
RC4_bit=0;
//Delay_ms(300);
}
continue;
}

//if (SALIDA> 250 &man<45){ //seguidor del sol
if (SALIDA== 255 & man<35){
if (RB7_bit==0 & RB6_bit==1){
estado1=1;
PWM1_Set_Duty(0); //RB7 Sensor de Inicio del
dia
RC3_bit=0;
RC4_bit=0;
PWM1_Set_Duty(255);
RC3_bit=0;
RC4_bit=1;
estado=0;

```

```

continue;
}
if (estado== 0 & RB7_bit==1 & RB6_bit==1){
PWM1_Set_Duty(255);
RC3_bit=0;
RC4_bit=1;
continue;
}
if (RB7_bit==1 & RB6_bit==0){ //llega al SENSOR
final del dia
estado=1; //RB6 Sensor de final de dia
PWM1_Set_Duty(0); //RB7 Sensor de Inicio del
dia
RC3_bit=0;
RC4_bit=0;
PWM1_Set_Duty(255);
RC3_bit=1;
RC4_bit=0;
estado1=0;
continue;
}
if (estado1==0 & RB7_bit==1 & RB6_bit==1){
PWM1_Set_Duty(255);
RC3_bit=1;
RC4_bit=0;
continue;
}
}

if (SALIDA== 255 & (36 <=man<= 389)){ //se fue
el sol
PWM1_Set_Duty(0); //pero existe
luminosidad
RC3_bit=0; //detengase hasta
detectar presencia de sol
RC4_bit=0; //o hasta que llegue la
noche
continue;
}
}while(1);
}

//Función de interrupciones para el Timer 0.
void interrupt()
{
if( TMR0IF_bit==1) //Interrupcion TMR0
habilitada// 6,5536ms :: 152,5878906 Hz
{
// lectura de LDR
man= ADC_Read(2);
//definición del set point
if (man <22){
PUNTO_DE_CONTROL= 17.5; //17.8
}
if (man>=22 ) {
PUNTO_DE_CONTROL= 16.3;
}

//Adquisición de la variable controlada.
SENSOR =(float)((ADC_Read(1)>>2)&0xFF);
sen_voltaje = (float)(SENSOR*0.0195);
//PENDIENTE ENTRE 5 vol. y 256
sen_voltaje*=5.0; //Vin= 5*Vx (div de voltaje)
//if (sen_voltaje>=21.0)sen_voltaje =21.0;
//Calculo del nivel de error.
e0 = PUNTO_DE_CONTROL - sen_voltaje;

//*****FUZZY*****//Fusi
ficación
//entrada Bajo
if(0.0< e0 <=5.0){
e_b1= recta (0.0 , 1.0, 5.0 , 0.0, e0);
}

//Entrada Medio
if(1.5 <= e0 <3.0){
e_m1= recta (1.0 , 0.0, 3.0 , 1.5, e0);
}

if(3.0 <=e0 <9.0){
e_m1= recta (1.0 , 1.0, 9.0 , 3.0, e0);
}
if(9.0 <= e0 <=10.5){
e_m1= recta (0.0 , 1.0, 10.5 , 9.0, e0);
}

//Entrada Alto
if(6.5 <= e0 <13.0){
e_a1= recta (1.0 , 0.0, 13.0 , 6.5, e0);
}
//*****INFERENCIAS conjuntos
difusos****
//inferencia del ERROR
if (0.0 <= e0<=5.0) {
bajo1=1;
}
if (1.5 <= e0<=10.5) {
media1=1;
}
if (6.5 <= e0<=13.0) {
alto1=1;
}

//*****REGLAS
FAM*****
//regla 1
if (bajo1==1 ) {
poco=1;
}
//regla 2
if (media1==1 ) {
moderado=1;
}
//regla 3
if (alto1==1 ) {
abundante=1;
}
//*****MINIMOS PARA LAS REGLAS
FAM*****
//minimo regla 1
minr1= e_b1;
//minimo regla 2
minr2= e_m1;
//minimo regla 3
minr3= e_a1;

//*****MAXIMOS*****
//Salida de pocos que se activa en la FAM
if (poco==1){
max_poco = minr1;
}
//Salida de Moderados que se activa en la FAM

```

```

if (moderado==1){
max_moderado= minr2;
}
//Salida de Abundantes que se activa en la regla
FAM
if (abundante==1){
max_abundante= minr3;
}

//*****SALIDAS*****
//pocos evaluado en 0.0
if (poco==1){
p0_0= recta(0.0, 1.0, 1.5, 0.0, 0.0) ;
}
//pocos evaluado en 0.5
if (poco==1){
p0_5= recta(0.0, 1.0, 1.5, 0.0, 0.5) ;
}
//pocos evaluado en 1.0
if (poco==1){
p1_0= recta(0.0, 1.0, 1.5, 0.0, 1.0) ;
}
//pocos evaluado en 1.5
if (poco==1){
p1_5= recta(0.0, 1.0, 1.5, 0.0, 1.5) ;
}

//moderados evaluado en 0.5
if (moderado==1){
m0_5= recta(1.0, 0.0, 1.0, 0.0, 0.5) ;
}

//moderados evaluado en 1.0
if (moderado==1){
m1_0= recta(1.0, 0.0, 1.0, 0.0, 1.0) ;
}
//moderados evaluado en 1.5
if (moderado==1){
m1_5= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,1.5) ;
}
//moderados evaluado en 2.0
if (moderado==1){
m2_0= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,2.0) ;
}
//moderados evaluado en 2.5
if (moderado==1){
m2_5= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,2.5) ;
}
//moderados evaluado en 3.0
if (moderado==1){
m3_0= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,3.0) ;
}
//moderados evaluado en 3.5
if (moderado==1){
m3_5= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,3.5) ;
}
//moderados evaluado en 4.0
if (moderado==1){
m4_0= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,4.0) ;
}
//moderados evaluado en 4.5
if (moderado==1){
m4_5= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,4.5) ;
}
//moderados evaluado en 5.0
if (moderado==1){
m5_0= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,5.0) ;
}

}
//moderados evaluado en 5.5
if (moderado==1){
m5_5= recta(1.0, 1.0, 5.5, 1.0,5.5) ;
}
}
//moderados evaluado en 6.0
if (moderado==1){
m6_0= recta(0.0, 1.0, 6.0, 5.5, 6.0) ;
}
}
//abundantes evaluado en 4.5
if (abundante==1){
a4_5= recta(1.0, 0.0, 7.0, 4.5, 4.5) ;
}
}
//abundantes evaluado en 5.0
if (abundante==1){
a5_0= recta(1.0, 0.0, 7.0, 4.5, 5.0) ;
}
}
//abundantes evaluado en 5.5
if (abundante==1){
a5_5= recta(1.0, 0.0, 7.0, 4.5, 5.5) ;
}
}
//abundantes evaluado en 6.0
if (abundante==1){
a6_0= recta(1.0, 0.0, 7.0, 4.5, 6.0) ;
}
}
//abundantes evaluado en 6.5
if (abundante==1){
a6_5= recta(1.0, 0.0, 7.0, 4.5, 6.5) ;
}
}
//abundantes evaluado en 7.0
if (abundante==1){
a7_0= recta(1.0, 0.0, 7.0, 4.5, 7.0) ;
}
}

//*****MAXIMO DE SALIDAS
max0_0= maximo (p0_0,0.0 ,max_poco,0.0) ;
//maximo evaluado en 0.5
max0_5= maximo (p0_5,m0_5
,max_poco,max_moderado) ;
//maximo evaluado en 1.0
max1_0= maximo (p1_0, m1_0
,max_poco,max_moderado) ;
//maximo evaluado en 1.5
max1_5= maximo (p1_5, m1_5
,max_poco,max_moderado) ;
//maximo evaluado en 2.0
max2_0= maximo (0.0, m2_0 ,0.0,max_moderado
);
//maximo evaluado en 2.5
max2_5= maximo (m2_5, 0.0,max_moderado,0.0) ;
//maximo evaluado en 3.0
max3_0= maximo (m3_0, 0.0,max_moderado,0.0) ;
//maximo evaluado en 3.5
max3_5= maximo (m3_5, 0.0,max_moderado,0.0) ;
//maximo evaluado en 4.0
max4_0= maximo (m4_0, 0.0,max_moderado,0.0) ;
//maximo evaluado en 4.5
max4_5= maximo (m4_5,
a4_5,max_moderado,max_abundante) ;
//maximo evaluado en 5.0
max5_0= maximo (m5_0, a5_0,max_moderado,
max_abundante) ;
//maximo evaluado en 5.5
max5_5= maximo (m5_5, a5_5,max_moderado,
max_abundante) ;
//maximo evaluado en 6.0

```

```

max6_0= maximo (0.0, a6_0,0.0, max_abundante
);
//maximo evaluado en 6.5
max6_5= maximo (0.0, a6_5,0.0, max_abundante );
//maximo evaluado en 7.0
max7_0= maximo (0.0, 7.0,0.0, max_abundante );

//*****CENTRO PROMEDIO*****
numerador=
suma(max0_0,max0_5,max1_0,max1_5,max2_0,max
2_5,max3_0,max3_5,max4_0,max4_5,max5_0,max5
_5,max6_0,max6_5,max7_0);
//denominador no se realizo una funcion x facilidad
denominador= max0_0 +max0_5 + max1_0
+max1_5 +max2_0 +max2_5 +max3_0 +max3_5
+max4_0 +max4_5 +max5_0 +max5_5 +max6_0
+max6_5 +max7_0;
resultado= numerador/denominador;
if (resultado<=0.7) resultado=0.0;

//PID
//Ecuación en diferencias.
//Ecuación integral.
yi0=Fi*(resultado+e1)+yi1;
//Ecuación derivativa.
yd0=Fd*(resultado-e1)-yd1;
//Resultado PID.
ypid=(Kp*resultado)+yi0+yd0;
//Ajuste y corrección de la SALIDA Y(n)
//delimitada por los límites 0 y 255.
YN += ypid;
if(YN>=255.0)YN=255.0;
if(YN<=0.0)YN=0.0;
if(resultado<=0.0) YN=0.0;
SALIDA = (unsigned short)(YN);

//Actualización de muestras.
e1= resultado;
yi1=yi0;
yd1=yd0;
}
TMR0IF_bit=0; //Borra la bandera de interrupción
}
//***** Funcion para la recta **

```

```

float recta (float y2, float y1, float x2, float x1, float
sensor)
{
float uy1;
uy1=((y2 - y1)/(x2 - x1))*(sensor - x1) + y1 ;
return uy1 ;
}
//***Funcion para encontrar el minimo valor**
floatminimo (float valor1, float valor2)
{
float min;
if (valor1<=valor2){
min= valor1;
}
else{
min= valor2;
}
return min ;
}
//*Funcion para encontrar el maximo valor*****
floatmaximo (float val1, float val2, float val3, float
val4)
{
float max, tem1, tem2;
if (val1>=val2) tem1= val1;
if (val2>=val1) tem1= val2;
if (val3>=val4) tem2= val3;
if (val4>=val3) tem2= val4;
if (tem1>=tem2) max= tem1;
if (tem2>=tem1) max= tem2;
returnmax ;
}
//*****Funcionmaximo en el
numerador*****
float suma (float x_0,float x_1, float x_2, float x_3,
float x_4, float x_5, float x_6, float x_7, float x_8,
float x_9, float x_10, float x_11, float x_12, float
x_13, float x_14)
{
floatndor;
ndor= x_0*0.0 + x_1*0.5 + x_2*1.0 + x_3*1.5 +
x_4*2.0 + x_5*2.5 + x_6*3.0 + x_7*3.5 +x_8*4.0 +
x_9*4.5 + x_10*5.0 + x_11*5.5 + x_12*6.0 +
x_13*6.5 + x_14*7.0;
returnndor;
}
}

```

Anexo 4. Convertidor dc-ac (inversor)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

ENTRADA

Tensión: 12 V_{DC}

Corriente: 0,45 A

Descarga de acumulador sin carga: < 0,45 A (con entrada de 12 V)

Punto de auto-apagado por carga baja del acumulador (nominal) 10 V_{DC}

Punto de auto-apagado por carga alta del acumulador (nominal) 15,5 V_{DC}

Fusible deslizante de 10 A

SALIDA

Tensión: 120 V_{AC}

Frecuencia: 60 Hz

Potencia: 100 W

Potencia pico: 215 W

Puerto USB salida

Tensión: 5 V_{DC}

Corriente: 500 mA

Forma de onda: Onda senoidal modificada.

Para poder cumplir con un desempeño seguro el convertidor debe instalarse y usarse de manera adecuada. Lea y siga con cuidado las instrucciones de este instructivo poniendo especial atención a las notas de **PRECAUCIÓN** y **ADVERTENCIA**.

PRECAUCIÓN: Información importante acerca de lo que puede dañar su convertidor o al equipo conectado a él.

ADVERTENCIA: Información importante acerca de lo que puede ocasionar daño personal o muerte.

ADVERTENCIA: Peligro de choque eléctrico. Manténgase alejado de los niños.

ADVERTENCIA: El convertidor produce, con su potencial peligro, la misma energía de corriente alterna que los tomacorrientes de uso doméstico. Considere el convertidor como a cualquier tomacorriente de corriente alterna.

ADVERTENCIA: Puede ocurrir que el convertidor se caliente durante la operación con energía que llegue a los 60 °C (140 °F). Mantenga todo el tiempo el convertidor en un área de por lo menos 5 cm (2") de espacio despejado. Durante su uso no ponga cerca objetos susceptibles al calor.

ADVERTENCIA: No use la unidad en donde esté el depósito de gasolina de una lancha rápida, cerca de tanques de gas propano o de gases y vapores inflamables.

ADVERTENCIA: No use la unidad en áreas cerradas donde haya acumuladores de plomo ya que este tipo de acumulador emite gas de hidrógeno explosivo que puede encenderse con una chispa.

ADVERTENCIA: Haga primero todas las conexiones de corriente alterna antes de hacer las de corriente directa ya que los componentes construidos dentro del convertidor se pueden activar y dar toques eléctricos.

PRECAUCIÓN: No conecte la unidad a circuitos de corriente alterna ya que se puede dañar el convertidor. No conecte al convertidor ningún dispositivo de corriente alterna que tenga el conductor neutro conectado a tierra.

Algunos cargadores de baterías de níquel-cadmio pueden dañarse si se conectan a la unidad.

No use el convertidor en los siguientes artículos:

Dispositivos pequeños operados por baterías como lámparas de mano, máquinas de rasurar o lámparas para la noche. Estos pueden ser conectados directamente al tomacorriente de corriente alterna para ser recargados.

Algunos cargadores para paquetes de baterías que se utilizan en las herramientas eléctricas de mano. Estos cargadores tienen una advertencia que indica que existe una tensión peligrosa en las terminales de las baterías.

PRECAUCIÓN: Conecte el convertidor en tomas de corriente de vehículos equipados con acumuladores con salida de 12 V de corriente directa. Las baterías de 6 V no suministran suficiente tensión y las de 24 V suministran demasiada tensión y pueden dañar el convertidor.

MEDIDAS ADICIONALES DE SEGURIDAD.

No introduzca objetos extraños dentro de las salidas, ventiladores o ventilas del convertidor.

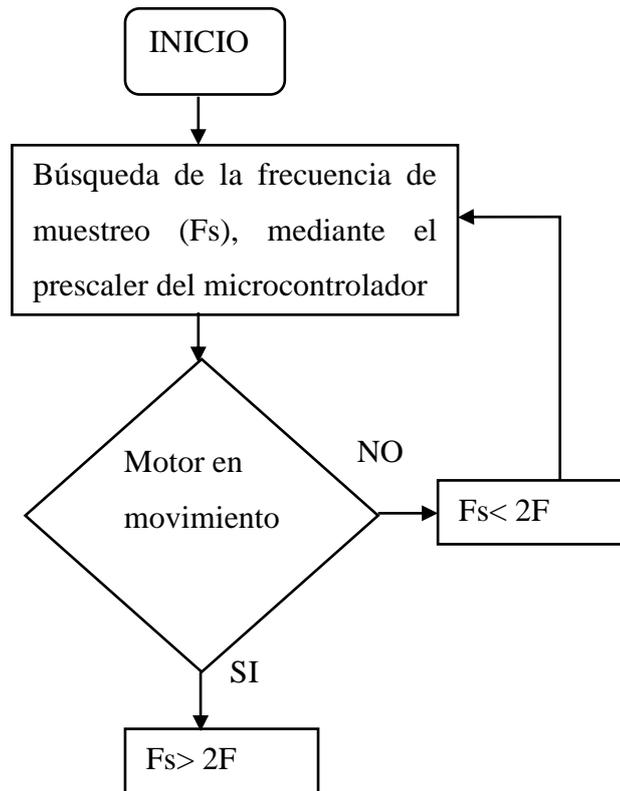
No exponga la unidad a la lluvia, agua o cualquier otro líquido.

No conecte el convertidor a ningún sistema de distribución eléctrica o ramal.

No use el convertidor en temperaturas superiores a 40 °C (104 °F) o menores de 0 °C (32 °F).

No seguir estas medidas de seguridad puede ocasionar daño personal y/o daño a la unidad. También anula la garantía.

Anexo 5. Obtención de la frecuencia de muestreo de forma experimental



Donde:

Fs= Frecuencia de muestreo

F= Frecuencia del sistema

Velocidad del motor: 1000 rpm

$$\omega_{\text{Motor}} = \frac{1000 \text{ rpm}}{5,9} = \frac{169,5 \text{ rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$\omega_{\text{Motor}} = 17,74 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$\omega_{\text{Muestreo}} > 2 \omega_{\text{Motor}}$ (Criterio de Nyquist)

$$\omega_{\text{Muestreo}} > 2 \left(17,74 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$\omega_{\text{Muestreo}} > 35,48 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

De manera experimental se obtuvo una frecuencia de muestreo de 38,14697266 Hz, que es mayor a la frecuencia del sistema la cual es 35,48 Hz.