



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS
CARRERA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE:**

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA DE PROYECTO TÉCNICO:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RESPALDO
FOTOVOLTAICO CON POSICIONAMIENTO DE UN GRADO DE
LIBERTAD, PARA LA ILUMINACIÓN DEL DEPARTAMENTO DE
LOGÍSTICA DEL CAMPAMENTO DE LA EMPRESA TELCONET S.A.
SEDE GUAYAQUIL.”**

AUTOR:

CARLOS ALBERTO GUEVARA PERALTA

TUTOR:

ING. LUIS NEIRA CLEMENTE

GUAYAQUIL, NOVIEMBRE 2016

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Carlos Alberto Guevara Peralta con número cedula de identidad 0925831570, declaro todos los conceptos desarrollados, análisis realizados, resultados y conclusiones del presente trabajo de titulación es responsabilidad del autor, y es propiedad intelectual de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

Guayaquil, Noviembre 2016

(f)_____

Carlos Alberto Guevara Peralta

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Carlos Alberto Guevara Peralta con número cedula de identidad 0925831570, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Politécnica Salesiana los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, en calidad de autor de trabajo de titulación proyecto técnico denominado “Diseño e implementación de un sistema de respaldo fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de Logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato impreso y digital en la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, Noviembre 2016

(f)_____

Carlos Alberto Guevara Peralta

C.I. 0925831570

CERTIFICACIÓN

En calidad de Tutor del trabajo de titulación proyecto técnico “Diseño e implementación de un sistema de respaldo fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de Logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil”, presentado por el señor Carlos Alberto Guevara Peralta, para optar por el título de Ingeniero Electrónico, certifico que el mencionado proyecto fue realizado bajo mi dirección.

(f)_____

Ing. Luis Neira Clemente

TUTOR

DEDICATORIA

Dando siempre gracias a Dios en todo momento porque nos presta vida día a día y nos bendice en gran manera, para así cumplir con la meta y logros.

Dedicando al proyecto de titulación a mis queridos padres Ing. Carlos Alberto Guevara y Tnlga. Joice Peralta por ser pilares fundamentales, quienes con sus consejos supieron guiarme a lo largo de mi carrera profesional.

A mi esposa Diana Zúñiga que con su amor y apoyo no desmayó, agradecido por estar a mi lado y mis hijos Dayanna Solange y Carlos Alberto que son el regalo más grande y apreciado que Dios me ha dado y por ellos es mi motor en mi diario vivir.

A mis seis hermanos ya que siempre estuvieron ahí, por dar el ejemplo, ser un guía y que me dieron apoyo y no dejándome vencer por los obstáculos que se presente en el camino, gracias por la paciencia brindada.

A mis familiares, amigos, compañeros, a este proyecto va dedicado para todos ustedes.

Carlos Alberto Guevara Peralta

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por su infinito amor y misericordia, por su bondad y por ser guía a nuestro diario vivir y por permitirme culminar esta etapa de estudios.

Un agradecimiento especial al Ing. Tomislav Topic, Gerente General de Telconet S.A. por su confianza y haberme permitido realizar la implementación y desarrollo de este proyecto bajo su aprobación.

Al Ing. Luis Neira, tutor del proyecto técnico por su atención y constante apoyo, por la recomendación y aportación durante el desarrollo del proyecto.

A mis padres, por su gran apoyo incondicional, hermanos, esposa e hijos, a mis compañeros y docentes de Universidad quienes aportaron conocimiento para la realización de este proyecto.

Carlos Alberto Guevara Peralta

RESUMEN

AÑO	TÍTULO	ALUMNO	TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	TEMA TRABAJO DE TITULACIÓN
2016	Ingeniero Electrónico	Carlos Alberto Guevara Peralta	Ing. Luis Neira	“Diseño e implementación de un sistema de respaldo fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de Logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil”

El presente proyecto técnico, contiene el “Diseño e implementación de un sistema de respaldo fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de Logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil”, está basado en la generación de energía eléctrica por medio de un sistema fotovoltaico, el cual representa un ahorro de energía y conserva el medio ambiente, ya que no contamina.

El sistema se encarga de recolectar energía proveniente del sol, se basa a través de un panel solar y es almacenada en una batería, luego convertida a tensión alterna para alimentar equipos de baja cargas y las luminarias instalados en el departamento. Este sistema consta con su respectivo sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos SCADA que permite controlar y monitorear mediante un PLC y una pantalla táctil los datos para el posicionamiento del panel solar y de las luminarias.

Este sistema tiene un control de posicionamiento automático, permitiendo que la radiación solar incida perpendicularmente al panel fotovoltaico durante el día. Las LDRs captan la radiación del sol y están colocadas a un costado del panel solar. Por medio del PLC, la variación del diferencial de voltaje de las LDRs es leída y procesada en forma automática por un control PI, que envía pulsos a un motor 24VDC

que está acoplado en el eje del panel solar, mismo da movimiento giratorio en sentido Este y Oeste y viceversa haciendo cambios de giros al panel solar.

El Potenciómetro está ubicado en el eje del panel solar, el cual representa la posición del panel solar y es visualizado por el touch panel o PC.

Con los datos técnicos del sistema fotovoltaico se dio uso de:

- Panel solar.
- Controlador de carga.
- Inversor de voltaje.
- Eficiencia de cargas.
- Batería tipo AGM

En el desarrollo de la programación del Controlador Lógico Programable Xinje con control PI para la adquisición de datos y posicionamiento del panel solar se utilizó:

- LDRs.
- Lectura del potenciómetro.

Palabras Claves:

Fotovoltaico, Panel Solar, Sensores, Sistema de Respaldo, PLC, Luminarias, Control PI.

ABSTRACT

YEAR	DEGREE	STUDENT	TUTOR WORKING TITLE	JOB TITLE THEME
2016	Electronics Engineer	Carlos Alberto Guevara Peralta	Ing. Luis Neira	“Design and implementation of a photovoltaic system with positioning back a degree of freedom, for the lighting of the logistics department of the company camp Telconet S.A. Guayaquil headquarters”

This technical project, contains the "Design and implementation of a photovoltaic system with positioning support a degree of freedom, for lighting department Logistics Company Telconet camp S.A. Guayaquil headquarters ", is based on the generation of electricity through a photovoltaic system, which saves energy and conserves the environment because it does not pollute.

The system is responsible for collecting energy from the sun through a solar panel, one that connects and is stored in a battery and then converted to the working voltage Luminaires installed in the department.

This system consists of its respective system Supervisory Control and Data Acquisition SCADA that allows control and monitoring through PLC and data for positioning the solar panel and luminaire touch screen.

This system has an automatic positioning control, allowing impinging solar radiation perpendicularly to the photovoltaic panel during the day.

The LDRs are captured by the sun's radiation and are placed on one side of the solar panel, through the PLC, the change in the differential voltage of the LDRs is read and processed automatically for PI control, a 24VDC motor is coupled to the shaft of the solar panel, it gives rotational movement in the direction east and west and vice versa turns making changes to the solar panel.

The potentiometer is located on the axis of the solar panel, which represents the position of the solar panel and is displayed by the touch panel or PC.

With the technical data of the photovoltaic system using it occurred:

- Solar panel.
- Charges controller.
- Voltaje inverter.
- Load efficiency.
- Battery type AGM

For the development of programming Programmable Logic Controller Xinje with PI control for data acquisition and positioning the solar panel is used:

- The LDRs.
- Reading the potentiometer.

Keywords:

Photovoltaic, Solar Panel, Sensors, Backup System, PLC, Luminaires, PI control.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	II
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE GENERAL.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
INTRODUCCIÓN	1
EL PROBLEMA	2
Descripción del Problema	2
Delimitación del Problema.....	3
Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos.....	5
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
Antecedentes	6
Recurso solar.....	8
Energía Solar Fotovoltaico.....	9
Tipos Paneles solares.	11
Sistemas solares fotovoltaicos aislados en corriente alterna.....	12
Sistema de seguimiento solar.	12
Fotorresistencias.....	14
Regulador de carga.....	14
Baterías para sistemas fotovoltaicos.	16
Inversor de Voltaje.....	18
Fuente de Alimentación Conmutada.....	19

Controlador PID.....	21
MARCO METODOLÓGICO	24
Métodos.....	24
Técnicas.....	24
Instrumentos de Investigación y recopilación de datos.....	25
Variables e Indicadores	25
Población y Muestra.....	25
Población.....	25
Muestra.....	26
Beneficiarios	26
IMPACTO.....	26
RESULTADOS.....	28
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	28
Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico.....	29
Irradiación solar	30
Diseño y cálculos del sistema fotovoltaico	32
Diseño mecánico	36
Estructura	36
Partes de la Estructura.....	37
Chumaceras	37
Motor reductor	38
Caja Reductora	38
Acople caja reductora al eje del panel solar.....	39
Acople motor reductor a la caja reductor.....	39
Acople potenciómetro al eje del panel solar	40
Instalación de la Estructura	40
Diseño del Control eléctrico.....	41
Diagrama de Conexiones de las LDRs.....	44
Diagrama de convertidor de voltaje	44
PLC Xinje y Tarjeta analógica.....	45
Touch panel TH465-UT HMI Xinje TouchWin	46
Relé 24VDC.....	48
Fuente Conmutada 24VDC	48

Microswicth	48
Ubicación actual del Sistema Fotovoltaico.	49
CONTROL Y MONITOREO	50
Identificación de Variables	50
Variables de Salidas	50
Variables de Entrada	50
Lectura de Datos	51
Diseño del software para el sistema de control	52
Programación Software del PLC.....	52
Programa de control	54
CONTROL PI	57
Programación del Panel Touch	65
ANÁLISIS DE RESULTADOS	69
Pruebas de Posicionamiento.....	69
Pruebas de Voltaje del Panel.....	71
Pruebas de Alimentación.....	71
Pruebas del PLC Xinje XCE 24RT	72
Pruebas de salidas digitales del PLC.....	72
Pruebas de funcionamiento de control PI.....	73
Pruebas generales de operación MAN. /AUT.....	76
Resultados Obtenidos.....	77
CONCLUSIONES.....	80
RECOMENDACIONES.....	81
BIBLIOGRAFÍA.....	82
CRONOGRAMA	85
PRESUPUESTO.....	87
ACRÓNIMOS	89
GLOSARIO	90
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Captadores de Energías: energía solar y energía eólica.....	7
Figura 2. Energía solar fotovoltaica.	7
Figura 3. Radiación directa, difusa.	9
Figura 4. Energía Solar	10
Figura 5. Panel fotovoltaico monocristalinos y policristalinos.....	11
Figura 6. Energía solar fotovoltaica corriente alterna.....	12
Figura 7. LDR	14
Figura 8. Reguladores de Voltaje.....	16
Figura 9. Batería Solar de plomo tipo AGM.....	18
Figura 10. Inversor de Voltaje DC a AC.....	19
Figura 11. Fuente Conmutada	20
Figura 12. PID.....	22
Figura 13. Diagrama de bloque PID	22
Figura 14. Lazo cerrado solo con ganancia proporcional	23
Figura 15. Bosquejo de control del posicionamiento del panel fotovoltaico.....	28
Figura 16. Sistema Fotovoltaico para un grado de libertad.	29
Figura 17. Parámetros lugar geográfico, captura programa PVsyst V4.37.....	31
Figura 18. Parámetros lugar geográfico en coordenadas ciudad Guayaquil, captura programa PVsyst V4.37	31
Figura 19. Trayectoria solar en Guayaquil, captura programa PVsyst V4.37	32
Figura 20. Lámina Plano eléctrico del Departamento Logística.....	33
Figura 21. Dato técnico del panel solar 150W 12VDC 8.34A.....	34
Figura 22. Regulador de Carga Phocos CML20A.	35
Figura 23. Batería High Rate Range HR-12120	35
Figura 24. Inversor EVL 400W	36
Figura 25. Estructura del seguidor solar.	37
Figura 26. Chumaceras de 3/4 pulgada.	37
Figura 27. Motor reductor 24VDC.....	38
Figura 28. Caja reductora.....	38
Figura 29. Acople base caja por medio de chumaceras y el eje del panel solar.	39
Figura 30. Acople entre la caja reductora y el motor DC.	39
Figura 31. Acople potenciómetro con el eje del panel solar.	40
Figura 32. Estructura del Panel solar.	41

Figura 33. Realizando conexiones en el tablero de control.	42
Figura 34. Tablero de Control.....	42
Figura 35. Esquema circuito de LDRs	44
Figura 36. Circuito de regulador de 10 VDC	44
Figura 37. PLC XC3 24RTE y Tarjeta analógica XC 2AD2DA BD.....	45
Figura 38. Entradas y Salidas del PLC Xinje.....	46
Figura 39. Touch panel TH-465 Xinje	47
Figura 40. Relé 24VDC	48
Figura 41. Fuente de poder 24VDC 5A	48
Figura 42. Microswitch	49
Figura 43. Ubicación final del Sistema Fotovoltaico.....	49
Figura 44. Reconocimiento de las entradas analógicas al PLC	51
Figura 45. Relación entre la entrada analógica y la transformación datos digital	51
Figura 46. Ventana de inicio del software XCPPro series Tool V3.3.....	52
Figura 47. Ventana de selección de la tarjeta analógica	53
Figura 48. Lista de Variables programado al PLC.....	53
Figura 49. Límites de posición movimiento del panel.....	54
Figura 50. Programación Manual.....	55
Figura 51. Programación automático	55
Figura 52. Programación de salidas del PLC para movimiento del panel solar.	56
Figura 53. Encendido y apagado de las Luminarias	56
Figura 54. Conversión manual aritmética.	57
Figura 55. Controlador PID	58
Figura 56. Curva de control PID.....	60
Figura 57. Gráfico PID.....	60
Figura 58. Diagrama de Bloque del Sistema Fotovoltaico de un grado de libertad... 61	
Figura 59. Selección del control PI.....	62
Figura 60. Configuración de parámetros del controlador PID.....	63
Figura 61. Bloque PID modo manual	64
Figura 62. Programación del control PID	64
Figura 63. Activación de la salida PI Y111	64
Figura 64. Selección y Ventana de inicio del Touch Panel.....	65
Figura 65. Pantalla de Información y Menú.....	66
Figura 66. Pantalla de Salida y Entrada digital	66

Figura 67. Pantalla Entrada Analógica y Modo Manual/Auto.....	67
Figura 68. Pantalla de Posición del Panel y gráfico control PI.....	68
Figura 69. Panel Solar con Orientación Este (6:00 am – 10:00 am).....	69
Figura 70. Panel solar en estado horizontal (11:20 am – 13:15 pm).....	70
Figura 71. Panel Solar con orientación Oeste (15:10 pm – 17:40 pm).....	70
Figura 72. Prueba de voltaje del panel solar	71
Figura 73. Pruebas de Alimentación 1	71
Figura 74. Pruebas de Alimentación 2	72
Figura 75. Comunicación PLC con pantalla táctil	72
Figura 76. Pruebas salidas digitales	72
Figura 77. Resultado del control PI.....	73
Figura 78. Control PID tuner.	74
Figura 79. Entrada control PI.....	75
Figura 80. Funcionamiento de control PI.....	75
Figura 81. Gráficos control PI.....	76
Figura 82. Lectura en modo manual	76
Figura 83. Lectura de LDRs en modo automático	77
Figura 84. Diferencias entre un panel fijo y panel seguidor solar	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Promedio de radiación solar en Ecuador.....	8
Tabla 2. Método de Ziegler and Nichols.....	23
Tabla 3. Determinación de cargas.....	33
Tabla 4. Selección de panel solar y baterías.	34
Tabla 5. Característica técnica del PLC Xinje	45
Tabla 6. Característica técnica de la tarjeta analógica 2AD2DA.....	46
Tabla 7. Datos Técnicos del Touch panel TH-465 Xinje.....	47
Tabla 8. Valores PID recomendado por el Fabricante.	58
Tabla 9. Valores Asignados en el controlador PID.....	59
Tabla 10. Análisis de los Resultados Obtenidos	78
Tabla 11. Cronograma del Proyecto Técnico 1.....	85
Tabla 12. Cronograma del Proyecto Técnico 2.....	86
Tabla 13. Listado de Materiales 1	87
Tabla 14. Listado de Materiales 2	88

INTRODUCCIÓN

Los distintos acontecimientos que ocurre en el planeta como la contaminación ambiental, el calentamiento global, el consumo energético, ha motivado a utilizar fuentes de energías renovables como la energía solar, energía eólica, energía biomasa, las cuales tienen gran importancia a nivel mundial ya que no contamina el medio ambiente, permitiendo obtener energía limpia, eficiente y silenciosa.

En este proyecto se implementó un sistema fotovoltaico, capaz de controlar y generar energía suficiente para mantener cargada una batería, y con un inversor de voltaje alimentar a cinco focos ahorradores y a un tomacorriente en el departamento de logística, el cual entra a funcionar en el momento de existir un corte de energía.

El presente proyecto se describe el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de Logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil, detallando el lugar donde se plantea la solución y análisis de resultados, distribuidos de la siguiente manera:

Se analizó el problema a resolver, delimitaciones temporales, espaciales y académicas, se desarrolla los objetivos alcanzados al culminar el proyecto, y la metodología aplicada.

Se muestra el estado de arte, antecedentes, marco teórico y materiales a utilizar para el proyecto.

Se realiza el diseño e implementación de la estructura para el sistema fotovoltaico, sus partes y piezas.

Se detalla el control y monitoreo donde se define las variables controlado por el PLC con control PI y visualizado de un touch panel.

Se presenta las pruebas, análisis de resultados y se indica las conclusiones y recomendaciones obtenidas del proyecto realizado.

EL PROBLEMA

Descripción del Problema

Antecedentes

En el campamento de la empresa Telconet S.A. no existía un sistema de respaldo que suministre energía a las oficinas cuando ocurra un corte energético. Una alternativa era utilizar un generador móvil para suministrar energía al departamento, pero esto representaba costos por mantenimiento y contaminación el medio ambiente ya que genera ruido y libera gas contaminante. Por tal razón, hay otra alternativa que ayuda al medio ambiente, es la energía solar fotovoltaica, que es una forma de obtener electricidad por medio de paneles solares fotovoltaicos, gracias a la recepción de rayos solares podemos obtener una energía verde, limpia, que no contamina el ambiente.

De esta forma incrementa la expectativa, la motivación e interés en desarrollar el proyecto.

Importancia y Alcances

Importancia

La propuesta del proyecto es motivar la importancia del uso de las energías renovables basado en energía solar fotovoltaica, energías limpias, sin contaminante, que ayuden con el medio ambiente y su ecosistema, además de usar elementos eficientes como los focos ahorradores o los leds, ya que los focos incandescentes están formados de materiales tóxicos y tienen mayor consumo.

Con el posicionamiento automático de un grado de libertad se pretende que la radiación solar incida de forma perpendicular al panel solar mejorando la eficiencia del sistema. La energía almacenada puede ser utilizada cuando se produzca un corte energético y así evitar que el departamento esté sin iluminación.

Alcance

El proyecto técnico, titulado “Diseño e implementación de un sistema de respaldo fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de Logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil”, se implementó el sistema fotovoltaico, utilizando un panel solar de 150 Watt, donde recepta la radiación solar, y es almacenada en una batería tipo AGM de 12VDC 120Ah, un inversor de voltaje con entrada de 12VDC y salida 110VAC para dar servicio en casos emergentes cuando se produzca un corte de energía, suministrando tensión a las luminarias del departamento de logística durante un tiempo determinado.

Este sistema consta con el Controlador Lógico Programable Xinje con control PI para el posicionamiento del panel fotovoltaico que seguirá la trayectoria del sol y el sistema es monitoreado por un touch panel TH465.

Delimitación del Problema

Temporal:

El presente proyecto técnico tuvo una duración de 15 meses a partir de la aprobación del plan incluyendo la evaluación.

Espacial:

El proyecto fue implementado en el departamento de logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil ubicado en Km 30.5 Vía Perimetral.

Académica:

Esta implementación del sistema fotovoltaico permite consolidar los conocimientos adquiridos en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil de una manera práctica, relacionados a las materias de especialización de la carrera de Ingeniería Electrónica tales como Instrumentación, Sensores, Electrónica de Potencia, Teoría de Control, Automatización Industrial I y II, Energía y medio Ambiente, entre otras.

El presente proyecto técnico se diseña e implementa con su estructura y su sistema de control de posicionamiento de un panel solar de 150W que almacena la energía

obtenida de la ganancia del sistema en una batería tipo AGM de 120AH12V permitiendo mantener el sistema de respaldo energético, suministrando energía de 340Wh/día y de potencia 260W.

Para la implementación del sistema fotovoltaico se utilizó un PLC Xinje con su tarjeta analógica para la adquisición de datos, un touch panel para la operación y monitoreo, un arreglo de foto resistencias para detectar la posición del panel con respecto al sol, un inversor, un regulador de voltaje, un motor 24VDC, componentes electrónicos, eléctricos y otros elementos necesarios para el armado del sistema.

Explicación del Problema

La falta de un sistema de respaldo energético para las luminarias en el departamento logística en campamento Telconet se desarrolla la afectividad en el proyecto. Durante un corte de energía, el departamento queda en oscuridad, por esto se realiza la implementación de un sistema fotovoltaico, usando energías renovables que ayuden con el medio ambiente.

Con lo anterior descrito, se formula la siguiente pregunta:

- ¿Cómo debería diseñarse para que cumpla con lo requerido y para el software que tipo de control debería usar para que el sistema se establezca?
- Una vez implementado el sistema fotovoltaico; ¿Qué datos son necesarios para comprobar el estado de validez del sistema de posicionamiento?

Objetivos

Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de Logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar la estructura metalmecánica del panel fotovoltaico.
- Analizar el comportamiento de adquisición y lectura de datos para controlar el movimiento del panel solar.
- Diseñar, implementar e instalar circuitos con sensores tipo LDRs para el control de posición del panel solar.
- Configurar y programar en Controlador Lógico Programable Xinje para monitorear y supervisar el estado del panel solar.
- Diseñar, implementar e instalar equipos de control y almacenamiento para el sistema de respaldo de iluminación, mediante la energía solar en el departamento de logística del campamento de Telconet S.A.
- Realizar un control PI para activar de forma automática la posición del panel solar con respecto al sol.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Antecedentes

En esta sección se presenta una introducción a las energías renovables no convencionales. Este tipo de energías se caracterizan por el hecho de poder transformarse y no agotarse en ningún momento, permitiendo así que estas sean útiles y puedan generar energías limpias que no contaminen el medio ambiente.

Podemos encontrar diferentes tipos de energías renovables no convencionales, como las que vamos a citar a continuación:

Energía Eólica: Se utiliza en zonas rurales para la generación de todo tipo de energía eléctrica a través del uso de aerogeneradores. (Erenovable, 2015).

Energía de Biomasa: Generalmente es utilizada para dar servicios de calefacción en residencias. Se aprovecha de residuos energéticos que son capaces de inyectar energía a las plantas a través de ciclos térmicos con combustible de residuos forestales generando así vapor para su funcionamiento. (Erenovable, 2015).

Energía Solar Térmica: Es un tipo de energía renovable que tiene como fuente principal el aprovechar el sol para la producción de alimentos o para la calefacción así como el uso de agua caliente. Está ideada para uso residencial como forma de aprovechar las energías naturales renovables.

Energía Solar Fotovoltaica: Es capaz de producir electricidad a través de la radiación solar con un dispositivo de semiconductor que se llama célula fotovoltaica. Es un tipo de energía renovable perfecta para alimentar aplicaciones y abastecer viviendas en general.

Energía Mini-Hidráulica: Haciendo uso de la energía cinética que provoca el agua a través de la gravedad es posible obtener electricidad. Generalmente este tipo de sistemas se instalan cerca de ríos o similares para aprovechar el desnivel que tengan.

Con todas estas características, no hay dudas de que las energías renovables no convencionales forman parte del presente y del futuro de muchos países permitiendo que muchos pueblos tengan su propia industria y sean capaces de generar sus propias energías haciendo uso de recursos naturales son necesidad de depender de otras industrias o empresas ajenas. Todavía queda mucho por investigar y probar, pero las

energías renovables no convencionales van por un muy buen camino. (Erenovable, 2015).



Figura 1. Captadores de Energías: energía solar y energía eólica.

Recuperado de: <http://www.chiledesarrollosustentable.cl/noticias/noticia-pais/el-dilema-de-las-energias-renovables-no-convencionales/>

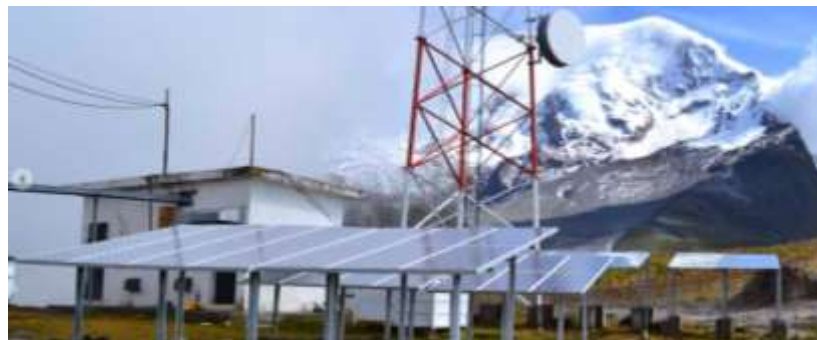


Figura 2. Energía solar fotovoltaica.

Recuperado de: <http://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica/>

El gobierno a través del CONELEC ha incentivado la construcción de nuevos proyectos fotovoltaico según la regulación 04/11 aprobada en abril 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. (CONELEC, 2013).

Proyectos fotovoltaicos realizados por empresas privadas:

- Instalación de un SFV y luminarias LEDs en las nuevas instalaciones del Ministerio de Ambiente en la Chocolatera (2014).

- Una estación meteorológica para Hidroagoyan en Baños: el sensor de duración de radiación de LSI LASTEM (2014).
- La implementación de paneles solares en la gasolinera PDV ubicado en el kilómetro 1.5 vía Samborondón.
- Instalación de un sistema de respaldo para un radar en Loja (2013).

El uso de energías renovables va progresando en el país, tenemos la implementación de aerogeneradores con potencia de 16.5MW en el parque eólico de la ciudad de Loja, en la Isla Santay equipado con paneles solares, en el cantón de Samborondón cuenta con planta de paneles fotovoltaicos que es conectada a la red pública. Todos producidos de energías renovables, energía limpia y silenciosa.

El presente proyecto es una forma de incentivar el cuidado del medio ambiente y contribuir en el país el uso de paneles solares.

Recurso solar.

El Ecuador debido a su situación geográfica, tiene un alto potencial solar. La radiación media horizontal es de alrededor de 3-4 KWH/m²/día. En la siguiente tabla se muestra los valores medios estimados por región.

Tabla 1. Promedio de radiación solar en Ecuador

Región	Radiación Media
Costa	4.5KWh/ (mxm) año.
Sierra	3.5KWh/ (mxm) año.
Oriente	3.8KWh/ (mxm) año.
Galápagos	4.5KWh/ (mxm) año.

Nota: Potencial Solar del Ecuador

Fuente: Universidad de Santiago de Compostela

Recuperado de:

<http://repositorio.educacionsuperior.gob.ec/bitstream/28000/107/1/Estudio%20de%20viabilidad%20de%20un%20sistema%20energ%C3%A9tico.pdf> – pág. 11.

Existen regiones en las que los altos niveles de nubosidad afectan el aprovechamiento de este recurso, sin dejar por ello de ser factible el uso de esta energía. (Repositorio educación superior, 2011).

Insolación: Es la energía solar que choca con una superficie, medida en Vatio/hora/metro cuadrado.

Insolación Difusa: Es la radiación solar difundida por la atmósfera (por lo que no llega directamente del sol).

Insolación Directa: Como su nombre lo indica es la que proviene directamente del sol.

Insolación Global: En esta insolación intervienen la insolación directa y la difusa, por lo cual se debe de realizar la sumatoria de las dos para obtener la Global.

En la figura 3, representan los tipos de radiación solar.

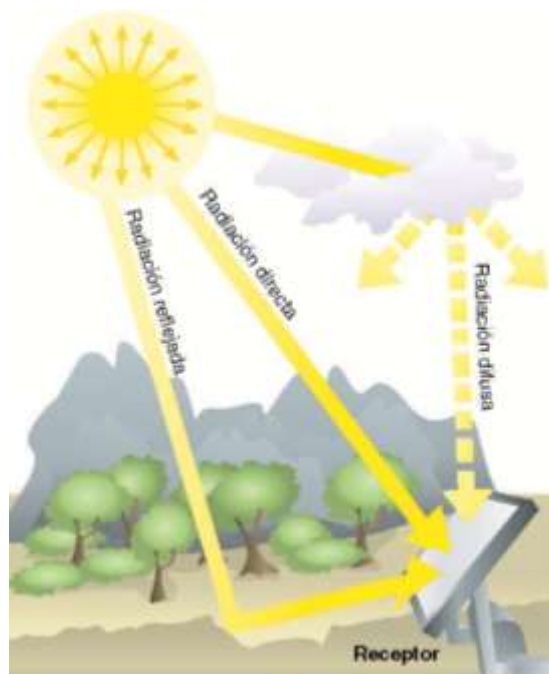


Figura 3. Radiación directa, difusa.

Fuente: Blasco (2013) Tipos de radiación

Recuperado de: <http://calculationsolar.com/blog/>

Energía Solar Fotovoltaico.

Este efecto consiste básicamente en la conversión en electricidad de la energía contenida en los fotones de luz cuando esta incide sobre un panel compuesto por materiales semiconductores. (SitioSolar, 2014)

A nivel doméstico es una opción muy interesante para cubrir gastos eléctricos moderados en viviendas aisladas de la red eléctrica general. Sin embargo no suele ser

rentable para viviendas de grandes consumos si estos tienen acceso a la red eléctrica. Ello es debido al alto precio de los componentes (paneles, baterías y conversores) y a la relativamente reducida potencia que los paneles son capaces de generar en proporción con su superficie. (SitioSolar, 2014)

Referencia a la figura 4, conjunto de paneles solares conectada a la red pública y es captado por la energía solar.



Figura 4. Energía Solar

Recuperado de: <http://integral.ec/energia-solar/>

Aplicaciones

Hogares con acceso a la red eléctrica general. En algunos países las compañías eléctricas están obligadas por ley a comprar la electricidad de origen fotovoltaico a tarifas mucho más altas que las de venta. De esta manera la energía captada se vende directamente a la red eléctrica a una tarifa alta, mientras se efectúa un consumo normal de la red a una tarifa baja. Así al ingreso obtenido por la venta de la energía se le resta el gasto por consumo de la misma red, quedando siempre un saldo positivo. Se consigue una amortización de la instalación en pocos años, a partir de los cuales se genera un beneficio económico neto. (SitioSolar, 2014)

Bombeo de aguas subterráneas para riego- Consiste básicamente en el empleo de paneles fotovoltaicos para alimentar la bomba convencional extractora de aguas subterráneas. Quizá la opción más rentable de esta tecnología ya que se utilizan pocos componentes y el uso puede ser muy prolongado en el tiempo. (SitioSolar, 2014)

Tipos Paneles solares.

Silicio mono cristalino

Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%. (SitioSolar, 2014)

Referencia a la figura 5, representa las diferencias de panel Monocristalino y panel Policristalino.

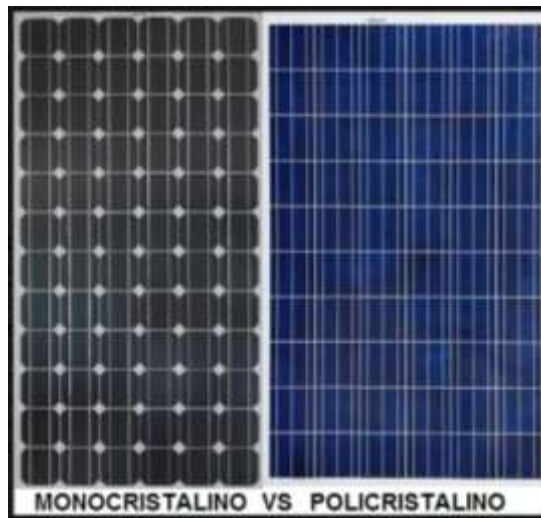


Figura 5. Panel fotovoltaico monocristalinos y policristalinos

Recuperado de: <http://energias-renovables-y-limpias.blogspot.com/2013/04/que-panel-comprar-monocristalino-o-policristalino.html>

Silicio poli cristalino

Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%) siendo su precio también más bajo. Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada. (SitioSolar, 2014)

Sistemas solares fotovoltaicos aislados en corriente alterna.

Esta aplicación incorpora como equipos básicos: paneles solares fotovoltaicos, regulador, batería, inversor y equipos de consumo tanto en 110VAC como en 12VDC; Sistemas básicos para uso doméstico que utilizan luminarias o equipos que funcionan en 110 o 220 VAC, con frecuencias de 50 o 60 Hz. Se incorpora al sistema un inversor de corriente. Es preferible que la iluminación continúe en 12VDC y se utilice el menor número de equipos en 110VAC. (Renova Energía, 2014)

En la figura 6, se observa los componentes de energía solar fotovoltaica con corriente alterna.



Figura 6. Energía solar fotovoltaica corriente alterna

Recuperado de: <http://www.renova-energia.com/energia-renovable/energia-solar-fotovoltaica/>

Sistema de seguimiento solar.

En los sistemas solares fotovoltaicos existe la posibilidad de emplear elementos seguidores del movimiento del Sol que favorezcan y aumenten la captación de la radiación solar.

Existen varios tipos y formas de colocación.

Colocación sobre soporte estático.

Soporte sencillo sin movimiento. Dependiendo de la latitud de la instalación y de la aplicación que se quiera dar se dotan a los paneles de la inclinación más adecuada para

captar la mayor radiación solar posible. Es el sistema más habitual que se encuentra en las instalaciones. (SitioSolar, 2014)

Sistemas de seguimiento solar de 1 eje.

Estos soportes realizan un cierto seguimiento solar. La rotación del soporte se hace por medio de un solo eje, ya sea horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento es el más sencillo y el más económico resultando sin embargo incompleto ya que sólo podrá seguir o la inclinación o el azimut del Sol, pero no ambas a la vez. (SitioSolar, 2014)

Sistemas de seguimiento solar de dos ejes.

Con este sistema ya es posible realizar un seguimiento total del sol en altitud y en azimut y siempre se conseguirá que la radiación solar incida perpendicularmente obteniéndose la mayor captación posible. Existen tres sistemas básicos de regulación del seguimiento del sol por dos ejes. (SitioSolar, 2014)

Sistemas mecánicos.

El seguimiento se realiza por medio de un motor y de un sistema de engranajes. Dado que la inclinación del Sol varía a lo largo del año es necesario realizar ajustes periódicos, para adaptar el movimiento del soporte. (SitioSolar, 2014)

Mediante dispositivos de ajuste automático.

El ajuste se realiza por medio de sensores que detectan cuando la radiación no incide perpendicular al panel corrigiéndose la posición por medio de motores. (SitioSolar, 2014).

Dispositivos sin motor.

Sistemas que mediante la dilatación de determinados gases, su evaporación y el juego de equilibrios logran un seguimiento del Sol. Se estima que con estos sistemas se puede lograr un aumento de entre el 30% y el 40% de la energía captada. Se hace necesario evaluar el costo del sistema de seguimiento y la ganancia derivada del aumento de la energía para determinar su rentabilidad. (SitioSolar, 2014)

Fotorresistencias.

Es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente. Puede también ser llamado fotoconductor, célula fotoeléctrica o resistor dependiente de la luz, cuyas siglas, LDR como se muestra en la figura 7, se originan de su nombre en inglés light-dependent resistor. Su cuerpo está formado por una célula o celda y dos patillas. (Ecured, 2015)



Figura 7. LDR

Recuperado de: <http://www.ecured.cu/Fotorresistencia>

Un fotoreistor está hecho de un semiconductor de alta resistencia como el sulfuro de cadmio. Si la luz que incide en el dispositivo es de alta frecuencia, los fotones son absorbidos por la elasticidad del semiconductor dando a los electrones la suficiente energía para saltar la banda de conducción. El electrón libre que resulta, y su hueco asociado, conducen la electricidad, de tal modo que disminuye la resistencia. Los valores Título del enlace típico varían entre 1 M Ω , o más, en la oscuridad y 100 Ω con luz brillante. Cuanta más luz incide, más baja es la resistencia. En otras aplicaciones (saber si es de día o es de noche) la lentitud de la detección no es importante. Se fabrican en diversos tipos y pueden encontrarse en muchos artículos de consumo, como por ejemplo en cámaras, medidores de luz, relojes con radio, alarmas de seguridad o sistemas de encendido y apagado del alumbrado de calles. (Ecured, 2015)

Regulador de carga.

Los últimos criterios técnicos disponibles que debe incorporar el regulador de voltaje para sistemas solares autónomos o tipo isla son:

- Sistema de señalización o visualización del estado de la batería de ciclo profundo.
- Función de desconexión por bajo voltaje de la baterías de ciclo profundo, con tecnología inteligente adaptativa al usuario.

- Debe ser programable en cuanto al tipo de baterías de ciclo profundo que utilice, función nocturna de prendido y apagado.
- Un sistema incorporado de registro de datos. Manejo de exceso de energía.
- Varios tipos de protecciones electrónicas.

El controlador de carga o regulador de voltaje protege a la batería de ciclo profundo contra posibles sobrecarga por parte del módulo fotovoltaico o panel solar fotovoltaico y evita que sea fuertemente descargada durante los consumo en corriente directa.

Las características de carga comprenden diversos estados que incluye la adaptación automática a la temperatura ambiente.

El controlador de carga o regulador de voltaje para sistemas solares fotovoltaicos debe operar en varios voltajes, por lo regular se ajusta automáticamente o detecta automáticamente el tipo de voltaje al conectarse a la bancada de baterías de ciclo profundo si es en 12VDC, 24VDC o 48VDC. Los reguladores de voltaje o controladores de carga para sistemas solares fotovoltaicos se los clasifica por su voltaje de operación, (la mayoría son bitensión o multitensión) trabajan tanto en 12VDC como en 24VDC, y algunos modelos más grandes pueden trabajar tanto en 24VDC como en 48VDC o voltajes intermedio.

El controlador de carga o regulador de voltaje para sistemas solares autónomos proporciona una salida para consumos que operen en corriente continua en el mismo voltaje que el sistema opere. El regulador de voltaje o controlador de carga para sistemas solares fotovoltaicos debe tener varios modos diferentes para proteger a la batería de ciclo profundo de la descarga profunda, permitiendo al instalador jugar con los umbrales de voltaje para desconexión, para reconexión y para corte por alto voltaje.

Debido a que los sistemas solares fotovoltaicos autónomos se instalan en zonas remotas, y el acceso de mantenimiento no puede ser continuo, es muy necesario que el regulador de voltaje o controlador de carga almacene la información básica de operación del sistema, los datos mínimos que debe recoger son: rendimiento anual del sistema solar fotovoltaico, voltaje de batería de ciclo profundo máximo y mínimo, el estado de carga de la batería de ciclo profundo, la corriente de carga máxima y la máxima corriente de consumo.

Con esta información se puede analizar las causas de daños prematuros de baterías de ciclo profundo, generación real de los paneles solares fotovoltaicos bajo las condiciones de radiación y temperatura en la zona, esta información nos ayuda a corregir problemas anticipadamente y a diseñar sistemas solares fotovoltaicos autónomos más ajustados a la realidad en condiciones reales.

El tipo de regulación que utilizan los tradicionales reguladores de voltaje o controladores de carga para sistemas solares fotovoltaicos autónomos es por PWM, modulación por ancho de pulsos. (Renova Energía, 2015)

En la figura 8, se encuentra dos tipos de reguladores de carga.



Figura 8. Reguladores de Voltaje

Recuperado de: <http://www.renova-energia.com/productos/reguladores-de-voltaje-solares-fotovoltaicos/>

Baterías para sistemas fotovoltaicos.

Se usan en la mayoría dos diferentes tipos de baterías de plomo:

1. Baterías Liquidas son las más antiguas y su simple producción permiten precios favorables. Existen en versión abierta con tapas que dejan sustituir el agua o en versión 'libre de mantenimiento' que son cerradas, pero con válvulas para que posibles gases puedan escapar durante cargas excesivas, en la realidad no son libre de mantenimiento. Sus ventajas aparte de los precios es que son menos problemáticos si se sobrecargan. Las desventajas son que durante la carga escapa hidrógeno, existe el peligro de perder el muy agresivo acido, un control del nivel del agua es necesario y su corta vida típica

de aproximadamente 400 ciclos de carga y descarga. Una ventilación es muy importante para estos tipos de batería y temperaturas bajo cero pueden destruirlas rápidamente.

2. Baterías tipo VRLA (abreviación del inglés: Valve Regulated Lead Acid battery). Estas baterías modernas tampoco son completamente selladas, pero contienen una tecnología que recombinan el oxígeno y hidrógeno que sale de las placas durante la carga y así eliminan la pérdida de agua si no son sobrecargadas. Estas baterías funcionan en cualquiera posición. Hay dos tipos principales: los de consistencia de Gel y los AGM, donde el ácido es fijado en fibra de vidrio (AGM - absorbed glass mat). Ambas se pueden usar en temperaturas bajas.

Baterías de Gel. En estas baterías 'selladas', el ácido tiene la forma de gel. Su gran ventaja es que ya no hay un líquido que se puede perder, son cerradas y funcionan en cualquier posición. La corrosión es reducida y son más resistentes a bajas temperaturas. Su vida es mucho mayor que la vida de las baterías líquidas y comparado con otras, son las menores afectadas en casos de descargas profundas. Las desventajas son una resistencia interna poco más alta que reduce el flujo máximo de la corriente, son algo más delicadas para cargar y llevan un precio mayor. Estas baterías, por su larga vida, se usan frecuentemente en la industria y la telecomunicación.

Baterías tipo AGM. En estas baterías, desarrolladas inicialmente para la aviación, el ácido está fijado en fibras de vidrio (a veces se llaman baterías 'secas' por su reducida cantidad de ácido). Cada vez más se usan en sistemas solares y eólicos. Sus ventajas son una alta resistencia en climas fríos, su auto descarga sobre el tiempo es mínimo y tiene la eficiencia más alta de todas las baterías de plomo (hasta 95%). Tienen una baja resistencia interna que permite corrientes altas. Desventaja, es su vulnerabilidad más alta a descargas profundas. La vida puede variar considerablemente según calidad. (Deltavolt, 2015).

Aplicaciones de las Baterías AGM

Las baterías AGM utilizan la tecnología de las baterías de GEL, que, básicamente utilizan un electrólito gelificado en lugar de un electrolito líquido. También se les puede llamar de funcionamiento en seco. Ofrecen unas prestaciones algo inferiores a las baterías de GEL, pero en todo caso muy superiores a las baterías de plomo-ácido

abierto. A pesar de utilizar una tecnología muy avanzada, el precio es muy similar a las de plomo-ácido, es decir, muy asequible. (Autosolar, 2015).

En la figura 9, se muestra la batería solar tipo AGM.



Figura 9. Batería Solar de plomo tipo AGM

Recuperado de: <https://autosolar.es/baterias/baterias-agm>

Inversor de Voltaje.

Los inversores de corriente cambian un voltaje de entrada de corriente continua (DC) a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el fabricante. Los inversores de corriente son utilizados en muchas aplicaciones. Los inversores de corriente son fabricados exclusivamente para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaica y acumulada en baterías en corriente alterna y de esta manera poder ser usados en instalaciones eléctricas aisladas. Los inversores de voltaje transforman la corriente continua (CC) de baja tensión (12V, 24V, 32V 36V o 48V) en corriente alterna (AC) de alta tensión (110V, 220V). El cambio de voltaje es necesario dado que los aparatos eléctricos se alimentan de uno u otro tipo de corriente. Como referencia, la gran mayoría de los aparatos eléctricos presentes en hogares y oficinas requieren de corriente alterna.

Transforman la corriente continua generada en los paneles solares en corriente alterna para que pueda ser utilizada por los distintos aparatos eléctricos. (Ingeniería verde, 2014).

En la figura 10, se muestra el inversor de voltaje con entrada DC y salida AC.



Figura 10. Inversor de Voltaje DC a AC

Recuperado de: <http://www.amvarworld.com/es/inversores-solares/615-inversores-de-voltaje-12v-3000w-marca-paco.html>

Fuente de Alimentación Conmutada

La corriente eléctrica que llega a los edificios e industrias tiene unas características determinadas. La mayoría de receptores que se conectan a la red eléctrica no pueden trabajar directamente con esta corriente, es necesario modificarla.

La red eléctrica suministra corriente alterna, que invierte su polaridad unas 100 o 120 veces por segundo, dependiendo del estándar seguido en cada país.

Los equipos electrónicos trabajan con corriente continua, que tiene un valor fijo, siempre con la misma polaridad. Para convertir la corriente alterna en corriente continua es necesario rectificarla y estabilizarla. (Fidestec, 2015)

La tensión de la red eléctrica puede ser de entre 110V y 400V, dependiendo del país. Los equipos conectados pueden trabajar a cualquier tensión, dependiendo de su aplicación. Por ejemplo, un televisor trabaja internamente con varias tensiones, que pueden ir desde poco más de 1VDC hasta más de 50000V en el caso de los televisores CRT, los de tubo de rayos catódicos, que ya han sido sustituidos por las pantallas planas.

El ejemplo más básico de fuente de alimentación que todos conocemos sería el cargador para el teléfono móvil, celular. Éste convierte la corriente de la red eléctrica, que puede ser de 100...240VAC a un valor que en la mayoría de los casos es de 5VDC. (Fidestec, 2015).

Fuentes lineales y fuentes conmutadas

Seguramente recuerdas que los primeros cargadores para teléfonos pesaban mucho más que los actuales.

Los más pesados utilizaban fuentes de alimentación lineales, mientras que los más ligeros usan fuentes de alimentación conmutadas.

En una fuente de alimentación lineal se reduce la tensión mediante un transformador, y seguidamente se rectifica con diodos. Para que la corriente sea más estable se filtra con condensadores electrolíticos, y en algunos casos se añaden estabilizadores para que la tensión de salida tenga un valor exacto. (Fidestec, 2015)

En la figura 11, se muestra una fuente conmutada con voltajes de entrada AC y salida DC.



Figura 11. Fuente Conmutada

Recuperado de: <http://www.electronic.it/es/product/40899/Fuente-de-alimentacion-conmutada-24V-5A.html>

Este tipo de fuentes tiene una gran pérdida de energía en el transformador. Además, para conseguir corrientes de salida muy altas, el transformador debe tener estar bobinado con hilo de cobre muy grueso, por ende es pesado.

Las fuentes de alimentación conmutadas utilizan un principio similar, pero con diferencias muy importantes. Básicamente, aumentan la frecuencia de la corriente, que pasa de oscilar 50/60Hz a más de 100kHz, dependiendo del sistema utilizado.

Al aumentar tanto la frecuencia, reducimos las pérdidas y conseguimos reducir el tamaño del transformador, y con ello su peso y volumen.

En este tipo de fuentes, la corriente se convierte de alterna a continua, después otra vez a alterna con una frecuencia distinta a la anterior, y seguidamente vuelve a transformarse en continua. Por eso muchos equipos basados en fuentes conmutadas son conocidos como inversores. (Fidestec, 2015)

Controlador PID.

(e-ducativa, 2015) Es un sistema de regulación que trata de aprovechar las ventajas de cada uno de los controladores de acciones básicas, de manera, que si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral y, mientras que si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa. Tiene la ventaja de ofrecer una respuesta muy rápida y una compensación de la señal de error inmediata en el caso de perturbaciones. Presenta el inconveniente de que este sistema es muy propenso a oscilar y los ajustes de los parámetros son mucho más difíciles de realizar.

La salida del regulador viene dada por la siguiente ecuación:

$$y(t) = K_P \cdot e(t) + K_P \cdot t_d \cdot \frac{de(t)}{dt} + K_P \cdot \frac{1}{t_i} \cdot \int e(t) dt$$

Que en el dominio de Laplace, será:

$$Y(s) = K_P \cdot E(s) + K_P \cdot T_d \cdot s \cdot E(s) + K_P \cdot \frac{1}{T_i \cdot s} \cdot E(s)$$

Y por tanto la función de transferencia del bloque de control PID será:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_P (1 + T_d \cdot s + \frac{1}{T_i \cdot s})$$

Donde K_P , T_i , T_d son parámetros ajustables del sistema.

La respuesta temporal de un regulador PID sería la mostrada en la figura siguiente (Véase figura 12, 13):

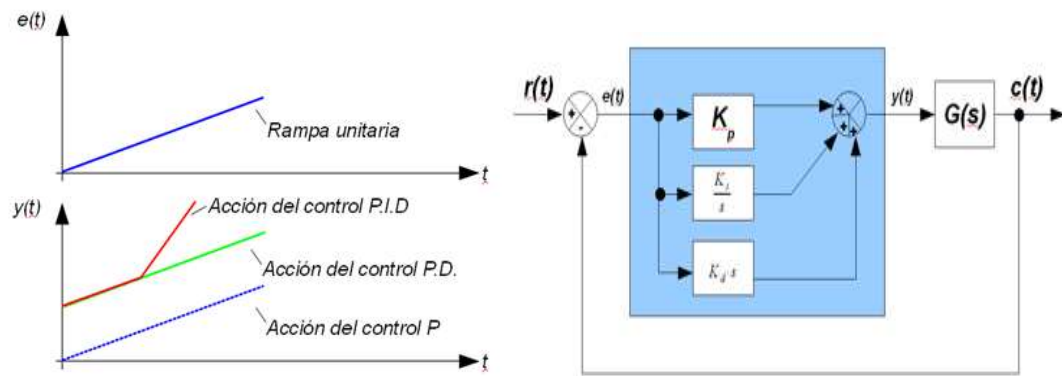


Figura 12. PID.

Figura de lado izquierdo es la respuesta temporal del controlador PID, la figura del lado derecho es diagrama de bloques Proporcional Integral Derivativo.

Recuperado de: <http://e-ducativa.catedu.es/>

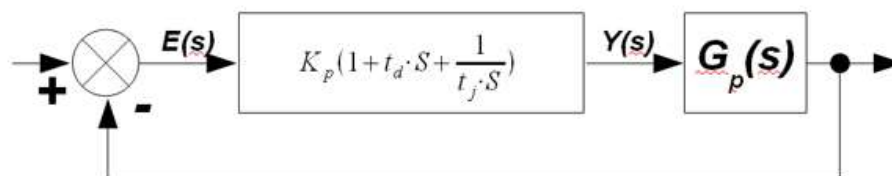


Figura 13. Diagrama de bloque PID

Recuperado de: <http://e-ducativa.catedu.es/>

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que permita regular un proceso se requiere:

- Un sensor, que determine el estado del sistema ej.: termómetro, fotoresistor, caudalímetro, manómetro, etc.
- Un controlador, genera la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador, modifica al sistema de manera controlada ej.: motor, válvula, bomba, etc.

Métodos clásicos de ajuste de Ziegler and Nichols

(Mazzone, 2015) En esta sección veremos dos métodos de ajuste de las ganancias de un controlador PID, el Método de Oscilación o Método de Respuesta en Frecuencia y el Método Basado en la Curva Reacción o Método de Respuesta al Escalón. El primero se basa en un lazo de control solo con ganancia proporcional y de acuerdo a la ganancia

utilizada para que el sistema empiece a oscilar y al periodo de esas oscilaciones, podemos establecer las ganancias del controlador PID. El otro método se resume en ensayar al sistema a lazo abierto con un escalón unitario, se calculan algunos parámetros, como la máxima pendiente de la curva y el retardo, y con ellos establecemos las ganancias del controlador PID. Estos métodos fueron propuestos por Ziegler y Nichols (Z-N) en 1942, quienes se basaron en la práctica para desarrollarlos.

Método de Oscilación

En la figura 14 se muestra el lazo cerrado solo con ganancia proporcional

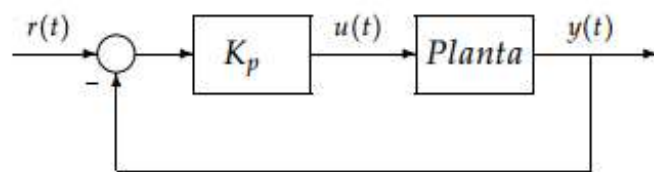


Figura 14. Lazo cerrado solo con ganancia proporcional

Recuperado de: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>

Este procedimiento es válido solo para plantas estables a lazo abierto y se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos:

1. Utilizando solo control proporcional, comenzando con un valor de ganancia pequeño, incrementar la ganancia hasta que el lazo comience a oscilar. Notar que se requieren oscilaciones lineales y que estas deben ser observadas en la salida del controlador.
2. Registrar la ganancia crítica del controlador $K_p = K_c$ y el período de oscilación de la salida del controlador, P_c . (en el diagrama de Nyquist, corresponde a que $K_c G(j\omega)$ cruza el punto $(-1, 0)$ cuando $K_p = K_c$).
3. Ajustar los parámetros del controlador según la Tabla:

Tabla 2. Método de Ziegler and Nichols.

	Kp	Ti	Td
P	$0.50K_c$		
PI	$0.45K_c$	$P_c/1.2$	
PID	$0.60K_c$	$0.50P_c$	$P_c/8$

Nota: Parámetros de ajuste

MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del sistema fotovoltaico se ha usado los siguientes métodos, técnicas e instrumentos:

Métodos

Método Deductivo.

El método deductivo permite tener un enfoque general de los temas desarrollados a este proyecto, relacionando los conocimientos adquiridos en la trayectoria de la carrera de ingeniería electrónica.

Método Inductivo.

En la actualidad, el uso de las energías renovables va en aumento, de esta manera se espera implementar paneles solares en los diferentes departamento que conforma la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil.

Método Analítico.

Se diseña los cálculos para el sistema fotovoltaico para abastecer energías a las luminarias o hacer uso de tomacorriente en el departamento al existir un corte de energía.

Método Empírico.

Se ha realizado pruebas para obtener el ángulo de posición del panel solar por medio del potenciómetro con el voltaje deseado, también se realiza experimentos en relación al torque del motor ya que sin el uso de una caja reductora no mantiene el peso y movimiento del panel solar.

Técnicas

Se analiza la posición del panel solar en estado manual obteniendo lecturas de voltaje referentes al ángulo de posición Este a Oeste hasta quedar perpendicular a la radiación

solar dando un voltaje de 4.23VDC, también se obtiene la ganancia efectiva de carga generada por el panel solar.

Instrumentos de Investigación y recopilación de datos

La variación de voltaje de las LDRs, posición del panel de Este a Oeste, entradas analógicas y digitales, salidas digitales son supervisadas, monitoreadas por medio de Touch panel TH465 color, y controladas por PLC Xinje 24RT, permitiendo seleccionar de forma manual y automática sus funciones en que se encuentren.

Variables e Indicadores

Variables

Las variaciones de voltajes generadas por el potenciómetro y el diferencial de voltaje de las LDRs son obtenidas para la posición del panel solar, de esta manera conseguir la mayor cantidad de energía solar.

Voltaje de la batería, para supervisar el estado de la carga del acumulador.

Indicadores

El valor del diferencial de voltaje obtenida de las dos LDRs: permite corregir la posición del motor.

Potenciómetro: da la lectura de la posición actual del panel solar (ángulo).

Batería: se toma lectura de voltaje, para obtener la carga más eficiente a través del panel solar.

Población y Muestra

Población

Para el desarrollo del proyecto se toma como población a toda instalación que conforma el departamento de logística y help desk de la empresa Telconet S.A.

Muestra

Se tomó como muestra para realizar el proyecto de titulación un departamento perteneciente a la Logística de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil.

Beneficiarios

Los beneficiarios del diseño e implementación del sistema fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad, para la iluminación del departamento de Logística del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil, son los trabajadores, jefes y todo el personal quienes forman parte de la empresa.

IMPACTO

El proyecto descrito que a continuación se detalla, permite dar paso al uso de energías renovables específicamente energía solar dentro del campamento de la empresa Telconet S.A. sede Guayaquil, para luego ser implementado este proyecto a los diferentes puntos de la ciudad, así también a nivel nacional.

FUNCIONALIDAD

El sistema fotovoltaico está compuesto por un panel solar de 150W montado sobre una estructura metal metálica móvil ubicado a las afuera de la oficina del departamento de logística de Telconet S.A. en Guayaquil, a su vez una batería tipo AGM de 120Ah 12V donde se almacena la energía solar captada del panel.

Un regulador de carga de 20A está interconectada a la batería, panel solar e inversor, la función de regulador se encarga de carga y descarga de las baterías y suministrar energía al inversor, además cumple la función de proteger las sobrecargas. Un inversor con entrada de 12VDC y salida de 110VAC este inversor transforma la corriente

continua en corriente alterna necesarios para alimentar al tablero de control, 5 focos ahorradores y 1 tomacorriente, dentro este tablero de control también encontramos el sistema de control para el posicionamiento del panel solar que está ubicado dentro de la oficina del departamento de logística.

RESULTADOS

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

A continuación se detalla el diseño e implementación del sistema fotovoltaico, panel solar, baterías, inversor, el montaje de un tablero de control y componentes que lo conforman, en este proyecto técnico.

Funcionamiento del Sistema

Este sistema se encarga el control de posicionamiento del panel fotovoltaico, quien efectúa el movimiento es el motor DC.

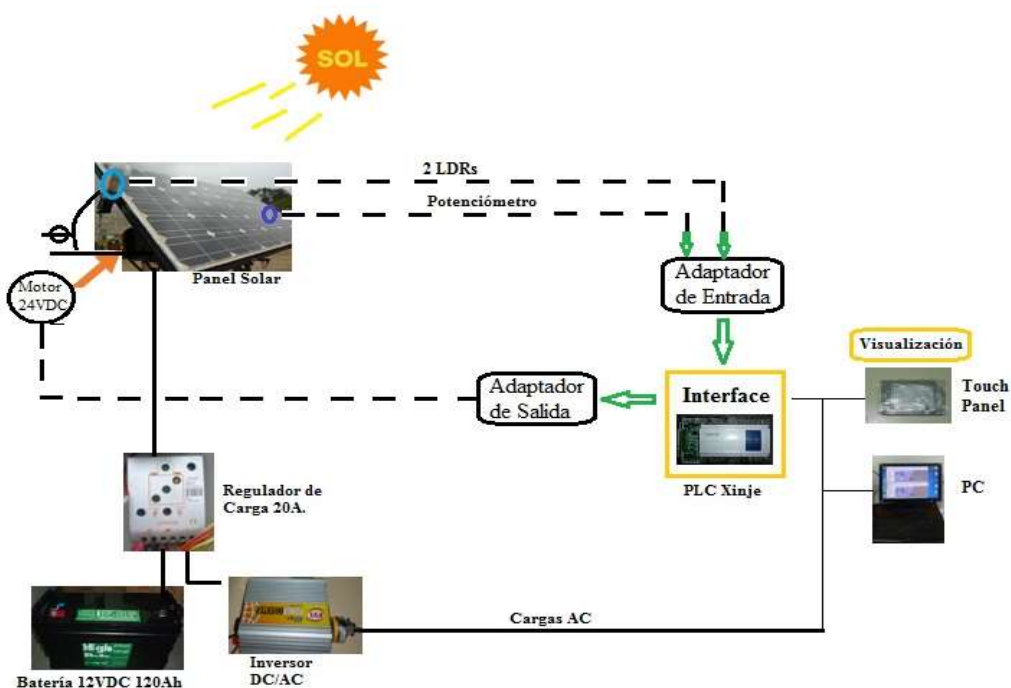


Figura 15. Bosquejo de control del posicionamiento del panel fotovoltaico

En la figura 15, muestra el bosquejo de control de posición del panel solar, este control sirve para captar la mayor cantidad de energía solar, esta energía es almacenada a la batería.

El panel solar es conectada al regulador de carga y el regulador se encarga de la carga y descarga y protección de la batería, la batería está conectado al regulador, el inversor DC/AC está conectado a los bordes de la batería, la salida del inversor da un voltaje

de 110VAC que alimenta las cargas de cinco focos, tomacorrientes, PC, PLC Xinje, Fuente de voltaje.

Las LDRs o fotorresistencias es captada por la radiación del sol y están colocadas a un costado del panel solar. Las fotorresistencias se encuentran conectada de la siguiente manera: en serie con resistencia de 4.7Kohmios y 1 LDR junto 1 LDR en serie con resistencia de 4.7Kohmios, permitiendo realizar un divisor de tensión.

La variación del diferencial de voltaje de las fotorresistencias es enviado a la entrada analógica del PLC Xinje el mismo es visualizado en el touch panel.

Por medio del PLC, la variación de voltaje de las LDRs es leída y procesada en forma automática con control PI. Este control PI es con control de voltaje, con setpoint de 4.23 voltios y de retroalimentación el sensor LDRs.

La variación de radiación solar, las LDRs envía una señal al PLC para activar su salida digital que es el motor DC.

El motor DC es de 24V alimentado por la fuente de voltaje con entrada 110VAC y salida 24VDC 5A, el motor da movimiento giratorio en sentido Este y Oeste y viceversa haciendo cambios de giros para el panel solar.

El Potenciómetro está ubicado en el eje del panel solar y conectado a la entrada analógica del PLC Xinje, esto nos ayuda el posicionamiento del panel solar y es visualizado por el touch panel o PC.

Diagrama de bloques del sistema fotovoltaico

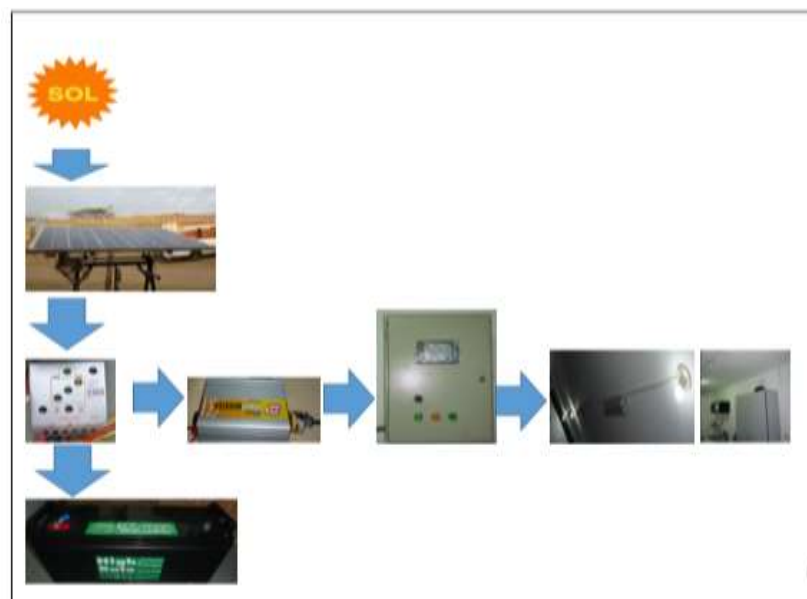


Figura 16. Sistema Fotovoltaico para un grado de libertad.

Referente a la figura 16, el sistema fotovoltaico está compuesto por un panel solar de 150W montado sobre una estructura metal metálica móvil ubicado a las afuera de la oficina del departamento de logística de Telconet S.A. en Guayaquil, a su vez una batería tipo AGM de 120Ah 12V donde se almacena la energía solar captada del panel.

Un regulador de carga de 20A está interconectada a la batería, panel solar e inversor, la función de regulador se encarga de carga y descarga de las baterías y suministrar energía al inversor o una carga de voltaje 12VDC, además cumple la función de proteger las sobrecargas. Un inversor con entrada de 12VDC y salida de 110VAC este inversor transforma la corriente continua en corriente alterna necesarios para alimentar al tablero de control, 5 focos ahorradores y 1 tomacorriente, dentro este tablero de control también encontramos el sistema de control para el posicionamiento del panel solar que está ubicado dentro de la oficina del departamento de logística.

Irradiación solar

La irradiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, su unidad se mide en W/m^2 que sirve para descubrir la potencia incidida por unidad de superficie.

En las figuras que se mostraran a continuación, muestran los valores a prueba de resultados obtenidos del programa PVsyst V4.37 descargado de la página www.pvsyst.com y es actualizado al 28 de diciembre 2015, con la base de datos de este programa se obtuvo los siguientes datos (Véase figura 17, 18, 19):

Geographic site parameters

Geographical Coordinates Monthly Meteo

Site: **GUAYAQUIL (Equator)**

Data source: Meteonorm '97

	Global irrad. kWh/m ² .day	Diffuse kWh/m ² .day	Temper. °C	Wind vel. m/s
January	5.00	2.29	14.4	3.60
February	5.07	2.24	14.4	3.60
March	5.29	2.35	14.4	3.60
April	5.07	2.30	15.0	3.10
May	4.94	2.16	14.4	3.10
June	4.70	2.07	14.4	3.10
July	4.71	2.13	14.4	4.10
August	4.97	2.23	14.4	4.10
September	5.23	2.33	14.4	3.10
October	5.35	2.32	14.4	3.60
November	5.20	2.27	14.4	3.60
December	5.00	2.23	14.4	3.60
Year	5.04	2.24	14.5	3.5

Required data
☒ Horizontal global irradiation
☒ Average ext. temperature

Extra data (if available)
☒ Horizontal diffuse irradiation
☒ Wind velocity

Irradiation units
☒ kWh / m² day
☐ kWh / m² month
☐ MJ / m² day
☐ MJ / m² month
☐ W / m²
☐ Clearness Index Kt

☀ Default (from NASA-SSE)

Cancel OK

Figura 17. Parámetros lugar geográfico, captura programa PVsyst V4.37

Fuente: PVsyst V4.37, 2015

Geographic site parameters

Geographical Coordinates Monthly Meteo

Location

Site name: GUAYAQUIL

Country: Equator Region: South America

Latitude: -0.11 * 0 7 (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude: -78.21 * -78 13 (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude: 2818 m above sea level

Time zone: -5 corresponding to an average difference

Legal Time - Solar Time = 0h 13m

☀ Sun Paths Diagram

Print

New site Export as Table Export as Line Import from Excel

Cancel OK

Figura 18. Parámetros lugar geográfico en coordenadas ciudad Guayaquil, captura programa

PVsyst V4.37

Fuente: PVsyst V4.37, 2015

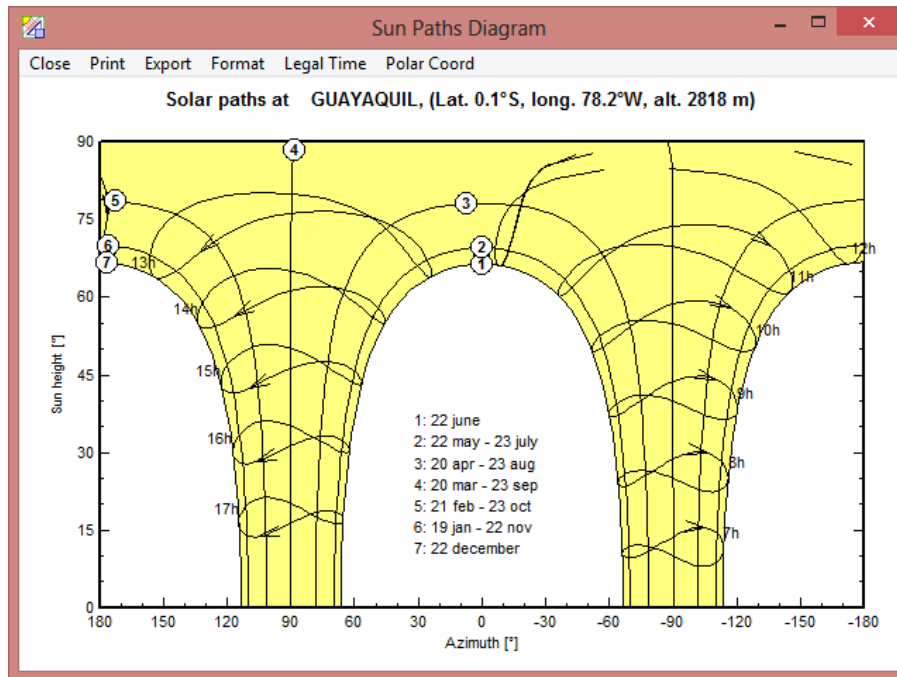


Figura 19. Trayectoria solar en Guayaquil, captura programa PVsyst V4.37

Fuente: PVsyst V4.37, 2015

Con los resultados obtenidos de la figuras 17, 18, 19, se estima el promedio de energía de la irradiación solar que es medido por un metro cuadrado en la superficie que se encuentra situado el panel solar para su posicionamiento y orientación del mismo.

Se determinó el peor mes calculando el cociente entre el consumo total diario de energía y el promedio de radiación diaria. En este caso es el mes de Junio con un valor de 4.7 Kwh/m²/día que es la magnitud de la radiación solar para la ciudad de Guayaquil, que será utilizado para saber la cantidad de módulos y baterías que se necesitan.

Diseño y cálculos del sistema fotovoltaico

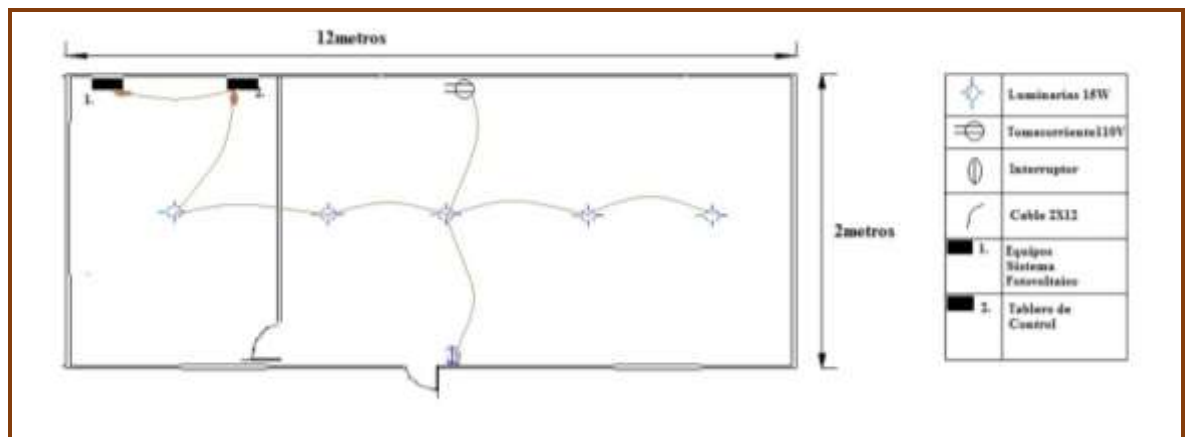


Figura 20. Lámina Plano eléctrico del Departamento Logística.

De referencia a la figura 20, es la lámina del plano eléctrico del departamento de logística, se determinó instalar 5 focos ahorradores de 15 W cada uno, un interruptor, un tomacorriente para 2 cargadores de 5W y el sistema de control con consumo aproximado de 170 W para el departamento de logística con los equipos de sistemas fotovoltaicos. Conociendo el consumo de las cargas del sistema se realiza el diseño con los datos obtenidos.

Tabla 3. Determinación de cargas

Cantidad	Elemento	Potencia W	Potencia total W	Horas/día	Energía Wh/día
5	Focos	15	75	2	150
2	Cargadores	5	10	2	20
1	Control		170	1	170
TOTAL DE CARGA Wh/día:					340

Nota: Determinación de cargas del sistema fotovoltaico

Obteniendo el dato real del consumo de energía de 340Wh/día y utilizando el factor de radiación de 4.7 tenemos los siguientes resultados:

Tabla 4. Selección de panel solar y baterías.

A	Factor de seguridad	1,1
B	Días de autonomía	2
C	Factor radiación solar [Kwh/m2/día]	4,7
D	Total energía [Wh/día]	340
E	Carga diaria equivalente [Wh/día]	374
F	Tensión del sistema [V]	12
G	Panel Usado [W]	150
H	Energía total producida por un panel [Wh/día]	705
I	Carga diaria de corriente [A]	32
J	Carga corriente corregida [A]	35
K	Corriente pico sistema [A]	8
L	Coeficiente relación voltajes	0,61
M	Módulos en paralelo panel	1,25
N	# de paneles	0,75
O	Capacidad nominal baterías [A]	70,4
P	Capacidad corregida baterías [A]	100,5
Q	Inversor [W]	300
R	Regulador de Carga [A]	10

Nota: Cálculos para cantidad de paneles y baterías de sistema fotovoltaico.

Datos Técnicos del panel solar

En la figura 21, se muestra los datos técnicos del panel solar 150W Everexceed, utilizado en este proyecto.

EVEREXCEED SILICON SOLAR	PV MODULE
Model	ESM150S-125
Pm	150W
Vop	22.2V
Vmp	18v
Isc	9.16 A
Imp	8.34 A
Dimension	1418*808*35mm
System Voltaje	1000VDC
	1000W/m2 am1.5 25°C

Figura 21. Dato técnico del panel solar 150W 12VDC 8.34A.

Selección del Regulador de Carga

El regulador de carga tiene la capacidad de controlar corrientes picos del inversor, panel solar y la batería, adicional se puede visualizar el estado que se encuentra la batería si su carga está en mínimo, medio o máximo. En el día se enciende el led de color verde como indica la figura 22. El regulador de carga es de 20A y está sobredimensionado ya que nuestro sistema y con los cálculos realizados es de 10A. (Véase en la tabla 4 literal R página 34).



Figura 22. Regulador de Carga Phocos CML20A.

Selección de la batería

La carga diaria de corriente es de 35A por 2 horas donde se detalla en la tabla 3 página 33, luego se fija en 2 días de autonomía que el sistema fotovoltaico podrá alimentar las cargas sin contar con la luz solar; Por lo tanto la capacidad nominal del banco de baterías es de 70A (véase en la tabla 4 literal O página 34) y la tensión del sistema a 12V.

De los datos técnicos de la batería elegida se conoce que tiene una profundidad de descarga de 0.7 y una capacidad de 120Ah 12V, como indica la figura 23.

Se necesitó de una batería para la implementación del proyecto. (Conelec, 2008)



Figura 23. Batería High Rate Range HR-12120

Selección del Inversor

La carga máxima del sistema de 340W (véase en la tabla 3 determinación de cargas en la página 33), se elige un inversor de mayor capacidad para abastecer dicha carga, el inversor de voltaje con entrada de 12VDC y salida 110VAC de 400W. (Conelec, 2008).



Figura 24. Inversor EVL 400W

Diseño mecánico

La elaboración para el diseño mecánico se ha considerado que su movimiento debe ser muy lento dado que realiza un recorrido durante todo el día y por tal razón se dará uso de una caja reductora para tener una velocidad a 1 RPM.

Estructura

La estructura para el seguidor solar diseñado para este proyecto es realizar movimiento que seguirá la trayectoria y orientación del sol que será de Este a Oeste durante el día, para que el panel solar reciba la mayor cantidad de energía solar.

Debido que la estructura va estar al campo, a la intemperie se agrega capas de pintura de anticorrosivo y de pintura sintética de color negro.

La estructura está compuesta de base tipo triángulo, la estructura móvil para dar movimiento al panel solar, véase figura 25.



Figura 25. Estructura del seguidor solar.

Partes de la Estructura

En esta sección se detalla las partes y piezas metalmecánicas que compone la estructura, necesaria para la implementación del proyecto del sistema fotovoltaico.

Chumaceras

Las chumaceras es una pieza que permite el soporte para la rotación de un eje, está compuesto de una parte rotativa y una fija, está hecho de metal de acero inoxidable, la superficie exterior del rodamiento y la superficie interna de la chumacera son esféricos, lo que permite su auto alinealidad.



Figura 26. Chumaceras de 3/4 pulgada.

Motor reductor

El motor reductor como se muestra la figura 27, trabaja con 24VDC. La ventaja del motor al cambiar la polaridad en la fuente DC hace cambios de giros. Estos motores internamente están compuestos de un mecanismo piñón sinfín, dando una reducción de velocidad y al eje final una ganancia de fuerza.



Figura 27. Motor reductor 24VDC.

Caja Reductora

La caja reductora como se muestra en la figura 28, está compuesta por mecanismo piñón sinfín lo que permite aumentar el torque al motor y reducir su velocidad. Un giro del motor equivale a tomar un diente del engranaje dentado, a continuación dato técnico de la caja reductor:

- Carcaza de aluminio.
- Relación de transmisión i: 40/1 entre ejes.
- Torque 90 N.m
- Rueda dentada helicoidal y tornillo sin fin, montados en rodamientos.
- La caja está sellada mediante retenedores de aceite.



Figura 28. Caja reductora.

Acople caja reductora al eje del panel solar

El eje del panel solar está acoplada a la salida del eje de la caja reductora y el eje del panel pasa por medio de las chumaceras que posee rodamientos, permitiendo el movimiento al eje del panel solar y está unido al soporte de la estructura.



Figura 29. Acople base caja por medio de chumaceras y el eje del panel solar.

Acople motor reductor a la caja reductor

Están acoplados mediante una platina que sirve como soporte para la caja reductora y el motor reductor, y un bocín de hierro que unen los ejes de la caja reductor y motor DC, véase figura 30.



Figura 30. Acople entre la caja reductora y el motor DC.

Acople potenciómetro al eje del panel solar



Figura 31. Acople potenciómetro con el eje del panel solar.

El final del eje del panel solar se acopló un potenciómetro de 10KOhm, como se muestra en la figura 31, para dar a conocer la posición del panel solar. La figura del lado derecho son las fases de este acople y la figura de lado izquierdo se observa la terminación del acople.

Instalación de la Estructura

Luego de acoplar las partes y piezas metalmecánicas de la estructura se obtuvo un diseño mecánico para el sistema fotovoltaico, donde el panel solar logra captar gran cantidad de energía solar y luego suministrar energía al departamento de Logística como las luminarias.

La estructura del panel solar como se muestra en la figura32, se fijó a las afuera del departamento debido a la altura del soporte, entre otros.



Figura 32. Estructura del Panel solar.

Diseño del Control eléctrico

Se hace uso de un tablero metálico, para realizar las conexiones eléctricas y electrónicas tales como sensores, motor DC, LDRs, luminarias, luz piloto, entre otros.

Dentro del tablero está el PLC que se encarga de controlar de manera automática la posición del panel solar, en el ingresan datos de entradas y de salidas. Como entradas están el potenciómetro, LDRs, Microswitch para límites de topes y las luminarias. Las salidas digitales del PLC están para activar el motor y realizar los cambios de giros, también la activación de luminarias, activación de luces pilotos.

A continuación véase las figuras 33, 34 donde se da el inicio y culminación en el armado del tablero de control para el sistema fotovoltaico.

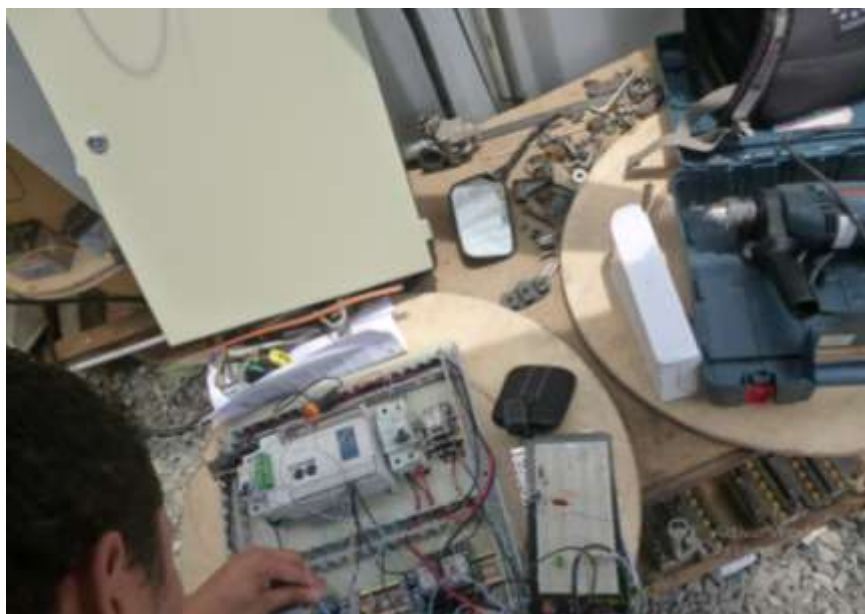


Figura 33. Realizando conexiones en el tablero de control.



Figura 34. Tablero de Control.

A continuación diagrama de flujo para el movimiento del panel.

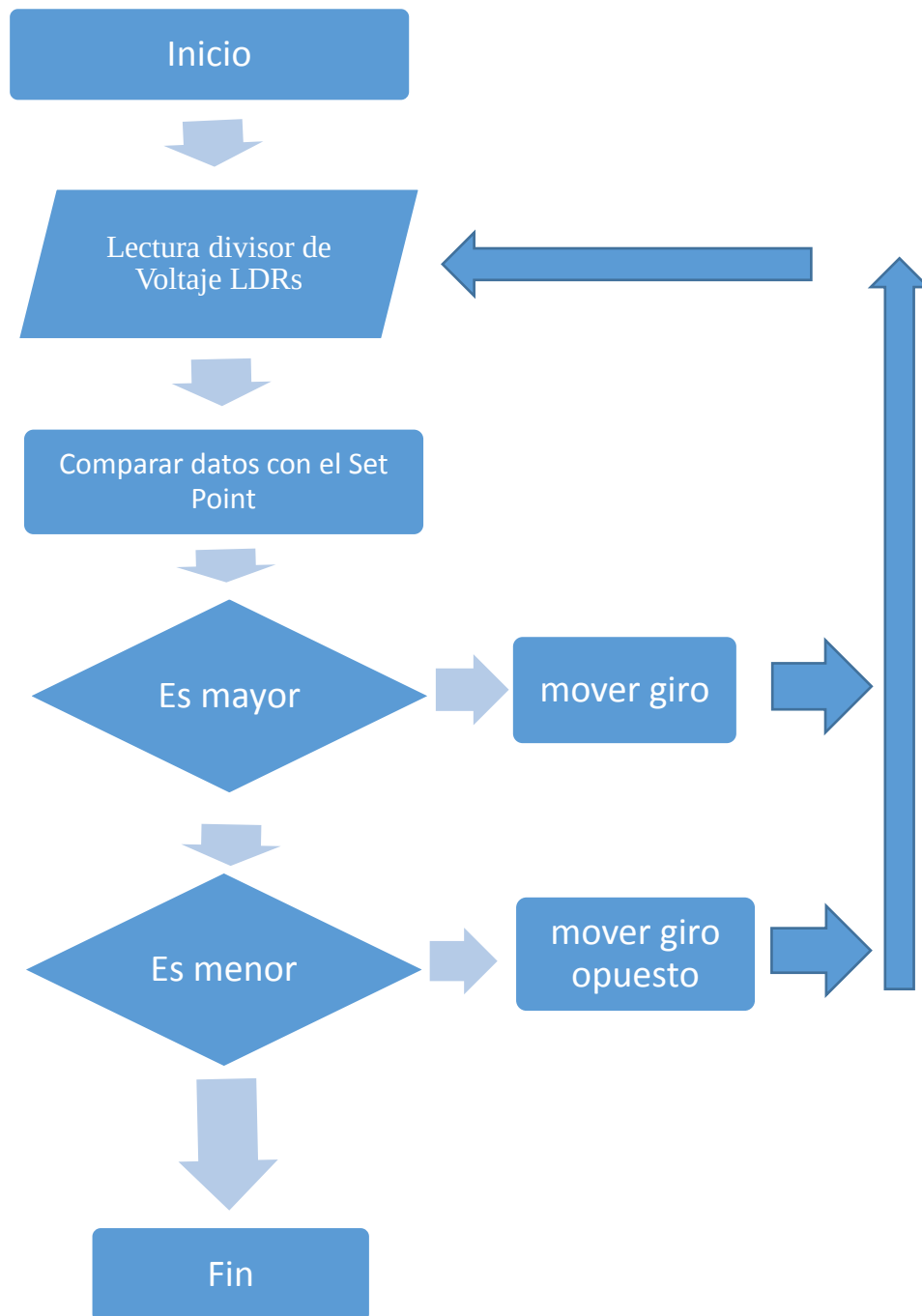


Diagrama de Conexiones de las LDRs

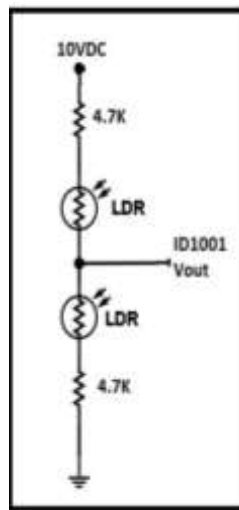


Figura 35. Esquema circuito de LDRs

Referencia en la figura 35, el circuito de divisor de voltaje, conectadas a las dos LDRs se obtiene una variación de voltaje eléctrica, que va conectado al módulo analógico del PLC Xinje. Al conocer el valor de voltaje del diferencial de LDRs el PLC activa al motor para que de movimiento al eje del panel solar, lo que permite saber en qué posición se encuentra el sol durante el día.

Diagrama de convertidor de voltaje

Este circuito de regulador de voltaje de 10VDC como se muestra en la figura 36, es diseñado para energizar a las entradas del módulo analógico y así evitar que sus entradas se dañen.

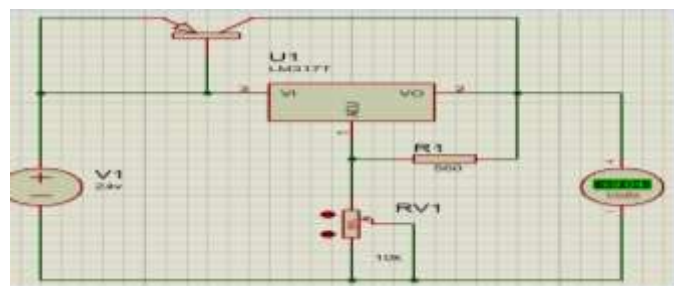


Figura 36. Circuito de regulador de 10 VDC

PLC Xinje y Tarjeta analógica

El controlador lógico programable Xinje tiene la capacidad de controlar varios dispositivos para varias funciones de automatización. El PLC Xinje 24RT es un artefacto robusto con 14 entradas digitales y 10 salidas digitales, tiene la opción de que la tarjeta analógica sea tipo insertable con entradas y salidas analógicas.

En la figura 37 se encuentra el PLC junto con la tarjeta analógica insertable que esta de lado izquierdo.



Figura 37. PLC XC3 24RTE y Tarjeta analógica XC 2AD2DA BD

Tabla 5. Característica técnica del PLC Xinje

Voltaje de alimentación	110V
Voltaje de salida	24VDC
Puertos de comunicación	COM1 RS232; COM2 RS232/485
Entradas	14 (X0 ~ X15)
Salidas	10(de transistor Y0-Y1; de relé Y2- Y11)
Marcas	8000 (M)
Registros de datos	8000 (D)
Contadores y Temporizadores	640 (C ; T)

Nota: datos técnicos del manual Xinje.

Tabla 6. Característica técnica de la tarjeta analógica 2AD2DA

Voltaje de alimentación	24VDC
Voltaje de entrada	0-5V / 0-10V DC
Corriente de salida	0-20mA / 4-20mA
Vínculo entrada digital	10 bits binarios (0-1023)
Vínculo salida digital	14 bits binarios (0-16383)
PID	Sí (K0-1023)
Precisión	0.8%
Velocidad de conversión por canal	15ms

Nota: datos técnicos del manual Xinje.

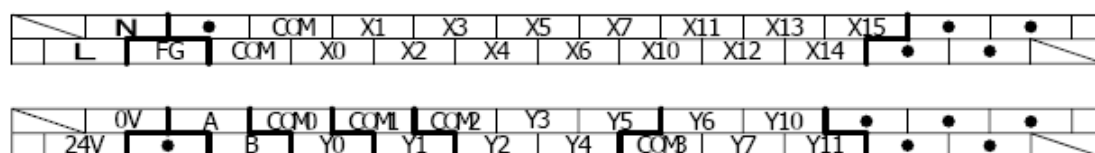


Figura 38. Entradas y Salidas del PLC Xinje

En la figura 38, se muestra las entradas y salidas del PLC Xinje, en la parte superior están las 14 entradas digitales y para alimentar al PLC, en la parte inferior se encuentran las 10 salidas digitales del PLC y con alimentación de 24VDC que da energía al touch panel.

Touch panel TH465-UT HMI Xinje TouchWin

En la figura 39 se muestra el touch panel Xinje a utilizar para el presente proyecto, permitiendo visualizar, monitorear y supervisar la posición en que se encuentra el panel solar, y desde el touch panel el operador pueda activar las luminarias que forma parte del sistema fotovoltaico.



Figura 39. Touch panel TH-465 Xinje

En la tabla 7 se presentan los datos técnicos del touch panel utilizado en el proyecto.

Tabla 7. Datos Técnicos del Touch panel TH-465 Xinje

Detalle		TH465
Eléctrico	Voltaje de entrada	DC20-DC28V
	Actualmente el consumo	130mA
Interfaz	COM2	Ayuda RS-232 / RS422 / RS485
	USB1	USB-A (de acuerdo con USB 2.0)
	USB2	USB-B (de acuerdo con USB 2.0)
	COM1	Ayuda RS-232
Ambiente	Temperatura ambiental	20-85% (sin condensación)
	Temperatura de operación	0-50 ° C
Especificación de la pantalla	uso vida	Más de 50000 horas, 24 horas de funcionamiento cuando la temperatura circundante es de 25 ° C
	Tipo	65536 verdaderos colores
	Tamaño de pantalla	4.3 pulgadas
	Resolución	480 * 272
	Panel táctil	el modo de resistencia de 4 hilos
Memoria	Pantalla	8 MB
Construcción	método de enfriamiento	refrigeración por aire natural

Nota: datos técnicos del manual Xinje.

Relé 24VDC



Figura 40. Relé 24VDC

Referente a la figura 40, una vez activados los relés por medio de la salida del PLC realizan la labor de encender las luminarias, y realizar cambios de giros del motor 24VDC. Los relés están alimentados con 24VDC, con 14 pines con corriente máxima de 6 A, y es desmontable con sócalos.

Fuente Conmutada 24VDC



Figura 41. Fuente de poder 24VDC 5A

La fuente de poder con entrada de 110VAC y salida 24VDC, como se muestra en la figura 41, es empleado para energizar al motor DC, luces pilotos, relés.

Microswitch

Microswitch, básicamente es un interruptor, de tamaño pequeño, con tres terminales que son: el común, Normalmente abierto y Normalmente cerrado. Se ha colocado en estado normalmente abierto, ya que solo se activa cuando el panel llegue a su límite

de tope. Se adquirió dos de estos dispositivos que sirve para los topes Este – Oeste y es empleado cuando el sistema está en modo manual. Véase en la figura 42.



Figura 42. Microswicth

Ubicación actual del Sistema Fotovoltaico.



Figura 43. Ubicación final del Sistema Fotovoltaico.

Haciendo referencia a la figura 43, está la ubicación del sistema fotovoltaico que es la estructura del panel solar ubicado a las afuera del departamento de logística y el tablero de control se encuentra dentro del departamento del mismo.

CONTROL Y MONITOREO

A continuación se detalla el diseño de la programación de PLC Xinje 24RT, y la programación del touch panel para el control y supervisión del sistema respectivamente.

Identificación de Variables

Se asignan las variables de entradas y salidas en el controlador lógico programable Xinje.

Para la recopilación de datos, se tiene los arreglos de las LDRs y el potenciómetro para indicar la posición del panel. También se tiene los topes de posición Este y Oeste.

Para el control se tiene la activación del motor 24VDC y los cambios de giros, también se controla el encendido y apagado de las luminarias del departamento.

Variables de Salidas

Y2	Activa Luminarias on/off
Y6	Activa Motor
Y7	Cambio de Giro Motor
Y10	On/off luz piloto 1
Y11	On/off luz piloto 2

Variables de Entrada

X14	Tope Oeste
X15	Tope Este
X2	Manual/Automático
M2	Encender Luminarias
ID1001	Divisor de voltaje LDRs
ID1000	Posición Potenciómetro

Lectura de Datos



Figura 44. Reconocimiento de las entradas analógicas al PLC

Referencia a la figura 44, se observa que lee los datos ingresados a las dos entradas analógicas que son las LDRs y el Potenciómetro por medio del programa XCPPro V3.3.

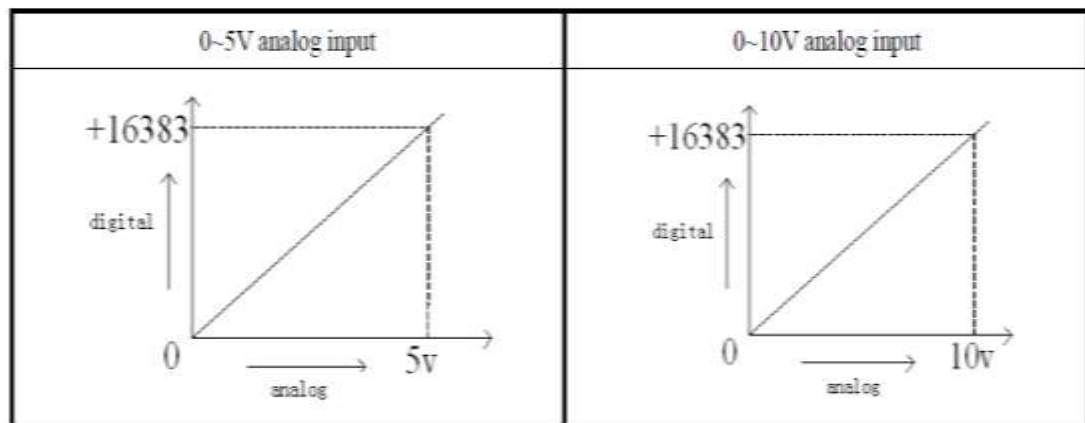


Figura 45. Relación entre la entrada analógica y la transformación datos digital

Las variables captadas para el sistema por medio de la tarjeta analógica conectada al PLC son:

Para el potenciómetro se asigna en el PLC la variable ID1000.

Para las LDRs se asigna en el PLC la variable ID1001.

Se trabaja con datos digitales como indica la figura 45, en la entrada analógica del PLC recibe un voltaje de 10 voltios lo convierte en dato digital de 16383, si recibe 5V lo convierte en valor digital de 8191.

Diseño del software para el sistema de control

En esta sección explica a todo lo relacionado en la programación del PLC utilizado en este software libre, sus características y partes del sistema para su correcto funcionamiento.

Programación Software del PLC

El software que se utiliza para el PLC Xinje es el XCPro series tool V3.3, el programa es de software libre, la distribución es gratuita, el mismo se puede descargar del sitio web del fabricante www.xinje.com, una vez ejecutado el programa aparecerá la ventana de XCPro, véase en la figura 46.

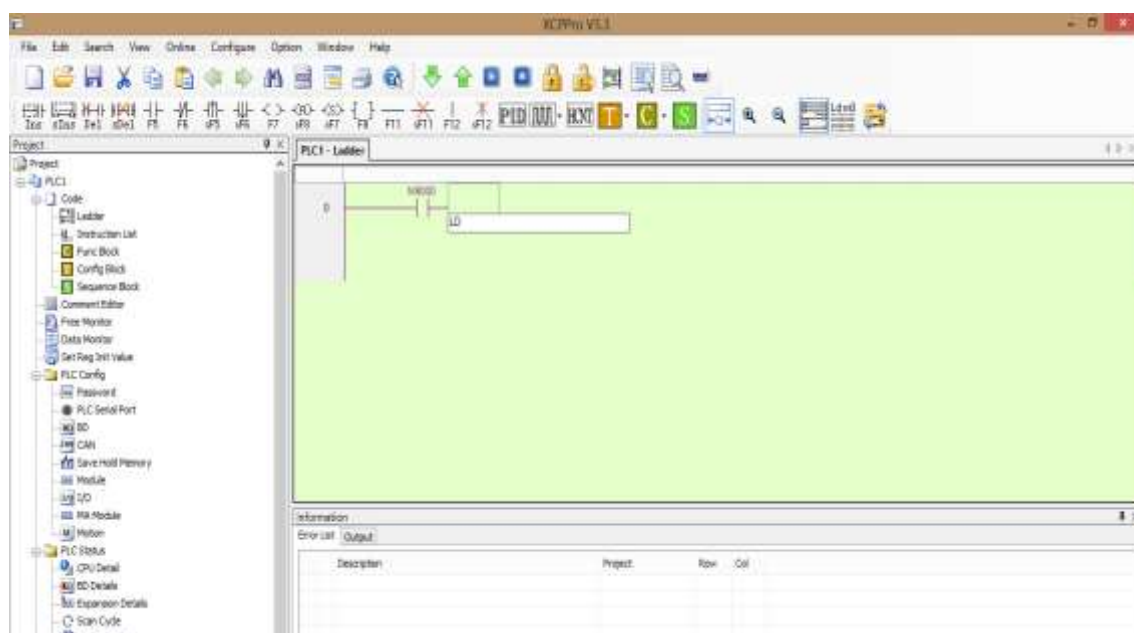


Figura 46. Ventana de inicio del software XCPro series Tool V3.3.

El modelo de la tarjeta analógica del PLC utilizado en el presente proyecto es la serie BD-2AD2DA, donde se selecciona en la ventana BD de XCPro, como se muestra en la figura 47, cuya configuración de voltaje es 10V.

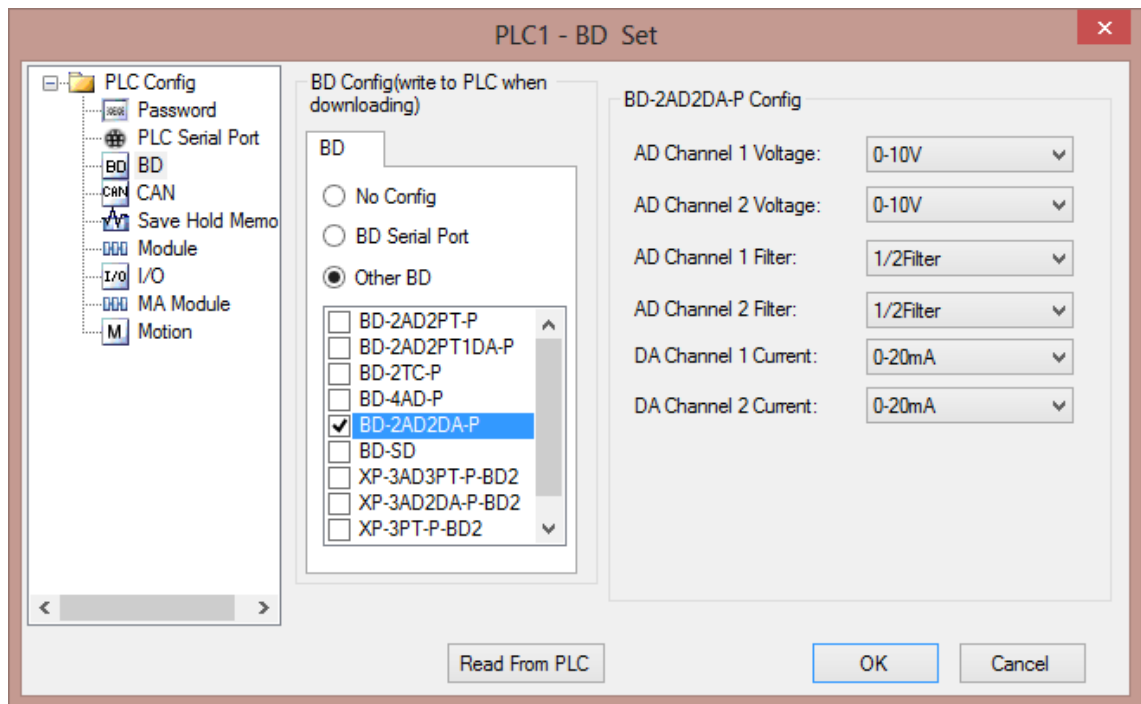


Figura 47. Ventana de selección de la tarjeta analógica

También se observa el listado de instrucciones que se ha escogido una vez realizado y culminado la programación como se muestra en la figura 48.

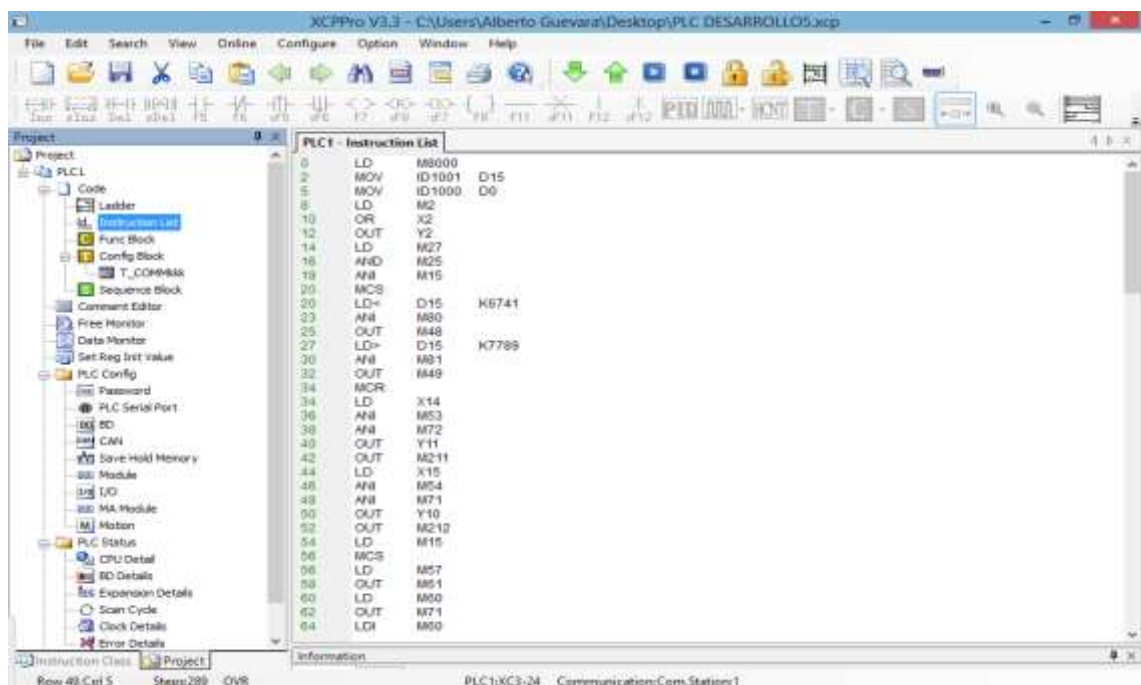


Figura 48. Lista de Variables programado al PLC

Programa de control

En esta sección se realiza el control del sistema fotovoltaico junto con la pantalla táctil touch panel para el monitoreo y supervisión del sistema. Se inicia con los Microswitch que son asignados a las entradas del PLC, las variables asignados son X14 y X15, como se muestra en la figura 49, son los topes límites de la posición del panel solar cuando el sistema está en modo manual.

También se limita el movimiento del panel de acuerdo a la posición fijada por el potenciómetro, esto es cuando el sistema está en modo automático. Así mismo estos límites dan seguridad al movimiento del panel evitando daño en el eje del motor.

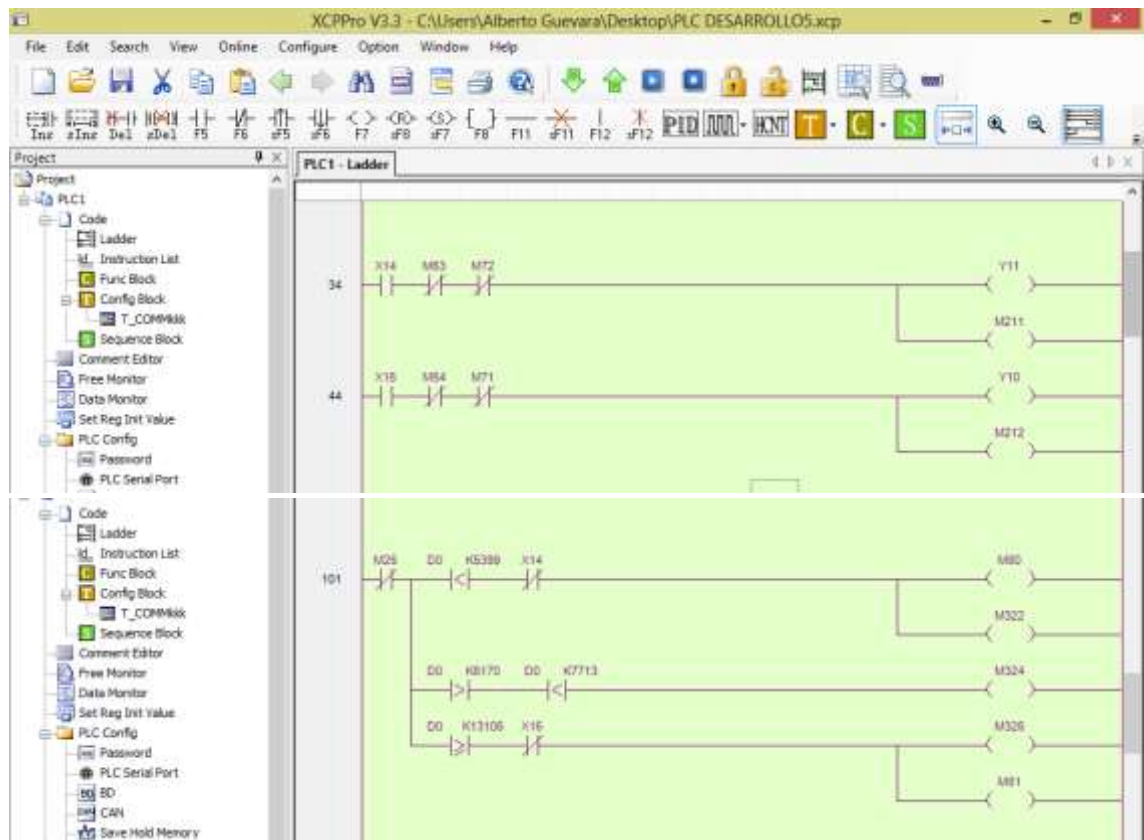


Figura 49. Límites de posición movimiento del panel.

El siguiente paso es configurar en modo manual, este modo es activado desde la pantalla táctil aquí solo se activa las salidas del PLC, el usuario u operador puede posicionar el panel solar de manera apropiada, donde el panel está estática, fijo sin importar la orientación del sol o cuando se requiera hacer algún tipo de mantenimiento. Véase figura 50.

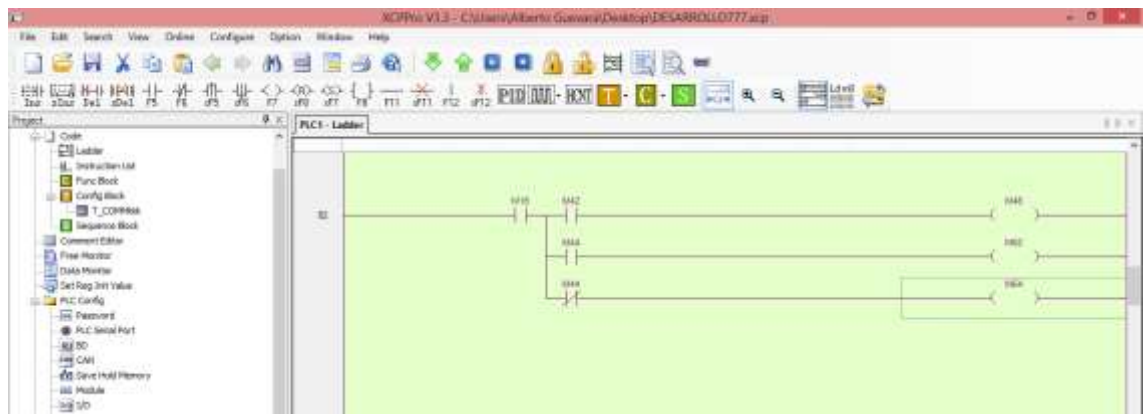


Figura 50. Programación Manual

Se configura en modo automático, como se muestra la figura 51, es habilitado por una marca M25 activando desde la pantalla táctil. Para hacer comparaciones usamos las instrucciones de menor qué y mayor qué, para comparar la lectura de divisor de voltaje de las LDRs donde indica la mayor intensidad de radiación solar y posterior a esto hace contacto con la salida del control PI. Puesto en marcha la programación se activan las marcas para realizar cambios de giros en el eje del panel solar.

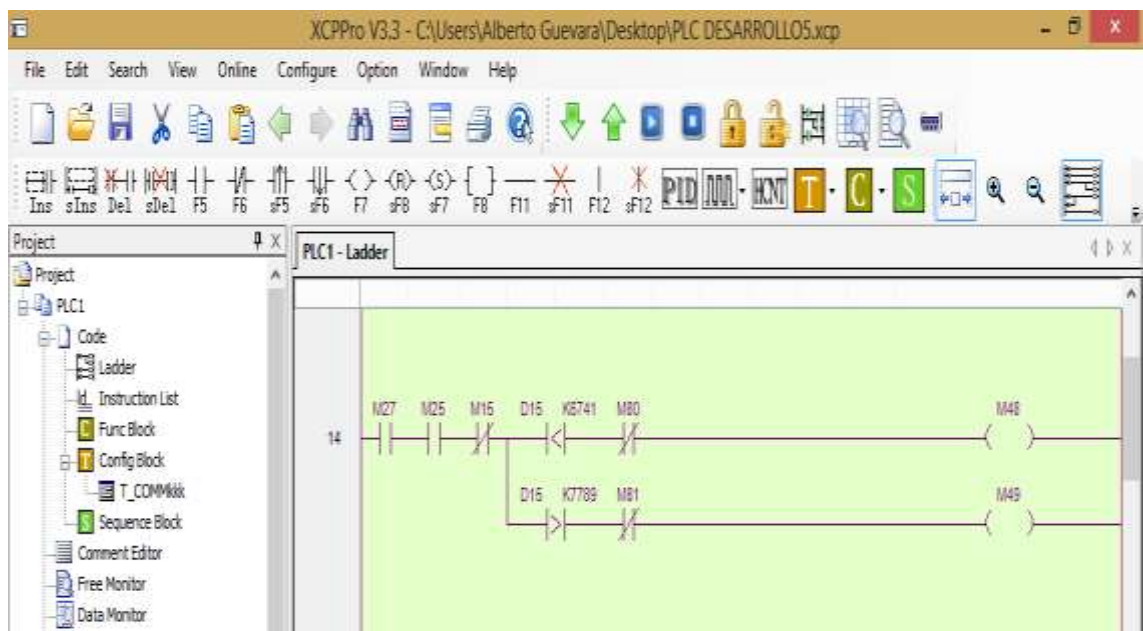


Figura 51. Programación automático

Después de realizar la programación de modo manual y automático, se programa para activar el motor, a través de los contactos abiertos y cerrados se activa y desactiva las

bobinas internas del PLC. Se asigna la variable Y6 para activar el motor y se asigna la variable Y7 para realizar cambios de giros al motor. Y6, Y7 son salidas digitales del PLC. Véase figura 52.

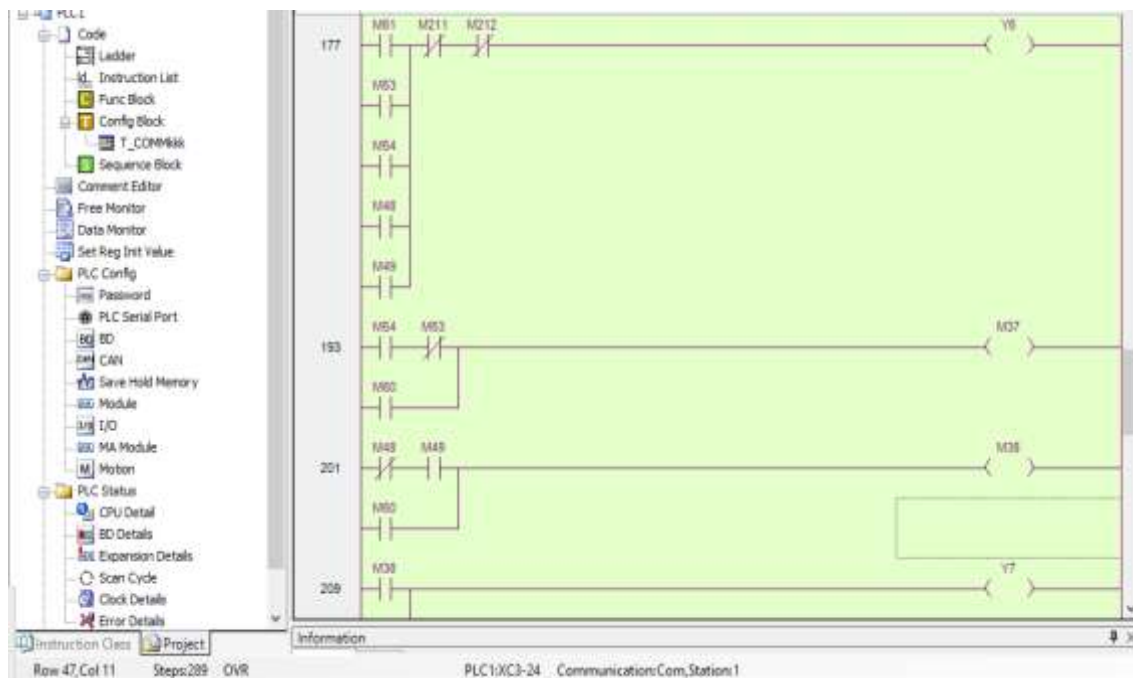


Figura 52. Programación de salidas del PLC para movimiento del panel solar.

En la figura 53 muestra la programación para activar las luminarias del departamento, se asigna la variable M2 que es activado desde el touch panel y se asigna la variable X2 entrada digital del PLC que es activado por un selector.

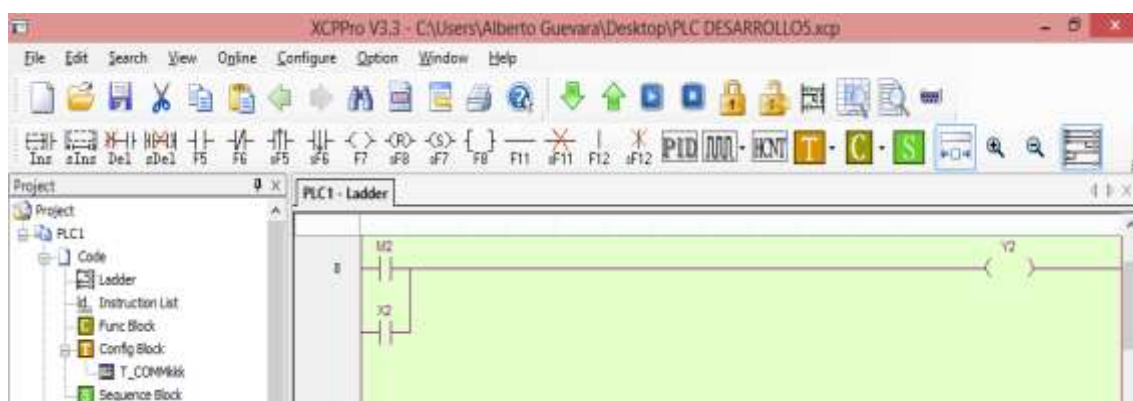


Figura 53. Encendido y apagado de las Luminarias

Se configura y programa las instrucciones de multiplicación, división, mover, y registro para hacer la conversión de digital a entero manualmente porque cuando el PLC lee dato digital de 16383 entonces en entero es 10 que representa 10 voltios. Esta conversión es para mostrar el valor de voltaje de las LDRs y puedan ser visualizadas en el touch panel. Véase figura 54.

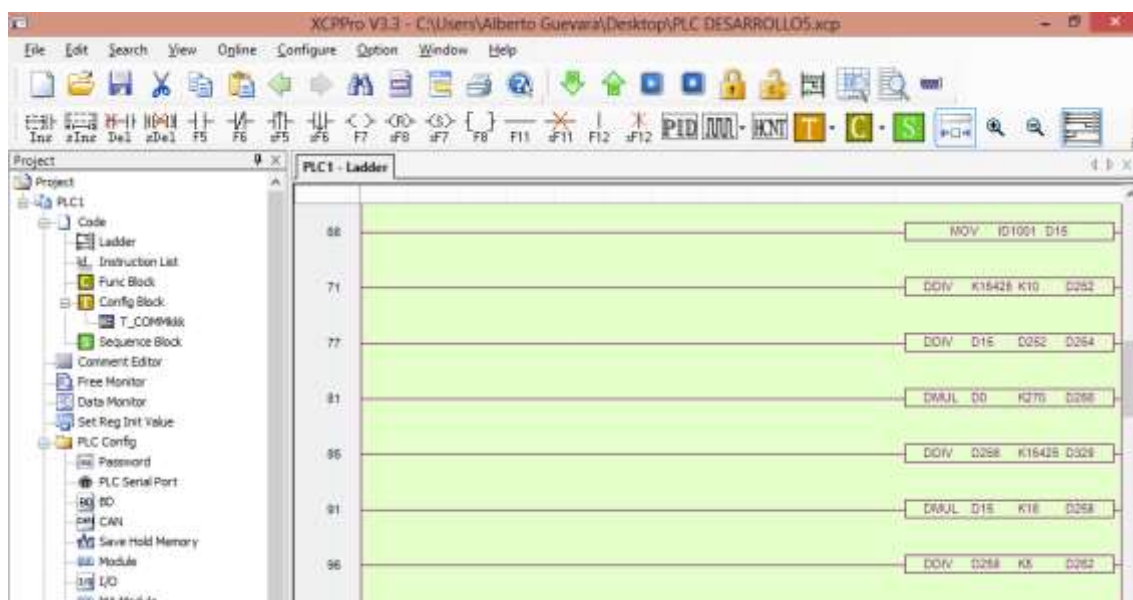


Figura 54. Conversión manual aritmética.

CONTROL PI

Este método es calculado de acuerdo a la función de transferencia propia del módulo PID integrada en el PLC Xinje, está basado en el control proporcional integral derivativo con autoajuste, usando el método de las constantes K_p , K_i , K_d , esto a medida que la variable de control de voltaje va acercando al punto de referencia 4.23V asignado.

A continuación el esquema general del controlador PID (véase figura 55):

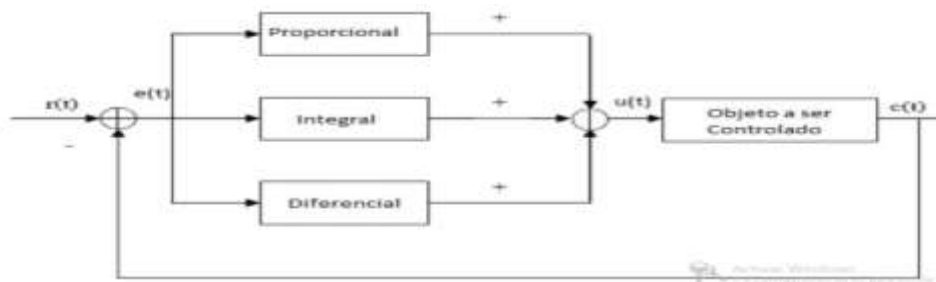


Figura 55. Controlador PID

Y dado la ecuación:

$$e(t) = r(t) - c(t) \quad (1)$$

Y función de transferencia:

$$u(t) = Kp \left[e(t) + \frac{1}{Ti \int e(t)dt} + \frac{Td \, de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

En la ecuación 1, e(t) es la deformación, r(t) es el valor dado, c(t) es el valor de salida real.

El valor de u(t) está dada por el coeficiente Kp (Proporcional), Ti es el coeficiente de tiempo (Integral), Td es el coeficiente de tiempo (diferencial), con un valor predeterminado de rango de 0 a 4095.

El fabricante del PLC Xinje tiene los valores recomendados según el sistema a controlar:

Tabla 8. Valores PID recomendado por el Fabricante.

	Temperatura	Presión	Nivel	Flujo
P	2000 – 6000%	3000 – 7000%	2000 – 8000%	4000 – 10000%
I	3 – 10 min	0.4 – 3 min	1 – 5 min	0.1 – 1 min
D	0.5 – 3 min			

Nota: Valores PID según control del sistema.

Luego de haber realizado varias pruebas se determinó que el sistema respondía y se estabiliza con los siguientes valores establecidos de manera manual:

Tabla 9. Valores Asignados en el controlador PID.

Constante	Valor Asignado
KP	100
TI	1
TD	0

El control PID está en el interior del módulo analógico. El programa de control escribe los parámetros PID para el módulo, controla el encendido y apagado de inicio PID. El periodo de control es 2s.

El programa de PLC controlará el PID auto-tune y obtener los mejores parámetros PID. Este modo es más flexible y adecuado para diversos objetos tales como temperatura, presión, caudal, nivel de líquido, voltaje, etc.

Parámetros PID dado por el fabricante PLC Xinje:

Kp - P es el parámetro proporción, para controlar el desplazamiento del sistema una vez que sucede.

Ki - I es el parámetro integral, para eliminar el error estático.

Kd - D es un parámetro diferencial, para controlar la tendencia de la señal cambiante, disminuir la vibración del sistema.

Diff - Rango de control, para hacer control PID en el rango definido.

Muerte - zona de la muerte, comparar la salida del PID actual a la anterior, si la diferencia es menor que el valor del área de la muerte, el módulo abandona el valor actual del PID y envía el último valor al PLC.

Cuando el valor de prueba es mayor que $QD + Diff$, el controlador detiene la salida; el control PID trabaja en el rango de $QD - Diff$ y $QD + Diff$.

La curva del control PID (véase figura 56):

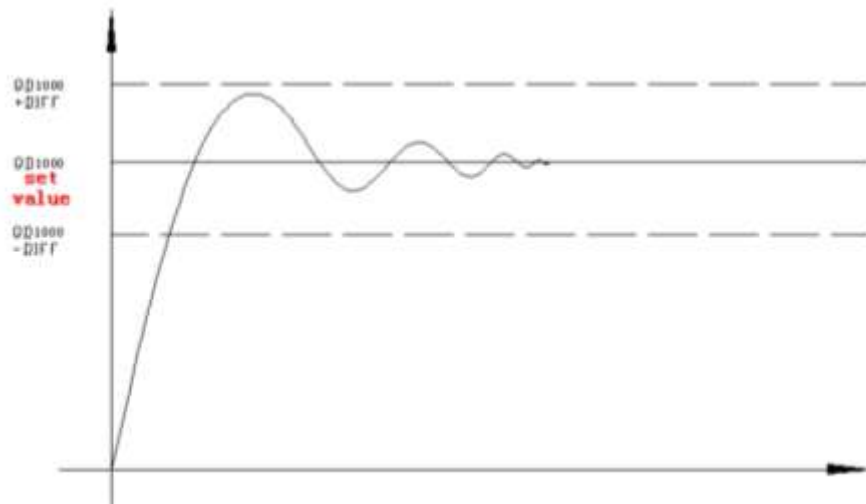


Figura 56. Curva de control PID.

Gráficas de sintonización automática PID (véase figura 57):

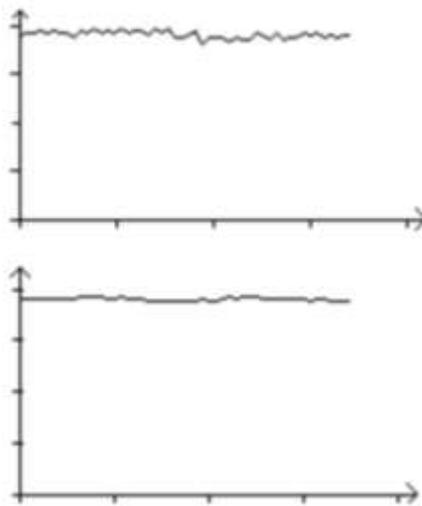


Figura 57. Gráfico PID.

La parte superior de la figura 57 el sistema es inestable, y en la parte inferior es como el sistema con control PI llega a estabilizarse.

Diagrama de bloque del sistema con control PI

La figura 58 muestra el diagrama de bloque del sistema fotovoltaico con control PI, con setpoint de 4.23V, el motor DC actúa como actuador que realizará movimiento al panel solar, y como retroalimentación del sistema el sensor LDRs.

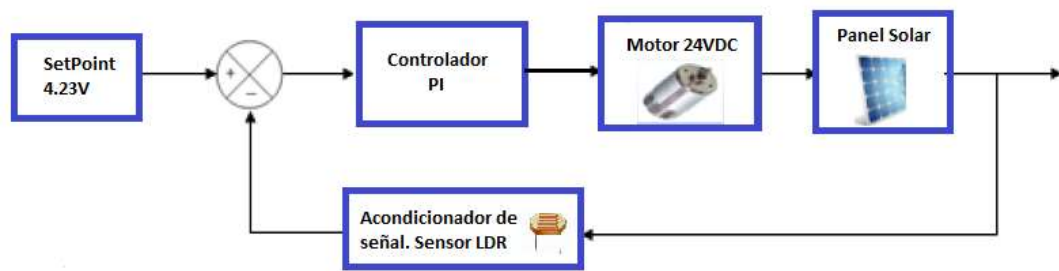


Figura 58. Diagrama de Bloque del Sistema Fotovoltaico de un grado de libertad.

Se realiza el proceso de control PI, haciendo referencia a la figura 59, damos clic en el icono PID en el programa XCPPro se elige en modo autoajuste que va calibrando automáticamente las variables que conforman en la función de transferencia de acuerdo al tiempo de muestreo de los datos dados.

Al hacer clic en el icono PID se abre una ventana llamado configuración de parámetros de instrucción PID, se configura todo lo concerniente al PID, se observa las opciones en modo manual y automático. Al dar la opción modo automático el PLC registra el valor de tiempo de muestreo en 500ms, luego elegimos la opción oscilación para habilitar la opción PI control. En esta ventana se debe seleccionar esta opción para que el control PI entre en proceso de autoajuste.

La función de control PI ayuda el control de las LDRs de manera proporcional para controlar el movimiento del panel solar por medio del motor DC, para que el panel esté perpendicularmente a la trayectoria del sol.

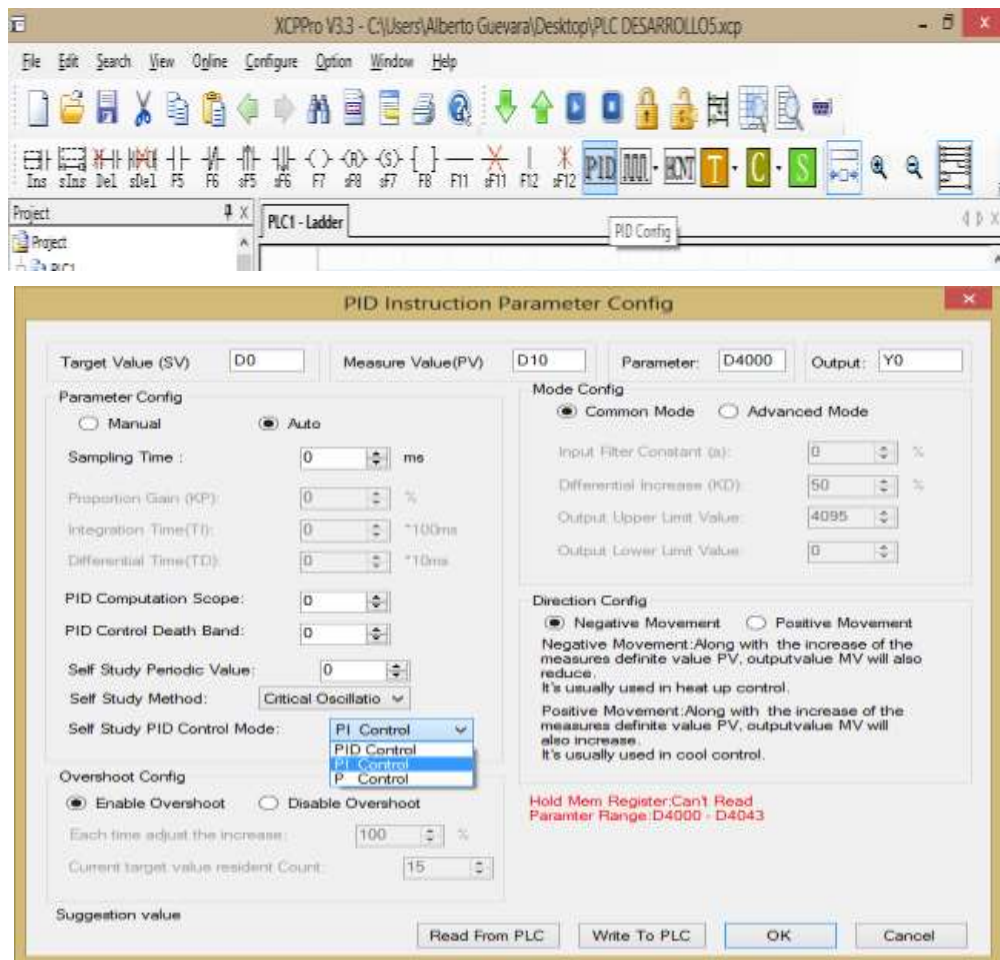


Figura 59. Selección del control PI

En la parte superior de la figura 60 se debe colocar los registros en orden de izquierda a derecha primero el registro que servirá como setpoint para el programa es el registro D75 que en tensión es 4.23V y en dato digital es 8175. A continuación el registro que sirve como variable de control almacenada en el registro D15 el tercer registro se configura por defecto donde especifica el tiempo de muestreo que es calculado automáticamente por el programa y en la parte final del registro se coloca la salida por donde estará efectuando el control que es M777.

PID Instruction Parameter Config

Target Value (SV) Measure Value(PV) Parameter: Output:

Parameter Config

☐ Manual ☒ Auto

Sampling Time : ms

Proportion Gain (KP): %

Integration Time(TI): *100ms

Differential Time(TD): *10ms

PID Computation Scope:

PID Control Death Band:

Self Study Periodic Value:

Self Study Method:

Self Study PID Control Mode:

Mode Config

☒ Common Mode ☐ Advanced Mode

Input Filter Constant (a): %

Differential Increase (KD): %

Output Upper Limit Value:

Output Lower Limit Value:

Direction Config

☐ Negative Movement ☒ Positive Movement

Negative Movement: Along with the increase of the measures definite value PV, outputvalue MV will also reduce.
It's usually used in heat up control.

Positive Movement: Along with the increase of the measures definite value PV, outputvalue MV will also increase.
It's usually used in cool control.

Hold Mem Register:Can't Read
Paramter Range:D4100 - D4143

Overshoot Config

☒ Enable Overshoot ☐ Disable Overshoot

Each time adjust the increase: %

Current target value resident Count:

Suggestion value

Figura 60. Configuración de parámetros del controlador PID.

En las siguientes figuras (véase figuras 61, 62, 63), muestran la programación en modo manual del PID, también la programación del PID en forma automático, y la salida del control PI se asigna la variable Y111 que es insertado en la programación cuando el sistema fotovoltaico está en modo automático para activar y desactivar el control PI.



Figura 61. Bloque PID modo manual

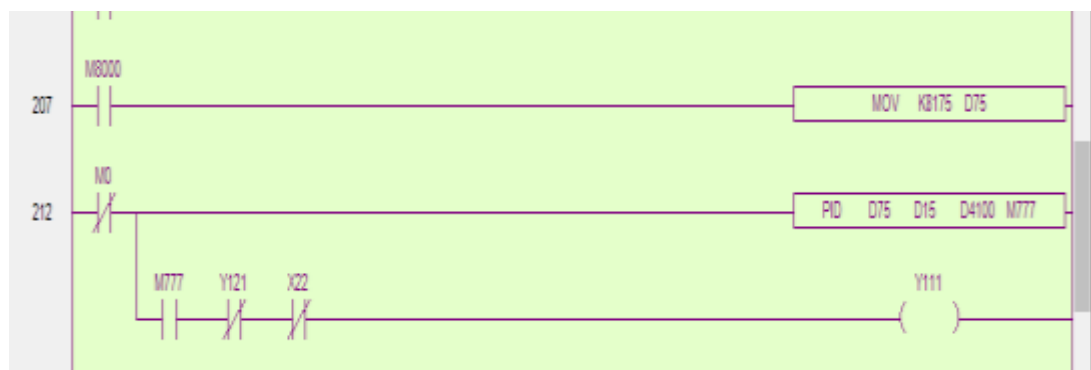


Figura 62. Programación del control PID

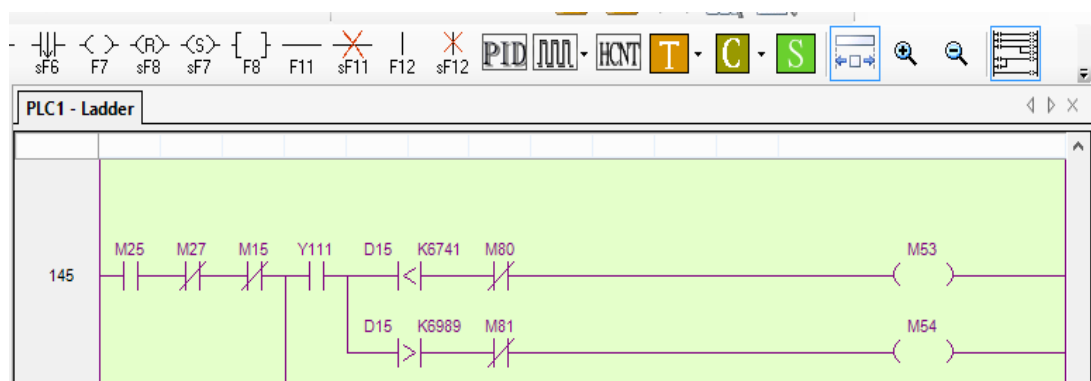


Figura 63. Activación de la salida PI Y111

Programación del Panel Touch

En el programa TouchWin edit tool del touch panel, se agrega, se edita funciones como botones, luces, imágenes, gráficos, y se elige el modelo del touch panel TH465-UT de la marca del PLC Xinje, véase figura 64.

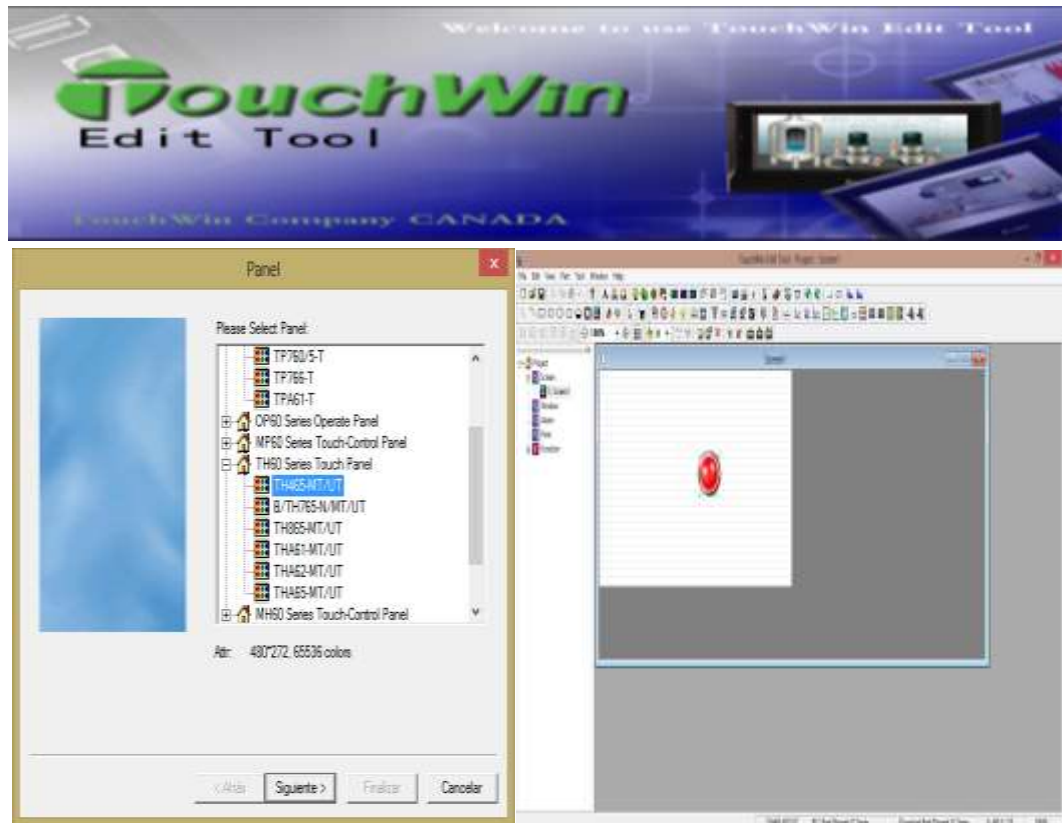


Figura 64. Selección y Ventana de inicio del Touch Panel

Se configura la programación en TouchWin edit tool del touch panel para monitorear, visualizar el sistema fotovoltaico, se muestran las entradas y salidas digitales, también se muestra el estado de las entradas analógicas donde consta las variables de las LDRs y potenciómetro para dar a conocer la posición del panel solar.



Figura 65. Pantalla de Información y Menú

Referente a la figura 65 de lado izquierdo se observa la información como el tema del proyecto, el nombre del autor, instituciones, y en la figura de lado derecho se observa el menú del sistema fotovoltaico y la característica del equipo, las opciones de salida y entrada digital y entrada analógica.



Figura 66. Pantalla de Salida y Entrada digital

Referente a la figura 66 de lado izquierdo informa la salida digital del PLC cuando se activa las luminarias, sensores de topes, y el cambio de giros que realiza el motor. La figura de lado derecho se observa la entrada digital aquí se informa que entradas están activa como las luminarias, los sensores topes y la activación del motor.

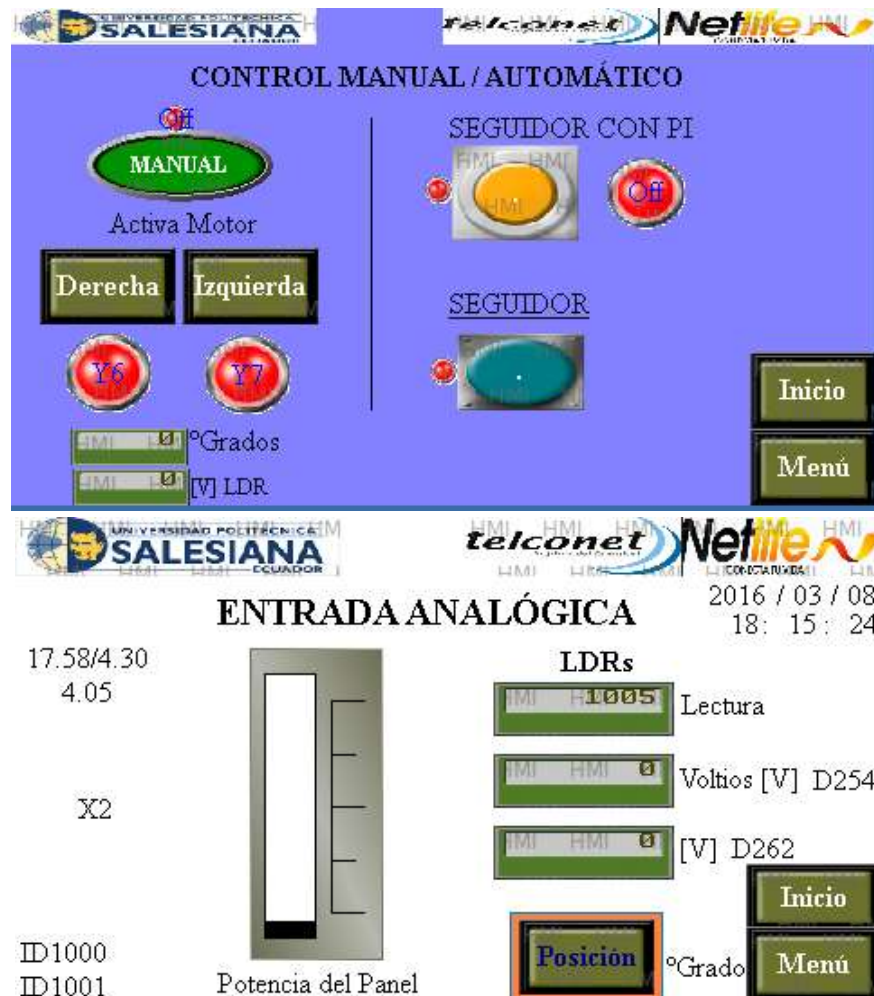


Figura 67. Pantalla Entrada Analógica y Modo Manual/Auto.

En la parte superior de la figura 67 muestra la pantalla de operación para activar el sistema de modo manual y/o automático, para ubicar el panel en la posición en que se desee cuando está en modo manual, y en modo automático con control PI para que el panel solar siga la trayectoria del sol. Así mismo se visualiza las salidas digitales del PLC y lecturas del potenciómetro y LDRs.

En la parte inferior de la figura 67 se observa la entrada analógica del PLC, aquí se visualiza el valor de voltaje y lectura de las LDRs.

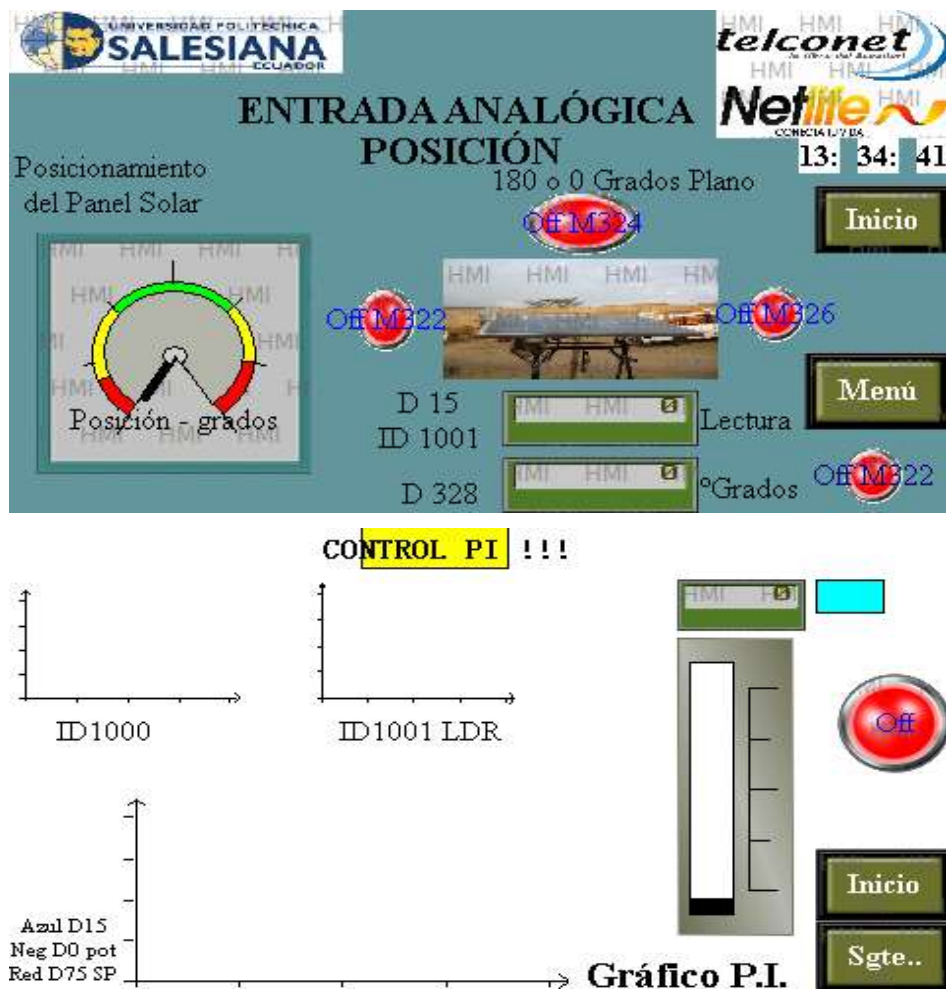


Figura 68. Pantalla de Posición del Panel y gráfico control PI

En la parte superior de la figura 68 muestra la posición del panel solar, se visualiza la orientación del panel si está por debajo de los 90 grados, por encima de los 90 grados y cuando está alrededor de los 90 grados, así mismo se observa la lectura del potenciómetro y los grados correspondientes que se encuentra el panel con respecto al sol. En la parte inferior de la figura se observa la gráfica de control PI y el valor de voltaje de las LDRs, y el foco que representa cuando está activado el control PI.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se detalla el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico donde se realiza pruebas de posicionamiento, el voltaje de panel, alimentación de luminarias, pruebas de salidas digitales del PLC.

Pruebas de Posicionamiento

Se supervisó el sistema de posicionamiento del panel solar durante un tiempo de 12 horas, iniciando desde las 6:00 am, pudiendo verificar el funcionamiento del mismo. El sistema de posicionamiento está en modo automático, durante la mañana toma un ángulo de inclinación por debajo de los 90 grados en sentido ESTE. Véase figura 69.



Figura 69. Panel Solar con Orientación Este (6:00 am – 10:00 am)

Al llegar cerca del medio día el panel solar toma la posición de alrededor de los 90 grados, como se muestra la figura 70, también muestra el funcionamiento del touch panel visualizando la lectura del movimiento del Panel solar, en este caso el panel está a 90 grados y cerca de 12:00pm.



Figura 70. Panel solar en estado horizontal (11:20 am – 13:15 pm)

Por último, al finalizar la tarde, el panel solar está en otra posición tomando un ángulo de inclinación por encima de los 90 grados en sentido OESTE, véase figura 71.



Figura 71. Panel Solar con orientación Oeste (15:10 pm – 17:40 pm)

Pruebas de Voltaje del Panel



Figura 72. Prueba de voltaje del panel solar

Referencia a la figura 72 muestra el valor de voltaje de 3.19V que tiene el panel solar, esto es cerca de las 3:11 am. El panel solar está en estado de invernación y en horario nocturno.

Pruebas de Alimentación

En las figuras 73 y 74 se observa las pruebas de alimentación, donde la batería suministra energía a las luminarias y tomacorriente en el departamento.



Figura 73. Pruebas de Alimentación 1



Figura 74. Pruebas de Alimentación 2

Pruebas del PLC Xinje XCE 24RT



Figura 75. Comunicación PLC con pantalla táctil

Referente a la figura 75, el PLC Xinje opera correctamente y se visualiza que el PLC está en “run” activando la entrada X2 y salida Y2 del PLC que activa y desactiva las luminarias.

Pruebas de salidas digitales del PLC



Figura 76. Pruebas salidas digitales

De referencia a la figura 76 se muestra las activaciones de las salidas digitales del PLC Xinje. En el Tablero de control se observa la activación de las luces pilotos encendidos que indica las luminarias y sensor tope está operando. Y en el touch panel es visualizado las salidas Y2, Y11 del PLC.

Pruebas de funcionamiento de control PI.

Salida de PI

El principal inconveniente es estabilizar la señal de la salida del control PI sin contar con el osciloscopio, pero en base al análisis se establece una vez que empiece a funcionar el lazo de control cierra y se retroalimenta.

Para modelar el sistema se utiliza la herramienta auto tune de Matlab para obtener los valores proporcional, integral, derivativo para el panel solar.

El resultado logrado del control PI se muestra en la figura 77, la línea de color lila es el Setpoint del sistema y el color amarillo el resultado del control PI.

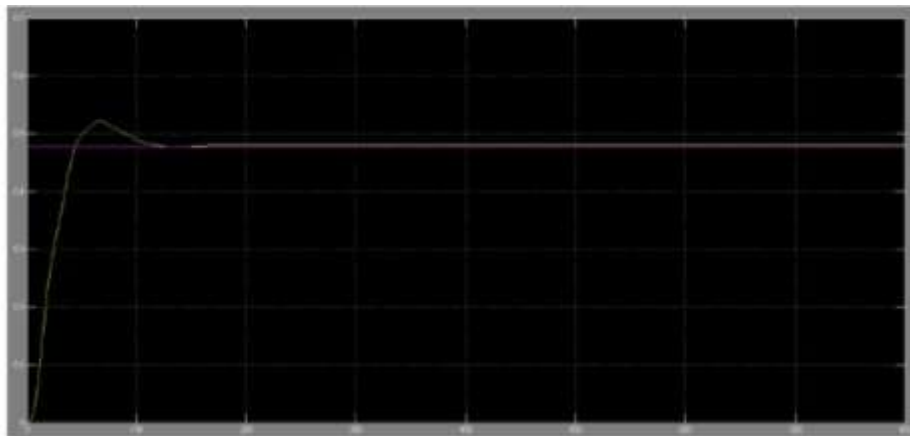


Figura 77. Resultado del control PI

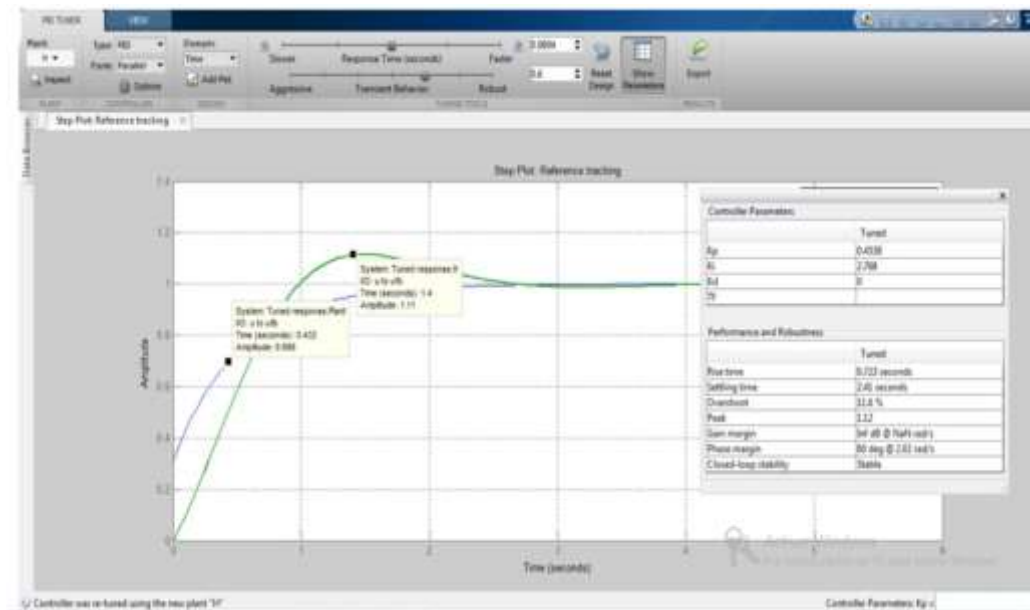


Figura 78. Control PID tuner.

La medición del PI fue realizada de manera empírica, la cual se permitió determinar los parámetros de control de acuerdo a la especificación del sistema, en este caso el motor reductor controla el movimiento del eje del panel solar.

Para generar el control PI se da en modo de autoajuste en donde se establece el punto de estabilidad, el tiempo de muestreo que genera el PLC por defecto.

Se identifica el tiempo en que tarda de estabilizarse y en base de la ecuación (abajo) dado por el fabricante por el modo de autoajuste del PID.

Siguiente valor de corriente objetivo = valor objetivo actual + (valor objetivo final - valor objetivo actual) $\times$ 2/3;

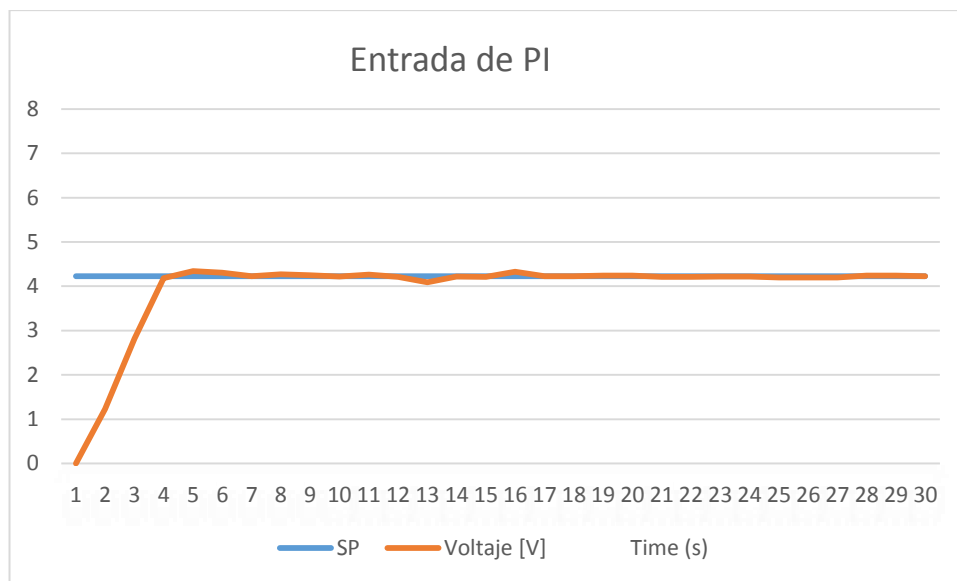
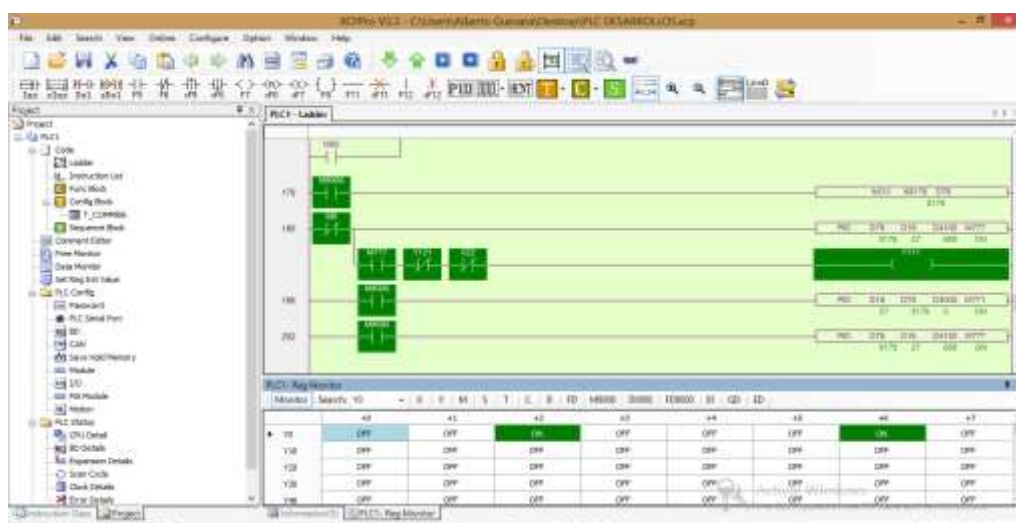


Figura 79. Entrada control PI

En la figura 79, se aprecia el comportamiento de la entrada control PI con un Setpoint de 4.23V, a lo largo del tiempo y el sistema para el control llega a estabilizarse.



Pruebas Gráficos de Control PI

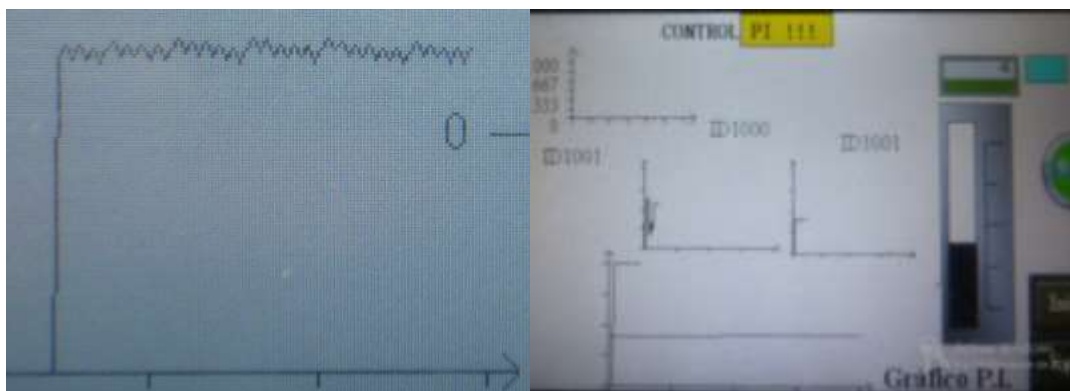


Figura 81. Gráficos control PI

Referente a la figura 81 se muestra las gráficas de control PI vista en el touch panel, En la figura de lado izquierdo es sin control y la figura derecho en la parte inferior muestra el sistema con control PI.

Pruebas generales de operación MAN. /AUT.

En el programa XCPPro del PLC Xinje observa que el sistema opera en modo manual realiza pruebas haciendo cambios de giros al motor y es visualizado en el touch panel. Véase figura 82.

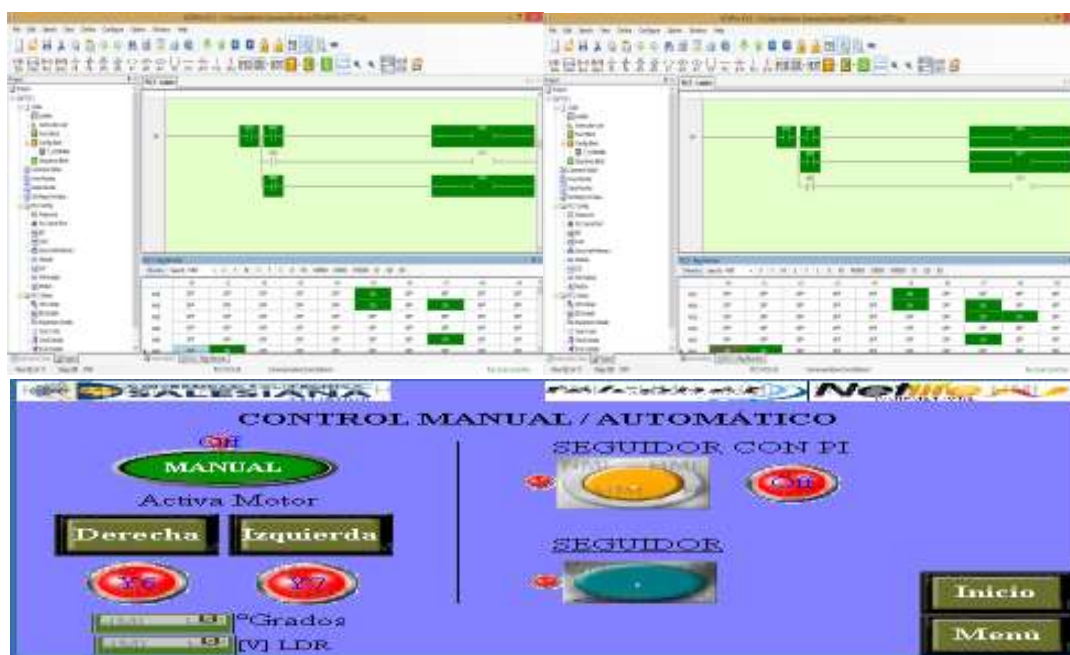


Figura 82. Lectura en modo manual

Resultados Obtenidos

El primer paso es ubicar el panel solar en posición fija a 90 grados, los datos de voltaje tomados durante el día dan un valor promedio de voltaje 17.92V dado por la radiación solar. (Véase en la tabla 10 página 79).

De esta manera se establece la diferencia entre el uso del sistema de posicionamiento automático seguidor solar y en posición fija.

77

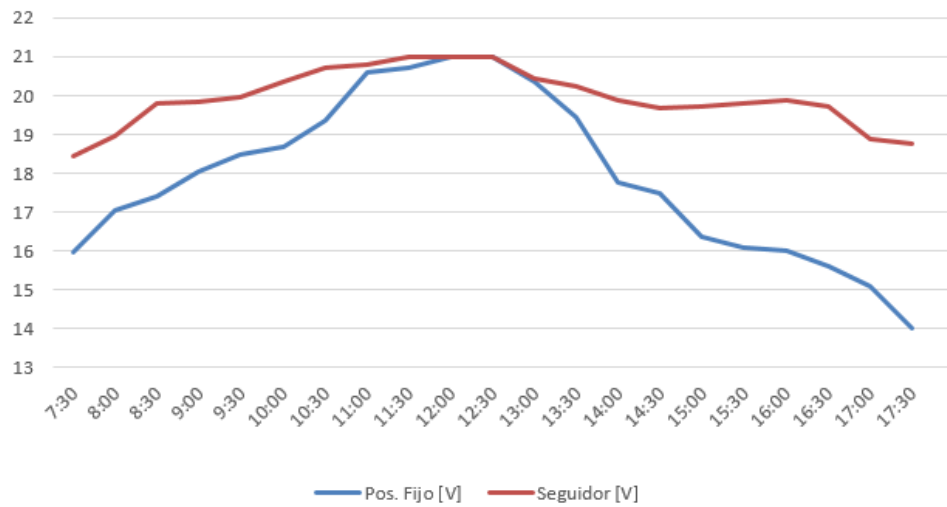


Figura 84. Diferencias entre un panel fijo y panel seguidor solar

En base a los resultados obtenidos y reflejados en la figura 84, se construye la siguiente tabla con los valores logrados cada media hora:

Tabla 100. Análisis de los Resultados Obtenidos.

	Pos. Fijo	Seguidor
HORA	[V]	[V]
7:30	15,95	18,43
8:00	17,05	18,95
8:30	17,39	19,81
9:00	18,05	19,83
9:30	18,49	19,96
10:00	18,67	20,35
10:30	19,35	20,73
11:00	20,58	20,79
11:30	20,88	20,98
12:00	20,99	20,99
12:30	20,99	20,99
13:00	20,34	20,45
13:30	19,42	20,24
14:00	17,76	19,88
14:30	17,46	19,68
15:00	16,35	19,72
15:30	16,09	19,79
16:00	15,99	19,86
16:30	15,59	19,72

17:00	15,09	18,89
17:30	13,99	18,76
Promedio	17,92	19,94

Nota: Cuadro comparativo posición fija VS posición seguidor

Referente a la tabla 10, cuando el sistema fotovoltaico llega a mediodía hasta las 13:30 pm, el panel solar recibe un mayor rendimiento de energía cuando está en movimiento, obteniendo una tensión máxima de 20.99 voltios.

Por otro lado la radiación obtenida es de forma directa golpeando perpendicularmente al panel solar logrando cargar la batería de una manera más eficiente.

CONCLUSIONES

Se logró determinar que el sistema fotovoltaico con posicionamiento de un grado de libertad mediante un controlador lógico programable es útil en comparación a un sistema de posición fija ya que obtiene un mejor rendimiento de energía durante el día, véase en la figura 84.

El valor recibido por el panel solar es afectado por la nubosidad provocada por la radiación difusa, dando paso a la disminución considerable en el rendimiento del sistema y provoca movimientos innecesarios en el eje del panel fotovoltaico.

Mediante los cálculos realizados en la propuesta se pudo verificar una correcta selección de equipos de control, adquisición de datos, estructura metalmecánica para el panel, actuador y sensores, en la implementación del sistema fotovoltaico.

De acuerdo al análisis con los resultados se comprueba que el sistema suministra energía por 6 horas con cargas de 300W que son las luminarias y cargadores de hasta 65W con la batería cargada al 100% en el día, y en la noche el sistema alimenta energía por 4 horas con potencia de 120W con la batería cargada al 100%.

El control PI proporcionado por el fabricante del PLC Xinje trabaja eficientemente en el sistema.

RECOMENDACIONES

Una vez culminado y verificado el funcionamiento del control de PI puede dar paso a futuras investigaciones en desarrollar otro tipo de control como es el fuzzyLogic y/o realizar comunicación entre PLC Xinje y Labview.

Verificar y hacer inspección al regulador de voltaje donde indica el nivel de carga de la batería.

Al operador se menciona que el sistema fotovoltaico funciona a 110VAC con una potencia máxima de carga 300W con corriente de 3A para las luminarias, tomacorrientes y tablero de control.

Engrasar mensualmente las chumaceras y rodamientos que sostiene el eje del panel solar junto con el motor y mantener limpio el panel fotovoltaico.

BIBLIOGRAFÍA

- Paneles Fotovoltaicos (2011).Funcionamiento de un panel Fotovoltaico. Recuperado de: <http://paneles-fotovoltaicos.blogspot.com/2013/01/que-es-y-como-funciona-un-panel.html>
- Renova Energía (2015). Energía solar Fotovoltaica. Recuperado de: [http://www.renova-energia.com/energia_renovable/energia_solar_fotovoltaica.html](http://www.renova-energia.com/energia Renovable/energia_solar_fotovoltaica.html)
- Xinje, Manual del usuario XCC series PLC, Wuxy City, Noviembre 2014
- TEJADA Carlos, MOTOCHÉ Leonardo., *Posicionamiento de paneles solares usando lógica difusa para prácticas de laboratorio de control automático*, Tesis U.P.S Facultad de Ingeniería Electrónica, Guayaquil, Diciembre 2012.
- LLANGARÍ Franklin, *Diseño y desarrollo de un sistema de posicionamiento automático seguidor de la luz solar de un eje, controlado por medio de un microcontrolador y un motor paso a paso como actuador, empleando un control con lógica difusa*, Trabajo de titulación U.P.S., Quito, Febrero 2015.
- GALARZA Giovanny, GORDILLO Carlos, RIVERA Carlos, *Implementación de energía solar y estudio de la energía eólica en Puerto Roma*, Tesis U.P.S., Carrera de Ingeniería Eléctrica, Guayaquil, Mayo 2012.
- MORÁN Iván, LEÓN Kleber, *Diseño e implementación de un sistema de iluminación fotovoltaico de respaldo para los laboratorios de electrónica de potencia y control automático*, Tesis U.P.S. Carrera de Ingeniería Electrónica, Guayaquil, Mayo 2015.
- SALAZAR Andrea, *Diseño de un sistema fotovoltaico con control de posicionamiento e implementación de luces tipo led para un pasillo del bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana de la ciudad de Guayaquil*, Tesis U.P.S. Carrera de Ingeniería Electrónica, Guayaquil, Marzo 2015.

- CASTRO Edwing, *Diseño e implementación de un sistema de marcaje digital de campo utilizando energía solar y tecnología XBEE*, Tesis U.P.S. Carrera Ingeniería Electrónica, Guayaquil, Abril 2015.
- XINJE, *SOFTWARE MANUAL*, Wuxi Xinje Electronic. Jiangsu, China 2002
- FIALLOS Denisse, MÉNDEZ Mario, USCA Ricardo, *Implementación de iluminación led con monitoreo para ahorro de energía en unidad de cuidados intensivos pensionado y estudio de la factibilidad de un sistema de energía solar en el Hospital León Becerra*, Tesis U.P.S. Carrera de Ingeniería Electrónica, Guayaquil, Agosto 2014.
- RECALDE Néstor, PRIETO Fernando, *Diseño e implementación de un sistema Fuzzy-PID para control del ángulo de inclinación del panel solar monocristalino de 30 Watt*, Tesis U.P.S. Carrera de Ingeniería Electrónica, Quito, Octubre 2014.
- Auto Solar (s.f. de s.f. de s.f.) Baterías. Recuperado el 17 de diciembre de 2015, de Información acerca de las Baterías: <https://autosolar.es/baterias/bateria-gel/baterias-ciclo-profundo-gel>
- Deltavolt (s.f. de s.f. de s.f.) baterías. Recuperado el 19 de diciembre de 2015, <http://deltavolt.pe/>
- AYALA Silvia, PACHECO Gabriel, *Implementación de un sistema de control y monitoreo de cloración de agua en forma remota mediante tecnología Zigbee para la planta de potabilización “El Calzado” de la EPMAPAL*, Tesis Escuela Politécnica del Ejercito, Carrera Ingeniería Mecatrónica, Latacunga, Junio 2013.
- Sitio Solar (2014). Los paneles solares fotovoltaicos. Recuperado de: <http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm>

- Ingeniería Verde (2014). Energía Solar. Recuperado de: <http://www.ingenieriaverde.org/preguntas-frecuentes/>
- Fidestec (2015). Fuente Conmutada. Recuperado de: <http://fidestec.com/blog/fuentes-de-alimentacion-conmutadas-01/>
- Erenovable (2015). Tipos de energías renovables. Recuperado de: <http://erenovable.com/tipos-de-energias-renovables-no-convencionales>
- Proviento (2015). Recuperado de: <http://www.proviento.com.ec/proyectos.html>
- E-ducativa (15 de 11 de 2015). *PID*. Recuperado de: http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//4750/4926/html/15_controlador_de_accin_proporcional_integral_y_derivativa_pid.html
- Mazzone (16 de 11 de 2015). *Controladores PID*. Recuperado de: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>
- AVILÉS Juan, *Diseño y construcción de un sistema de control automatic para optimizer el uso de una máquina tipo brizio basi dov 4000, para tratamiento de aceite dieléctrico de transformador para la empresa Tecniesat*. Tesis U.P.S. Carrera Ingeniería Eléctrica, Cuenca, Diciembre 2011.

CRONOGRAMA

Tabla 11. Cronograma del Proyecto Técnico 1.

REPORTES	ago-15	sep-15	oct-15	nov-15	dic-15	ene-16	feb-16	mar-16
Investigación de PLC XINJE, software, aplicaciones.								
Investigación Sistema Fotovoltaico y conexiones.								
Definición de materiales, equipos a utilizar.								
Cotización de materiales, equipos y herramientas.								
Diseño de estructura de 1 grados de libertad.								
Diseño de planos de tablero de control.								
Compra de PLC Xinje								
Instalaciones eléctricas y electrónicas.								
Programación y conexiones.								
Ajustes del control PID.								
Pruebas 1.								
Pruebas 2.								
Pruebas 3.								
Final del proyecto.								
Documento Redacción.								

Nota: Cronograma en tiempo indicado del proyecto.

Tabla 12. Cronograma del Proyecto Técnico 2.

REPORTES	abr-16	may-16	jun-16	jul-16	ago-16	sep-16	oct-16
Investigación de PLC XINJE, software, aplicaciones.							
Investigación Sistema Fotovoltaico y conexiones.							
Definición de materiales, equipos a utilizar.							
Cotización de materiales, equipos y herramientas.							
Diseño de estructura de 1 grados de libertad.							
Diseño de planos de tablero de control.							
Compra de PLC Xinje							
Instalaciones eléctricas y electrónicas.							
Programación y conexiones.							
Ajustes del control PID.							
Pruebas 1.							
Pruebas 2.							
Pruebas 3.							
Final del proyecto.							
Documento Redacción.							

Nota: Cronograma en tiempo indicado del proyecto.

PRESUPUESTO

Tabla 13. Listado de Materiales 1

MATERIALES DEL PROYECTO		
CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO
PLC XINJE XC3-24RT-E-14IN-10OUT	1	221
MÓDULO ANALÓGICO	1	522
TOUCH PANEL FULL COLOR TH-465	1	345
CABLES PLC-PANTALLA	1	54
REDUCTOR 60:1	1	111
GASTOS VARIOS -SUMINISTROS	1	450
PC	1	423
Subtotal:		2126

Nota: Presupuesto financiado por el Autor.

Tabla 14. Listado de Materiales 2

MATERIALES DEL PROYECTO		
CONCEPTO	CANTIDAD	COSTO
PANEL SOLAR 150 W	1	350
INVERSOR 400W	1	100
BATERÍA GEL 120AH	1	550
ESTRUCTURA DEL PANEL	1	100
MOTOR DC	1	100
REGULADOR SOLAR 20 ^a	1	150
MATERIALES DE CONEXIONES	1	250
MATERIALES ELÉCTRICOS	1	200
	Subtotal	1800

Nota: Presupuesto financiado por la empresa TELCONET S.A.

ACRÓNIMOS

Abreviaturas, unidades y acrónimos

SFV: Sistema Fotovoltaico.

UPS: Universidad Politécnica Salesiana.

PLC: Controlador Lógico Programable.

[V]: Voltaje.

[A]: Amperios.

[W]: Watts, Vatios.

TN: Telconet.

PWM: Modulación ancho de pulso.

PID: Control Proporcional Integral derivativo

LD: Programación en Escalera

VDC: Voltaje corriente directa

VAC: Voltaje corriente alterna

AGM: Absortion Glass Matter (material de vidrio absorbente).

SCADA: Supervisión, Control y Adquisición de Datos

GLOSARIO

P

Panel Solar: Un panel solar o módulo solar es un dispositivo que aprovecha la energía de la radiación solar. Los paneles fotovoltaicos son utilizados para generar electricidad mediante energía solar fotovoltaica.

R

Regulador Solar: Dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobre descargas profundas. El regulador de tensión controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil.

S

Sistema fotovoltaico: Sistema de paneles fotovoltaicos conectados entre sí que funciona como unidad para producir energía.

Fuente: Google maps

ANEXO 2

DATASHEET DE CML 20A. REGULADOR



CML series (5 – 20 A)

Controladores de Carga Solar



- Estado de Carga de la Bateria visualizado con 3 LEDs
- Pre aviso acustico de desconexion de carga
- Regulacion PWM (tipo serie)
- Cargado profundo, ecualizado y de flotacion, tambien para VRLA
- Deteccion automatica para 12 V y 24 V
- Compensacion de temperatura integrada
- Terminales grandes (hasta 16 mm²)
- SOC y voltaje controlado LVD
- Completamente protegido electronicamente

La serie CML es una sofisticada familia de controladores de carga solar para aplicaciones de bajo costo. El circuito electronico esta equipado con un microcontrolador que proporciona alta eficiencia tecnologica de carga junto con una excepcional visualizacion, advertencia y funciones de seguridad.

El metodo de cargado PWM con compensacion de temperatura de tres estados (boost, ecualizacion, flotacion)

es ahora ajustable para baterias de acido plomo selladas o con ventilacion. La nueva version tambien permite, ya sea por SOC o voltaje controlado, una funcion de desconexion por bajo voltaje.

El estado de la bateria es claramente indicado por tres LEDs. Como el primer controlador en el mercado en este rango de precio, viene con la caracteristica de un pre-aviso acustico de desconexion de carga por bajo voltaje.

ANEXO 3

PLANILLA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO



www.renova-energia.com

FACTURA PROFORMA

Fecha: martes, 21 de julio de 2015

Proforma: RNV - OFER - 6291 - 21/07/15

RENOVAENERGIA S.A.
RUC: 1792187567001

CLIENTE: Alberto Guevara
RUC:
DIRECCIÓN: Quito Ecuador

Pasaje Sánchez Melo OE1-37 y Av. Galo Plaza Lasso
Quito - Ecuador
Teléfonos: (593 2) 2403643, (593 2) 2417863 Ext. 101 y 102
Celulares: (593 9) 87000710, (593 9) 87593688

TELÉFONO:
CELULAR: cguevara.ups@gmail.com
E-MAIL:
WEB:
CLIENTE:

e-mail: info@renova-energia.com
www.renova-energia.com

OFERTA ECONÓMICA

Equipos	Código y Modelo	Q	Precio Unitario	Precio Unitario incluido IVA	SUBTOTAL	TOTAL (IVA)
Paneles	MD058 Sunlink Modelo SL0150-12P 150 , 12Vdc nominal 150Wp, 12 V, 150 W	1	203,41 \$	227,82 \$	203,41 \$	227,82 \$
Reguladores Dome.	RD003 Phocos CML 12/24V 15/15 A CML15-2.1, 12 / 24 V, 15 A	1	67,41 \$	75,50 \$	67,41 \$	75,50 \$
Baterías	BT065 Ritar Power RA12150 12Vdc 150Ah 150Ah@10horas, 12V, 150Ah	2	496,13 \$	555,67 \$	992,26 \$	1.111,33 \$
Inversores	IN026					

ANEXO 4

DATASHEET BATERÍA AGM 12120

EverExceed®
power your applications

High Rate Range VRLA



SEALED VRLA MONOBLOC
AGM BATTERIES

HR-12120

VALVE REGULATED
LEAD ACID BATTERY

12V 430WATTS/CELL

@ 15MIN to 1.67 VPC

12V 120AH @ 10 HR to 1.80VPC

12V 136AH @ 20 HR to 1.75VPC

FOR APPLICATION:

UPS

SWITCHGEAR

INDUSTRIAL DC POWER

- One-way relief valve, Explosion resistant.
- Patented long life alloy having the lowest calcium levels industry-minimizing grid growth, reducing gassing, and extending battery life.

HIGH PERFORMANCE



Innovative Features

- 12 years design life in float applications @ 25°C (77°F).
- UL Recognized component.
- Valve regulated lead acid battery (VRLA).
- High-Compression Absorbed Glass Mat technology (AGM) for greater than 99% recombination efficiency.
- Proprietary Flood Office Plate Fasting technology applying active materials on both sides of the grid for consistent cell-to-cell performance, higher capacity and uniform grid protection.
- Operates at a low internal pressure.
- Heavy duty threaded copper alloy terminals for ease of assembly, reduced maintenance and increased safety.
- Advanced lead tin calcium alloy, reduces grid corrosion and promotes long battery life.
- Over-sized, through the partition inter-cell welds provide low resistance connections, with minimal power loss.
- Flame arresting, low pressure safety release venting system for individual cells, recognized per U.L. 924.
- Horizontal or vertical operation.
- Multicell design for ease of installation and maintenance.
- Standard: Reinforced ABS (UL 94HB) container and cover
- Optional: Flame-retardant reinforced ABS case and cover compliant with U.L. 94 V-0 with an Oxygen Limiting Index of greater than 20%.

12 VOLTS - 430WATTS @ 15 MIN RATE										
Excellent Power Discharging Ratings - Watts Per Cell @ 25°C (77°F)										
End Point Volts/Cell	5min	10min	15min	20min	30min	40min	45min	60min	80min	90min
1.67	880	523	430	352	294	235	216	194	168	123

For UPS / Switchgear / Industrial DC Power

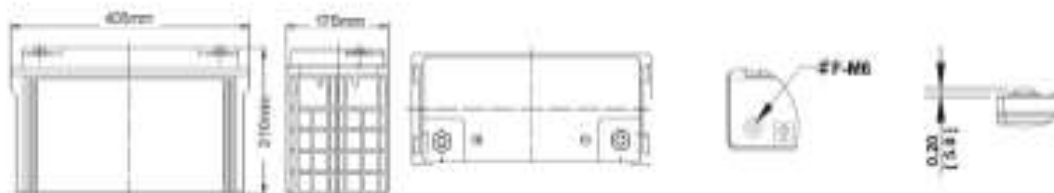


www.everexceed.com

Copyright © EverExceed Corporation. All rights reserved.

High Rate Range VRLA

EverExceed®
power your applications



Length : 408mm Width : 175mm Height : 210mm

Electrical Specifications						
Cells Per Unit	Voltage Per Unit	Weight	Electrolyte	Maximum Discharge Current	Short Circuit Current	Ohms Imped 60 Hz(Ω)
6	12.84	77.28±35.0g	SG = 1.300	750Amps	>600 Amps	0.0031

Capacity	400Watts per cell at the 15 minute rate to 1.57 volts per cell at 25°C (77°F). 100Ah @ 10 hr. rate to 1.80 volts per cell @ 25°C (77°F). 100Ah @ 20 hr. rate to 1.75 volts per cell @ 25°C (77°F).
Applicable Operating Temperature Range	-40°F (-40°C) to +158°F (70°C).
Ideal Operating Temperature Range	+86°F (+30°C) to +102.4°F (39°C).
Floating Charging Voltage	13.5 to 13.8 VDC/unit Average at 25°C (77°F).
Recommended Maximum Charging Current Limit	0.5 ampere (27.2 ampere @ 100% depth of discharge) @ 20 hr. rate to 1.75V/PC.
Equalization and Cycle Service Charging Voltage	14.4 to 14.8 VDC/unit Average at 25°C (77°F).
Maximum AC Ripple (Charger)	0.5% RMS or 1.5% P-P of float charge voltage recommended for best results. Maximum voltage allowed = 1.4% RMS (4% P-P). Maximum current allowed = 0.75 ampere RMS (0.002) to 1.75V/PC.
Self Discharge	Overcoated High Rate Range batteries may be stored for up to 12 months at 25°C (77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.
Accessories	Inter-unit connectors, racks and cabinet systems are available.
Terminal: Inserted	Threaded copper alloy insert terminal
Terminal Hardware Initial Torque: Inserted Terminal	5 N-m

Constant Power Discharging Ratings - Watts Per Cell @ 25°C (77°F)										
End Point Voltage/Cell	5min	10min	15min	20min	30min	40min	45min	50min	60min	90min
1.75	408	402	390	342	285	228	211	188	163	119
1.70	478	500	405	348	290	231	214	180	165	121
1.67	600	523	430	358	264	235	216	194	156	123

Constant Current Discharging Ratings - Ampere Per Cell @ 25°C (77°F)										
End Point Voltage/Cell	1hr	2hr	3hr	5hr	8hr	10hr	12hr	20hr	30hr	T2hr
1.85	74.7	42.7	31	20.4	13.7	11.4	9.03	6.34	5.32	1.56
1.80	81.6	46.2	32.8	21.5	14.5	12.0	9.3	6.95	5.57	1.62
1.75	83.3	47.3	34.2	22.1	14.9	12.3	9.6	7.19	5.69	1.65

Notes: Batteries to be installed with 0.20 in (1.00 cm) spacing minimum and free air circulation.
Specifications subject to change without notification.



Copyright © EverExceed Corporation. All rights reserved.

www.everexceed.com

ANEXO 5

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL LDR 20 mm Ø GL20537-1

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

CIRCUITO ELECTRÓNICO CON EL PLC XINJE

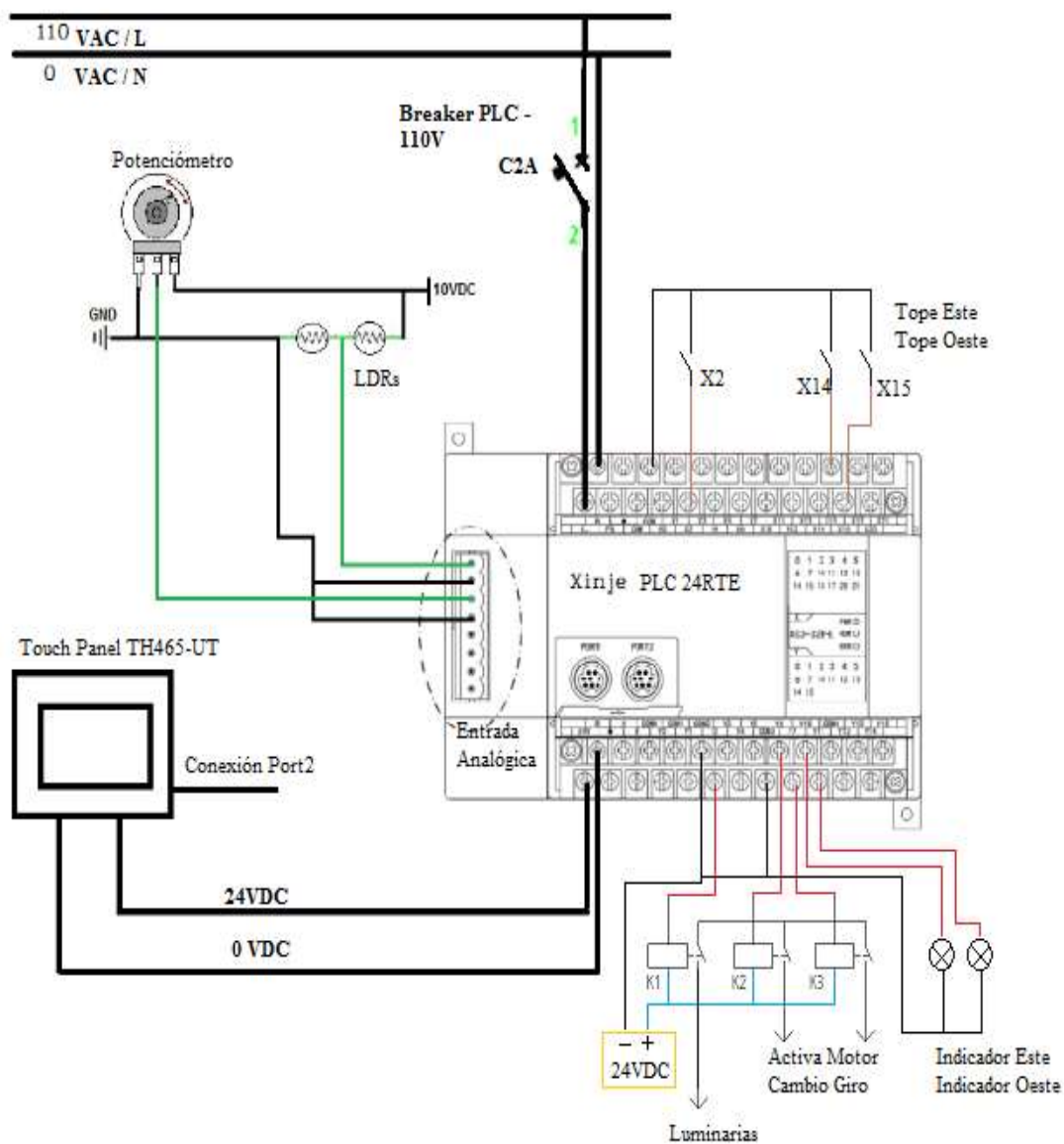
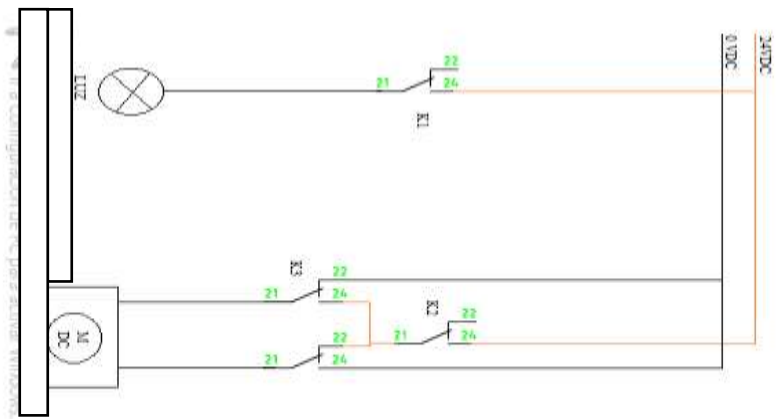
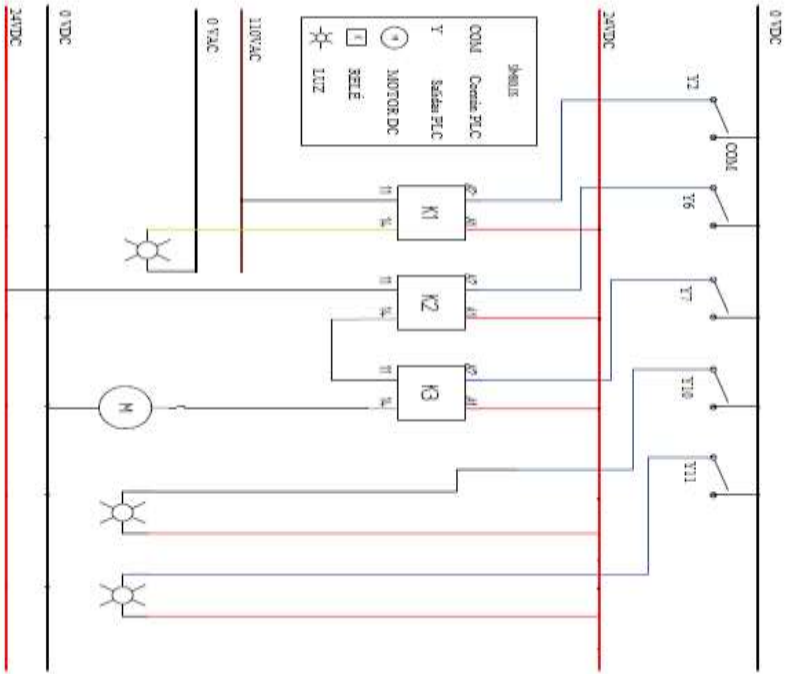
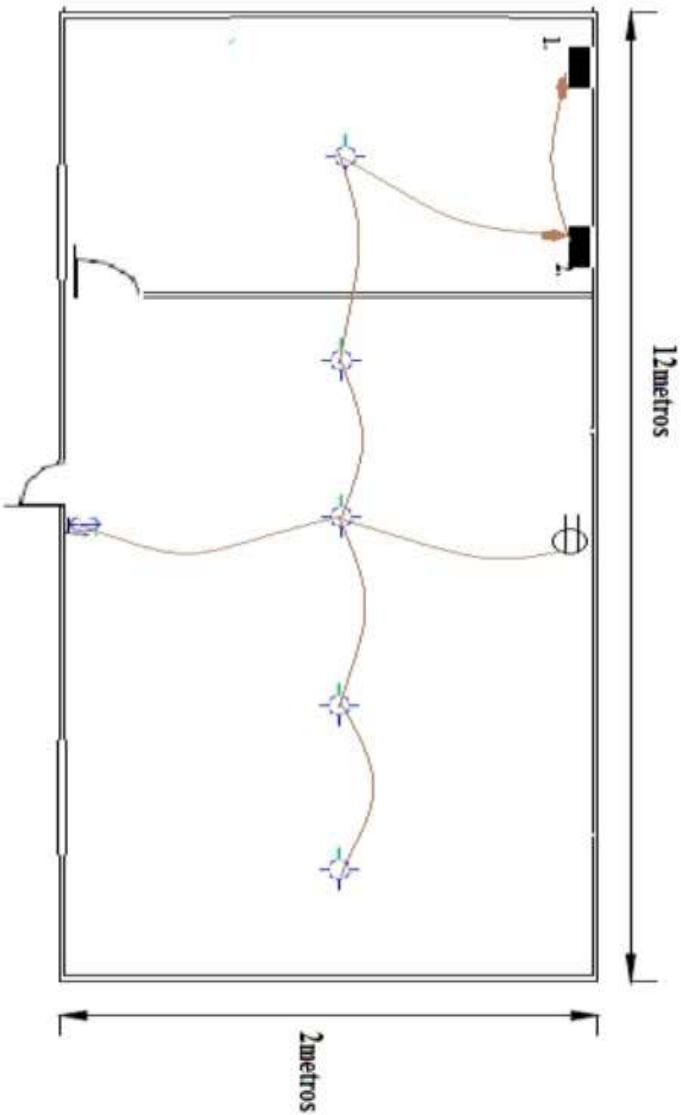


Diagrama Circuito de Fuerza



PLANO DE CIRCUITO ELÉCTRICO



	Luminarias 15W
	Tomacorriente 110V
	Interruptor
	Cable 2X12
	Equipos Sistema Fotovoltaico
	Tablero de Control

MANUAL OPERATIVO

MANUAL OPERATIVO

El presente sistema de respaldo fotovoltaico consta con una conexión agradable al usuario que permite el correcto manejo y mantenimiento del proyecto, permitiendo detectar, corregir posibles fallos cuando sea necesario, dado que facilita la visualización del estado en que se encuentra las variables de entradas y salidas digitales y entradas analógicas.

La pantalla principal del programa se muestra a continuación constando de las siguientes partes:

- Información del sistema de equipos utilizado en el proyecto.
- Menú, que son los botones y comando del sistema.



El menú que son los botones de comando del sistema son seis, cada uno presenta diferentes opciones.

El botón Info abre una nueva ventana que nos permite visualizar Información del proyecto mostrando datos como nombre, fecha de creación y autor del proyecto.



El siguiente botón Inicio nos permitirá visualizar el estado en que se encuentra la posición del panel solar, activando el botón azul se enciende el led de la pantalla de acuerdo a la posición, ya sea que el panel está orientado al Este u Oeste o plano cuando está cerca del mediodía, además permite visualizar la lectura del potenciómetro y observar el grado.

La posición será indicada en grados, de 0 a 180 grados el eje de inclinación de Este a Oeste; este valor será la posición real de los paneles con respecto a la posición en la estructura.



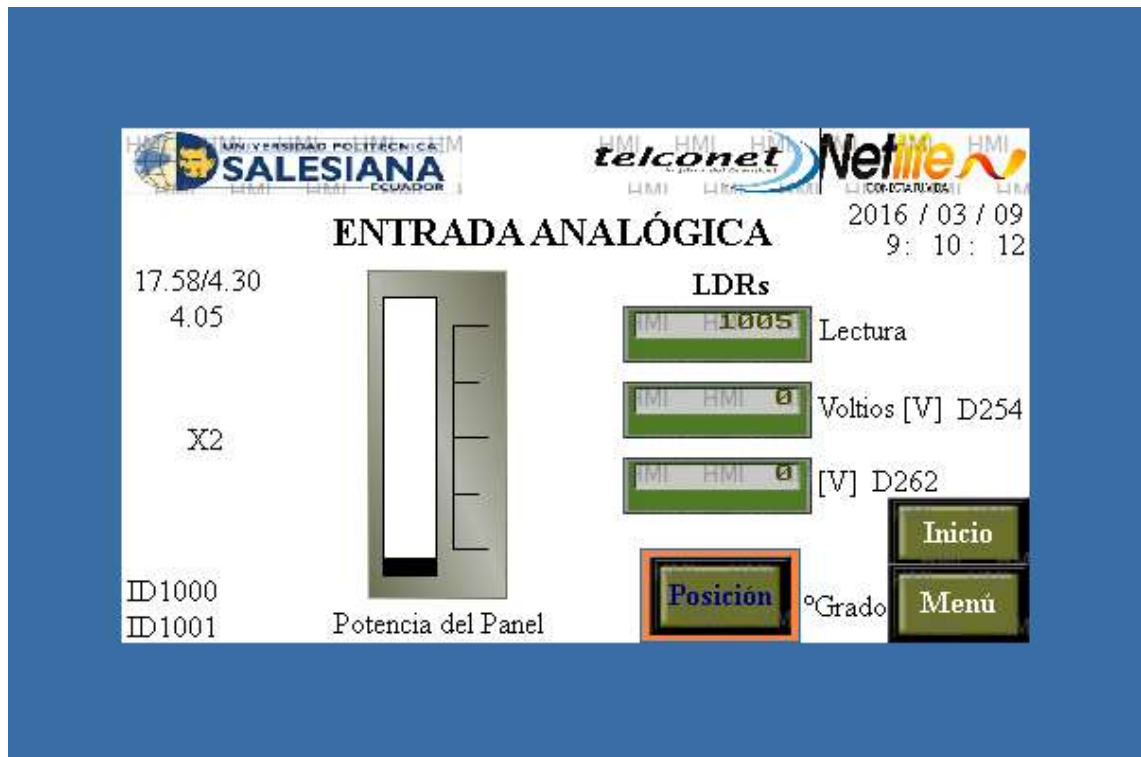
Las siguientes opciones del Menú nos permitirán visualizar el estado de todas las entradas y salidas tanto digitales como analógicas, además de permitir manipular las salidas digitales cuando está activado en modo manual.



Al dar clic al botón de Entrada Analógica, abre una nueva pantalla simplemente escogemos que tipo de variables queremos visualizar.

Dentro de entradas analógicas encontramos el valor de voltaje del circuito de LDRs.

El valor de las LDRs puede variar de 0 a 10 V dependiendo del ángulo de incidencia de la radiación solar, manteniéndose alrededor de valores cercanos a 4.23V ya que es cuando los rayos del sol golpearán los paneles perpendicularmente a él consiguiendo la mayor eficiencia en el proceso fotovoltaico. Además se visualiza la lectura del LDRs y su gráfica.



En entradas digitales se observa el estado de las mismas, las cuales se mencionan a continuación:

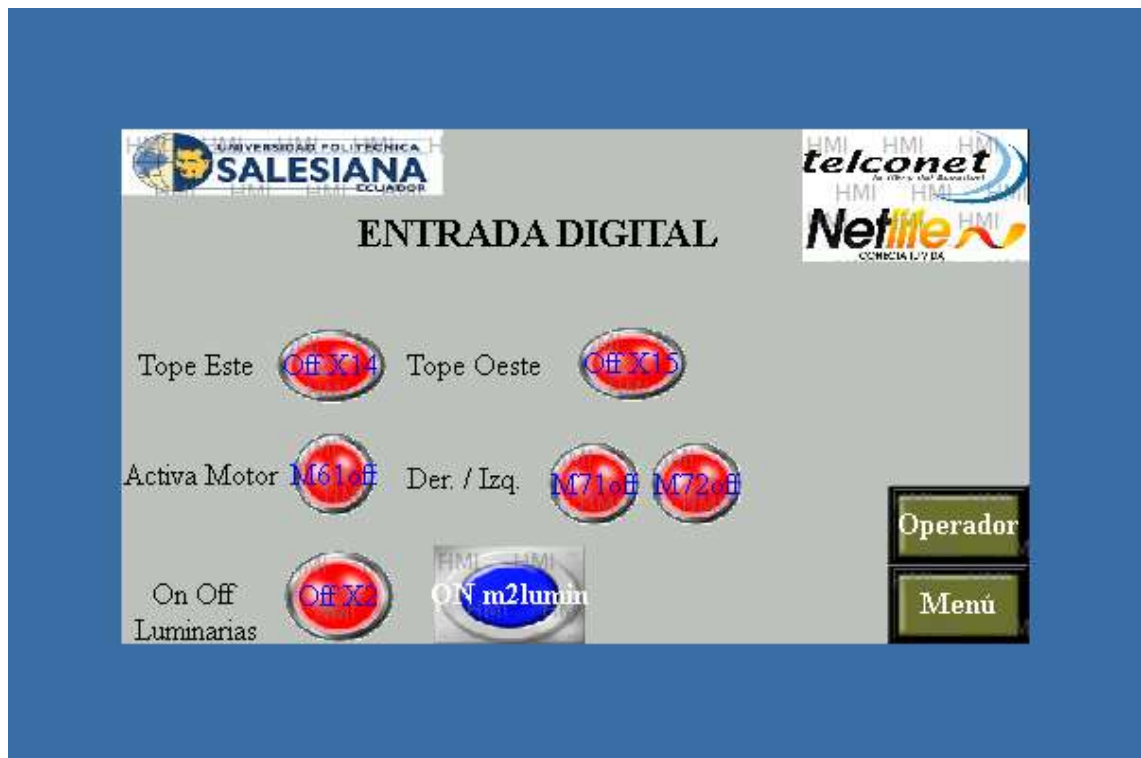
X14: Sensor tope Este.

X15: Sensor tope Oeste.

X2: On /Off luminarias.

M2: On /Off luminarias.

M61: Cuando se activa el motor en modo manual



En salidas digitales, se observa el estado de las mismas, las cuales se mencionan a continuación:

Y6: Activación motor.

Y7: Activación cambio de giro motor.

Y10: Activación Tope 1.

Y11: Activación Tope 2.

Y2: Activación / Desactivación luminarias Departamento Logística.



El siguiente botón a analizar es Operador, en esta ventana nos permite establecer el modo de funcionamiento de nuestro sistema, pudiendo escoger entre manual y automático.

Modo Automático: El sistema trabajará de manera independiente, con control PI activando el botón de color amarillo, los paneles se posicionarán automáticamente buscando la mayor eficiencia del sistema. Se visualiza la lectura del Potenciómetro y LDRs y en encendido de control PI.

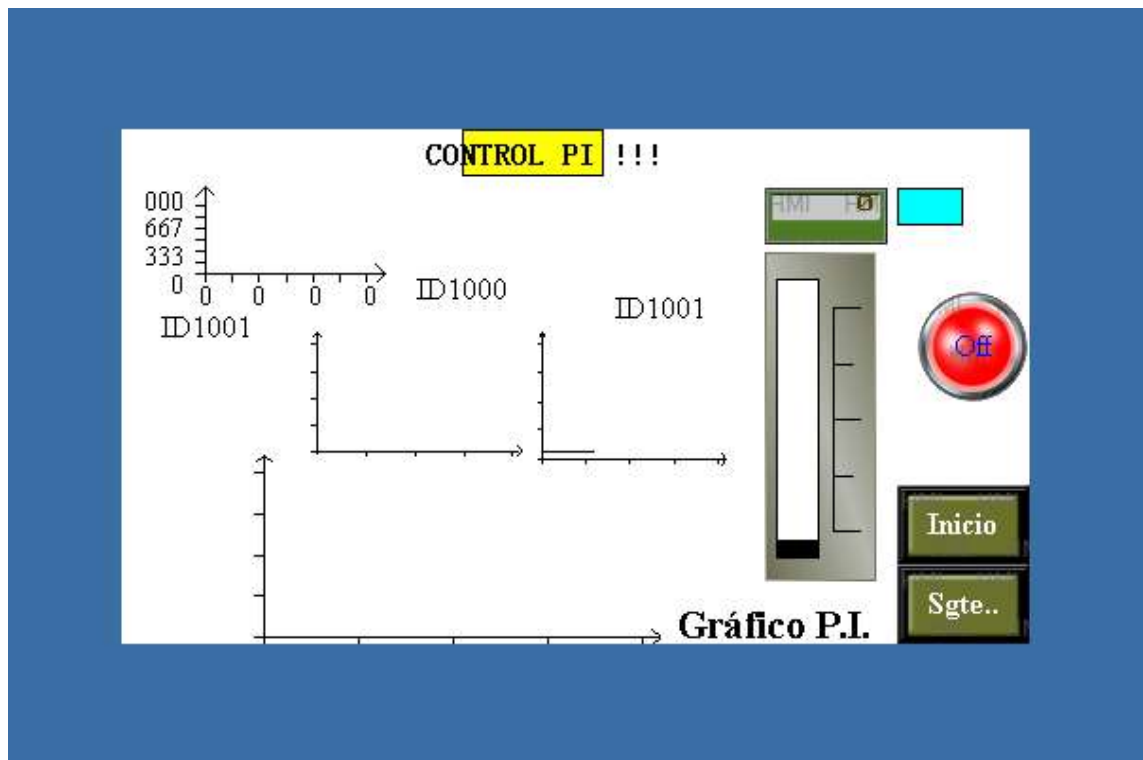
Modo Manual: Al hacer clic o activando el botón de color verde, el sistema no hará ningún proceso, solo será activado por el usuario dando movimiento independientemente uno del otro; limitado solo por los topes de posición. Se podrán visualizar todas las entradas y salidas por medio de los led, permitiendo activar y desactivar todo el control del sistema.

Al dar clic botón m57 el panel se mueve para un giro y cuando activa el botón M60 el panel girará al otro lado.

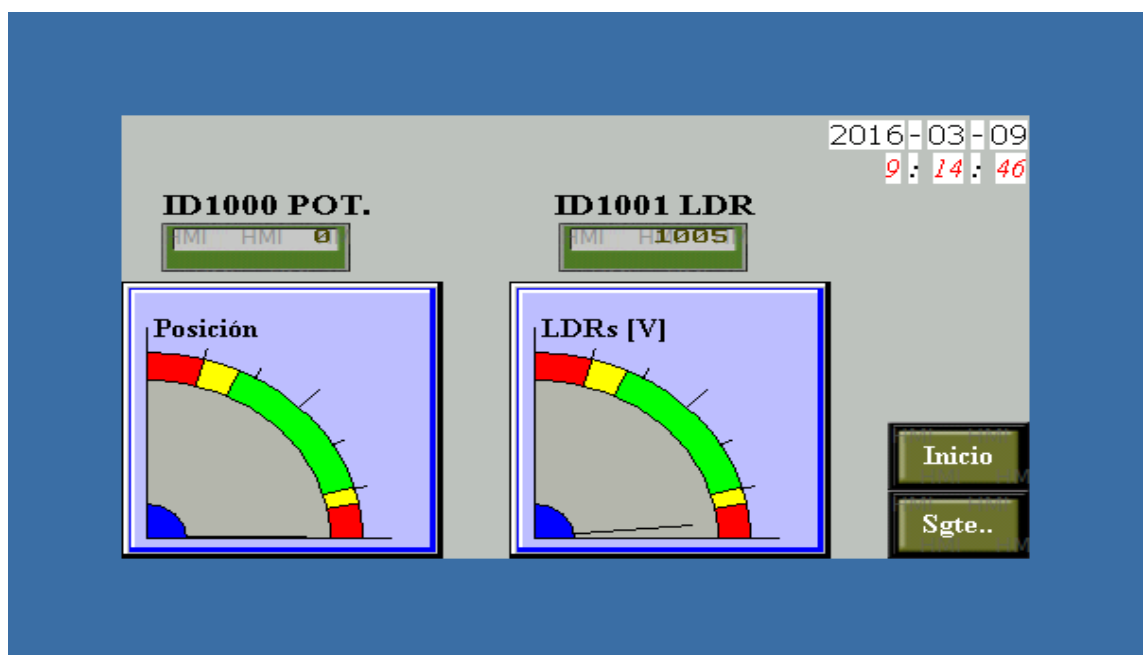


El siguiente botón a analizar es gráfico PI del posicionamiento de inclinación de Este a Oeste, se observa tres graficas uno es para las LDRs, el otro para el Potenciómetro, y el otro es la unión de ambos, para conocer las diferencias en que trabaja el sistema cuando sigue la trayectoria del sol. El setpoint de 4.23V es el punto de equilibrio en que los rayos inciden perpendicularmente sobre el panel, además del voltaje de las LDR y el ángulo de posición del panel.

Se visualiza la barra y lectura de las LDRs y activación led del control PI.



Aquí podemos siempre visualizar e interpretar la posición del panel solar cuando sigue la trayectoria del sol en orientación de Este a Oeste, y en modo manual también se visualiza y manipula los mismos. Representan los valores digitales de LDRs y Potenciómetro.



Los botones del sistema son simples y fácil de manejar. El primero nos permite ver la posición actual del panel. El siguiente botón es de usuario, pero en esta aplicación no se le dará gran uso. Por último tenemos el botón de Sgte que pasa automáticamente a la ventana de menú sin importar dentro de que pantalla nos encontremos siendo de gran ayuda cuando se requiere cambiar un estado o visualizar algo de manera rápida sin pasar a través de varias pantallas. Es así como se ha configurado el programa del touch panel.

