

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR MONITORIZADO PARA PRUEBAS DE PERFORMANCE EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME”

TESIS

PRESENTADA POR:

DAVID CHOQUE ARCE

WALTER MANUEL RAMOS HUANACUNI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR MONITORIZADO PARA
PRUEBAS DE PERFORMANCE EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y
AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME”**

TESIS PRESENTADA POR:

DAVID CHOQUE ARCE

WALTER MANUEL RAMOS HUANACUNI



PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 20/08/2018

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:



Dr. NORMAN JESÚS BELTRÁN CASTAÑÓN

PRIMER MIEMBRO:



M.Sc. MATEO ALEJANDRO SALINAS MENA

SEGUNDO MIEMBRO:



M.Sc. WALTER OSWALDO PAREDES PAREJA

DIRECTOR / ASESOR:



M.Sc. JOSÉ MANUEL RAMOS CUTIPA

ÁREA: Energías renovables

TEMA: Automatización

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Pastor y Dionicia, familia en general por su incondicional y desmedido apoyo.

A mis hermanos y seres queridos por los actos y palabras de aliento, por hacer de esta una etapa inolvidable.

Walter Manuel Ramos Huanacuni

DEDICATORIA

A mi madre Pascuala.

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

David Choque Arce.

AGRADECIMIENTO

Ante todo, agradecemos a Dios por permitirnos llegar a este punto de nuestras vidas, por darnos fuerzas, paciencia y tranquilidad necesaria para superar los muchos obstáculos que se presentaron en el desarrollo de esta tesis.

A Nuestra Alma Mater Universidad Nacional del Altiplano de Puno y a La Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica: Por ser el espacio académico que nos brindaron la base de nuestros conocimientos científicos sociales.

Un sincero reconocimiento y agradecimiento a todo los docentes de la Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica: porque cada uno de ellos con sus palabras, conocimientos, motivaciones y consejos que nos guiaron nuestra formación a la excelencia ser un profesional integral.

Finalmente, nuestro agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma han hecho posible la realización de nuestro proyecto de investigación.

¡Gracias a todos ustedes!

DAVID CH. y WALTER R.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPITULO I	18
1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
1.1.1. PROBLEMA GENERAL.....	20
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	21
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	21
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	21
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
CAPÍTULO II.....	23
2. REVISIÓN DE LITERATURA	23
2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	23
2.1.1. ANTECEDENTE 1	23
2.1.2. ANTECEDENTE 2	24
2.1.3. ANTECEDENTE 3	25
2.2. ENERGÍA SOLAR.....	26
2.2.1. ORIGEN DE LA ENERGÍA SOLAR.....	26
2.2.2. RADIACIÓN SOLAR.....	27
2.2.2.1. TIPOS DE RADIACIÓN.	27

2.2.2.2.	FACTORES QUE AFECTAN LA CANTIDAD DE RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE EN UN LUGAR.	29
2.2.3.	FORMAS DE APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR	29
2.2.4.	CÉLULAS SOLARES	30
2.2.4.1.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.	30
2.2.4.2.	TIPOS DE CÉLULAS SOLARES.	30
2.2.5.	PANELES FOTOVOLTAICOS.....	32
2.2.5.1.	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.	32
2.2.5.2.	CONCEPTOS IMPORTANTES PARA EL DIMENSIONADO Y UBICACIÓN DE LOS PANELES.....	33
2.2.6.	INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE RADIACIÓN	37
2.2.6.1.	PIRANÓMETRO.	37
2.2.6.2.	PIRHELIÓMETRO.	38
2.2.6.3.	HELIÓGRAFO.....	38
2.3.	BOMBAS	39
2.3.1.	DEFINICIÓN	40
2.3.2.	CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS MECÁNICAS	40
2.3.3.	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS BOMBAS MECÁNICAS ..	41
2.3.3.1.	CAUDAL (Q).....	41
2.3.3.2.	ALTURA ÚTIL (H).	41
2.3.3.3.	POTENCIA ÚTIL (P).	43
2.3.4.	PÉRDIDAS EN TUBERÍAS	43
2.3.4.1.	PÉRDIDAS PRIMARIAS.....	44
2.3.4.2.	PÉRDIDAS SECUNDARIAS.....	46
2.3.5.	CURVAS DEL SISTEMA DE BOMBEO.....	46
2.4.	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO.....	47
2.4.1.	BATERÍAS.....	47
2.4.1.1.	TIPOS DE BATERÍAS.	48
2.4.1.2.	ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.	51

2.4.2.	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO	52
2.5.	OTROS ELEMENTOS	53
2.5.1.	REGULADOR DE CARGA	54
2.5.1.1.	ETAPAS DE CARGA.....	54
2.5.1.2.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS.	55
2.5.1.3.	TIPOS DE REGULADOR.	55
2.5.2.	INVERSOR	57
2.5.2.1.	TIPOS DE INVERSORES.	57
2.5.2.2.	COMPATIBILIDAD ENTRE TIPOS DE INVERSORES Y ELECTRODOMÉSTICOS.....	58
2.5.2.3.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	58
2.5.3.	CONDUCTORES.....	60
2.5.3.1.	TIPOS DE CONDUCTORES.	60
2.5.3.2.	CAÍDA DE TENSIÓN EN CONDUCTORES.	61
2.5.4.	TUBERÍAS.....	62
2.5.5.	ESTRUCTURA SOPORTE DE LOS PANELES.....	62
2.6.	SISTEMAS DE CONTROL.....	62
2.6.1.	GENERALIDADES	62
2.6.2.	DEFINICIONES BÁSICAS.....	63
2.6.3.	ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO	64
2.3.4.	TIPOS DE VARIABLES.....	67
2.7.	TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL	68
2.7.1.	SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO ABIERTO (OPEN LOOP).....	68
2.7.2.	SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO CERRADO O REALIMENTADO..	68
2.8.	CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL	70
2.9.	SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	71
2.9.1.	ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN AUTOMATIZADA	72
2.10.	EQUIPOS DEL SISTEMA DE CONTROL	73

2.10.1.	AUTÓMATAS PROGRAMABLES PLCS (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE).....	73
2.10.2.	MÓDULO DE POTENCIA.....	75
2.10.3.	MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS.....	75
2.10.4.	VARIADOR DE FRECUENCIA.....	76
2.10.5.	CONVERTIDOR ANALÓGICO.....	76
2.10.6.	FUSIBLE DE PROTECCIÓN.....	76
2.10.7.	ANALIZADOR DE REDES.....	76
2.10.8.	SENSOR DE PRESIÓN.....	77
2.10.9.	INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO.....	77
CAPITULO III.....		78
3.	MATERIALES Y MÉTODO.....	78
3.1.	MATERIALES.....	78
3.1.1.	PANEL SOLAR MONO CRISTALINO.....	78
3.1.2.	REGULADOR DE CARGA.....	79
3.1.3.	BATERÍA.....	79
3.1.4.	ANALIZADOR DE REDES.....	80
3.1.5.	BOMBA TRIFÁSICO DE 1/2 HP.....	81
3.1.6.	SENSOR DE PRESIÓN.....	81
3.1.7.	BORNES.....	82
3.1.8.	INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO.....	82
3.1.9.	PORTA FUSIBLE.....	83
3.1.10.	MODULO DE POTENCIA.....	84
3.1.11.	PLC.....	84
3.1.12.	MODULO DE EXPANSIÓN.....	85
3.2.	METODOLOGÍA.....	86
3.2.1.	ANÁLOGO.....	87
3.3.	MATERIALES.....	88
3.4.	ALCANCE DEL PROYECTO.....	89

3.5.	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	89
3.5.1.	MÉTODO	89
3.5.2.	TÉCNICAS.....	90
3.5.2.1.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	90
3.5.2.2.	CALCULO JUSTIFICATIVOS PARA EL DISEÑO	90
3.5.2.3.	MONTAJE E INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS	91
3.5.2.4.	TOMA DE DATOS.....	91
3.5.2.5.	DETERMINACIÓN DE VARIABLES	92
3.5.2.6.	DIMENSIONADO DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO.....	92
	CAPITULO IV	95
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	95
4.1.	DISEÑO DEL MODULO	95
4.2.	MONITOREO DEL MODULO.....	95
4.3.	OPERACIÓN DEL SISTEMA	105
4.3.1.	PRECAUCIONES ANTES DE PUESTA EN MARCHA.....	105
4.3.2.	PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA	105
4.3.3.	MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	106
4.4.	UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MODULO DE MONITOREO.....	106
4.5.	LA RADIACIÓN SOLAR EN OTRAS FUENTES	107
4.6.	POTENCIAL SOLAR.....	108
4.6.1.	RADIACIÓN SOLAR EN PUNO SEGÚN EL MAPA DEL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE PERÚ.	113
4.6.2.	HORAS SOLAR PICO (HSP).	114
4.7.	CÁLCULOS PARA DIMENSIONAR EL SISTEMA Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	115
4.7.1.	CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONADO DE LA BOMBA Y SELECCIÓN PRELIMINAR.....	116

4.7.2.	CÁLCULOS REQUERIDOS PARA EL DIMENSIONADO DE LOS PANELES SOLARES	117
4.8.	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE BATERÍAS.....	121
4.9.	RESULTADOS	121
CAPITULO V		123
5.	CONCLUSIONES	123
CAPITULO VI		124
6.	RECOMENDACIONES	124
7.	REFERENCIA.....	125
8.	ANEXO	128

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 2.1. TIPOS DE RADIACIÓN SOBRE UNA SUPERFICIE.	28
FIGURA N° 2.2 CÉLULAS DE SILICIO MONOCRISTALINO.	31
FIGURA N° 2.3 CÉLULAS DE SILICIO POLICRISTALINO.	31
FIGURA N° 2.4 CÉLULAS DE SILICIO AMORFO	32
FIGURA N° 2.5 ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LOS RAYOS DEL SOL SOBRE UN MÓDULO EN POSICIÓN HORIZONTAL.....	35
FIGURA N° 2.6. ORIENTACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA UN SITIO UBICADO AL SUR.	36
FIGURA N° 2.7. ORIENTACIÓN Y ÁNGULO DE INCLINACIÓN RECOMENDADO PARA PERÚ (UBICADA EN LATITUD SUR).....	36
FIGURA N° 2.8. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN PLANÓMETRO DE RADIACIÓN TOTAL.	37
FIGURA N° 2.9. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN PIRHELÍOMETRO.....	38
FIGURA N° 2.10 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UN HELIÓGRAFO DE CAMPBELL- STOCKES.	39
FIGURA N° 2.11. ESQUEMA DEL SISTEMA DE BOMBEO	42
FIGURA N° 2.12. CURVA DE CARGA DE UN SISTEMA DE BOMBEO.....	47
FIGURA N° 2.13. TIPOS DE ONDA DE SALIDA DE LOS INVERSORES COMERCIALES.	57
FIGURA N° 2.14 TIPOS DE CONDUCTORES, (A) ALAMBRE, (B) CABLE	61
FIGURA N° 2.15. DESCRIPCIONES DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.	64
FIGURA N° 2.16. DESCRIPCIONES DE MATERIALES.	67
FIGURA N° 2.17. SISTEMAS DE CONTROL LAZO ABIERTO.	68
FIGURA N° 2.18. SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO.....	69
FIGURA N° 2.19. SISTEMAS DE CONTROL LAZO CERRADO REALIMENTACIÓN POSITIVA ...	69
FIGURA N° 2.20. SISTEMAS DE CONTROL LAZO CERRADO REALIMENTADO NEGATIVA.....	70
FIGURA N° 3.1. PANEL SOLAR MONO CRISTALINO.	78
FIGURA N° 3.2. REGULADOR DE CARGA.	79
FIGURA N° 3.3. BATERÍA.....	80
FIGURA N° 3.4. ANALIZADOR DE REDES.	80
FIGURA N° 3.5. BOMBA TRIFÁSICO DE ½ HP.	81
FIGURA N° 3.6. SENSOR DE PRESIÓN.	81

FIGURA N° 3.7. BORNES.	82
FIGURA N° 3.8. INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO.	83
FIGURA N° 3.9. PORTA FUSIBLE.	83
FIGURA N° 3.10. MÓDULO DE POTENCIA.	84
FIGURA N° 3.11. PLC.	84
FIGURA N° 3.12. MÓDULO DE EXPANSIÓN.	85
FIGURA N° 3.13. MODULO SISTEMA DE BOMBEO SOLAR.	85
FIGURA N° 3.14. ESCALAMIENTO.	86
FIGURA N° 3.15. DIAGRAMA DE ESCALAMIENTO.	87
FIGURA N° 3.16. DIAGRAMA DE ESCALAMIENTO.	88
FIGURA N° 4.1. MUESTRA VARIACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR.	96
FIGURA N° 4.2. CURVA DE IRRADIACIÓN.	97
FIGURA N° 4.3. VARIACIONES DE PRESIÓN.	98
FIGURA N° 4.4. GRÁFICO DE EQUIPO LINEALIZADO	99
FIGURA N° 4.5. GRAFICO DE ESCALAMIENTO.	99
FIGURA N° 4.6. GRÁFICO DE EQUIPO LINEALIZADO.	100
FIGURA N° 4.7. GRAFICO VALOR ESCALADO.	101
FIGURA N° 4.8. DIAGRAMA DE MEDICIÓN DE PRESIÓN.	101
FIGURA N° 4.9. DIAGRAMA DE PRESIÓN ESCALADO.	102
FIGURA N° 4.10. DIAGRAMA DE PRESIÓN ESCALADO.	103
FIGURA N° 4.11. DIAGRAMA DE PRESIÓN ESCALADO.	104
FIGURA N° 4.12. INSTALACIÓN DE MODULO.	107
FIGURA N° 4.13. IRRADIANCIA MEDIDA EN EL LABORATORIO EL DIA 1 DE JUNIO 2018..	109
FIGURA N° 4.14. IRRADIANCIA MEDIDA EN EL LABORATORIO EL DIA 2 DE JUNIO 2018. .	110
FIGURA N° 4.15. IRRADIANCIA MEDIDA EN EL LABORATORIO EL DIA 3 DE JUNIO 2018..	110
FIGURA N° 4.16. IRRADIANCIA MEDIDA EN EL LABORATORIO EL DIA 4 DE JUNIO 2018..	111
FIGURA N° 4.17. IRRADIANCIA MEDIDA EN EL LABORATORIO EL DIA 5 DE JUNIO 2018..	111
FIGURA N° 4.18. VALORES DE IRRADIACIÓN OBTENIDOS A PARTIR DE LA IRRADIANCIA DIARIA.	112
FIGURA N° 4.19. ENERGÍA INCIDENTE DIARIO EN PUNO.	113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 2.1. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS MECÁNICAS.....	40
TABLA N° 2.2. TIPOS DE BATERÍAS DISPONIBLES EN EL MERCADO.....	49
TABLA N° 2.3 CARTA DE COMPATIBILIDAD.	59
TABLA N° 2.4. CAÍDAS MÁXIMAS DE TENSIÓN.....	61
TABLA N° 4.1. VALORES DE IRRADIANCIA SOLAR.	96
TABLA N° 4.2. SENSOR DE PRESIÓN 01	98
TABLA N° 4.3. VALOR DE ESCALAMIENTO.	99
TABLA N° 4.4. SENSOR DE PRESIÓN 02	100
TABLA N° 4.5. VALOR DE ESCALAMIENTO.	100
TABLA N° 4.6. FRECUENCIA CON UN INTERVALO DE 5 HZ.	102
TABLA N° 4.7. FRECUENCIA CON UN INTERVALO DE 5 HZ	103
TABLA N° 4.8. FRECUENCIA CON UN INTERVALO DE 5 HZ.	104
TABLA N° 4.9. IRRADIANCIA MEDIDA EN EL LABORATORIO DE LA EPIME EN LOS DIFERENTES DÍAS.	108
TABLA N° 4.10. VALORES DE RADIACIÓN EN TODOS LOS MESES DEL AÑO.	114
TABLA N° 4.11. VALORES DE IRRADIACIÓN PARA EL DISTRITO DE ILAVE SEGÚN LA NASA.	115
TABLA N° 4.12. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL.	120
TABLA N° 4.13. VARIABLES DE RESULTADOS.	122

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO

SIGNIFICADO

RER	Recursos Energéticos Renovables
SEIN	Sistema Eléctrico Interconectado Nacional
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
SCADA:	Supervisión, Control y Adquisición de Datos
PLC:	Controlador Lógico Programable
RAM:	Memoria de acceso aleatorio (Random Access Memory)

INSTITUCIONES

INEA	Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas
MINEM	Ministerio de Energía y Minas del Perú
DGE	Dirección General de Electricidad
OSINERGMIN	Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

INGENIERÍA

m.s.n.m.	Altitud en metros sobre el nivel del mar
m ³ /s	Flujo de un metro cúbico de agua en una unidad de segundo
MW	Equivalente a 1000 Watts, unidad de medida de potencia
MW-h	Equivalente a 1000 Watts hora, unidad de medida de energía
MVA	Mega Volt Amper, unidad de medida de potencia total
KW:	Kilo Watts
M:	Metro
W/M ² :	Watts Metro Cuadrado
MA:	Mili Amperios

V:	Voltios
FV:	Foto Voltaica
Pmax:	Potencia Máxima
Vmp:	Tensión de Potencia Máxima
Imp:	Intensidad de Potencia Máxima
Isc:	corriente de cortocircuito
Voc:	tensión de circuito abierto
HSP:	Horas Sol Pico
MPPT:	Punto de Máxima Potencia

RESUMEN

Este proyecto desarrolla e implementa un sistema de control autónomo monitoreado con energía Fotovoltaica en el laboratorio de la EPIME, así poder obtener información actualizada sobre las características y operación de los equipos, en tiempo real del módulo a instalar, también es muy importante el conocer si existe o no recursos disponible en el lugar donde se planea realizar la instalación.

Actualmente se usa los sistemas de bombeo de agua para cubrir las necesidades humanas, agrícolas y ganaderas, principalmente en lugares aislados, donde se carece de la red eléctrica o por la falta de combustible por lo que, han convertido la energía fotovoltaica en una práctica usual y rentable. En este sistema, el agua es bombeada a un depósito únicamente durante las horas de sol, ubicado a una altura superior de la toma de agua. De esta manera, nos aseguramos de que haya agua almacenada en el tanque cuando la insolación es mínima y de que haya presión en la toma. Además, tiene la ventaja de que la temporada de más demanda de agua suele coincidir con la de mayor radiación solar, sin embargo en nuestra región no se cuenta con información de este tipo de tecnología, ni datos de cómo estos sistemas se comportan durante su operación, debemos de tener en cuenta que estos tipos de sistemas están siendo competitivos económicamente, por lo que se hace necesario amoldar la tecnología a nuestra realidad, lo cual no se podrá realizar si no se cuenta con un adecuado sistema de información y monitoreo del funcionamiento de estos.

Por otra parte en la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica se desarrollan, cursos como son Energías alternativas, Control y Automatización, Laboratorio de Control y Automatización, Mecánica de Fluidos, Turbo maquinas, cursos que contemplan en sus sílabos temas que van ligados a los sistemas de bombeo, los cuales tienen una orientación práctica y requieren de laboratorios para lograr aprendizajes eficientes.

Esta situación constituye un problema de aprendizaje cuya solución puede buscarse con la implementación de un módulo de monitoreo de un sistema de bombeo solar automatizado.

Palabras Clave: Bombeo, energía solar, monitorización, automatización.

ABSTRACT

This project develops and implements a system of autonomous control monitored with photovoltaic energy in the laboratory of the EPIME, in order to obtain updated information on the characteristics and operation of the equipment, in real time of the module to be installed, it is also very important to know if There are resources available or not in the place where the installation is planned.

Water pumping systems are currently used to cover human, agricultural and livestock needs, mainly in isolated places, where there is no electricity grid or lack of fuel, making photovoltaic energy a usual practice and profitable. In this system, the water is pumped to a tank only during sunny hours, located at a higher height of the water intake. In this way, we make sure that there is water stored in the tank when the insolation is minimal and that there is pressure in the intake. In addition, it has the advantage that the season of more water demand usually coincides with that of greater solar radiation, however in our region there is no information on this type of technology, nor data on how these systems behave during their operation. , we must bear in mind that these types of systems are being economically competitive, so it is necessary to adapt technology to our reality, which can not be done without an adequate information system and monitoring of the functioning of these.

On the other hand in the school of Electrical Mechanical Engineering are developed, such as alternative energies, Control and Automation, Control and Automation Laboratory, Fluid Mechanics, Turbo machines, courses that contemplate in their syllabus topics that are linked to the systems of pumping, which have a practical orientation and require laboratories to achieve efficient learning.

This situation constitutes a learning problem whose solution can be sought with the implementation of a monitoring module of an automated solar pumping system.

Keywords: Pumping, solar energy, monitoring, automation.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La implementación de proyectos de energías renovables. En los últimos años, ha tomado impulso la inversión en el aprovechamiento de recursos renovables, dado que esta fuente garantiza el crecimiento para el futuro, además de conservar el medio ambiente.

A este respecto el bombeo de agua con energía solar fotovoltaica (FV) es una aplicación de especial interés en sistemas aislados. Esta tecnología ha demostrado a lo largo de los años ser un modo efectivo de suministro de agua potable para usuarios y comunidades rurales, así como para aplicaciones agrícolas (irrigación) y ganaderas (abrevaderos).

En la actualidad es posible realizar la monitorización a través del sistema de control y automatización interconectada al sistema de bombeo de agua y monitorización de la radiación solar en tiempo real.

El presente trabajo de investigación se centra en el estudio, funcionamiento, monitorización de la radiación solar y la presión de impulsión, succión de la bomba para su utilización en performance en los laboratorios de la EPIME.

Capítulo I, contiene toda la descripción de la conceptualización del tema de investigación.

Capítulo II, revisión literaria, se presenta los conceptos generales, teoría de las energías renovables de control y automatización.

Capítulo III, se presenta los materiales y método descripción de los equipos seleccionados para la implementación del módulo de energías renovables y control e automatización.

Capítulo IV, se presenta la implementación en el segundo nivel, el módulo de investigación de puesta en operación de los equipos en mención.

Pruebas y resultados, indica las pruebas y todos los resultados obtenidos dentro del laboratorio de control y automatización de la EPIME.

Capítulo V, conclusiones y recomendaciones, a las que llegamos al finalizar la tesis.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

El Perú tiene una geografía dispersa y complicada, muchas poblaciones se encuentran muy alejadas, donde no se tiene acceso a una red de energía eléctrica, por tal motivo se viene implementando políticas que impulsan el aprovechamiento del recurso de las energías renovables como es la energía fotovoltaica. Sin embargo dicha tecnología es monitorizada, tampoco se cuenta con información que permite analizar verificar el comportamiento de estos más aun evaluar el performance de la energía fotovoltaica con relación al sistema de bombeo bajo este contexto, queda evidenciada la necesidad de implementar un prototipo en el laboratorio de control y automatización de la EPIME. Que permite realizar pruebas de performance de los equipos de bombeo que utilizar energía fotovoltaica, bajo un sistema de monitoreo, de control y automatización.

La implementación de un módulo de control automático monitoreado en tiempo real, tiene la finalidad de experimentar, comprobar, verificar y aclarar inquietudes que se presenten durante las pruebas que realicen en el laboratorio.

De acuerdo a este análisis nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Cómo diseñar un sistema de bombeo solar monitorizado para mejorar las pruebas de performance y obtener datos a tiempo real en el laboratorio de control y automatización de la EPIME?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

PE1: ¿Cómo diseñar un módulo de prácticas de laboratorio para un sistema de bombeo solar monitorizado que permita mejorar las pruebas de performance, monitorización y evaluación de su funcionamiento?

PE2: ¿Qué factores determinara el principio de operación del módulo de bombeo solar monitorizado en el laboratorio de control y automatización para obtener datos en tiempo real?

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

La investigación de proyecto permitirá a los estudiantes de la EPIME, a tener un módulo de investigación para mejorar su aprendizaje, performance, monitoreo, control y automatización.

La implementación de este diseño permitirá desarrollar prácticas de laboratorio con la obtención de datos a tiempo real con energía fotovoltaica y el bombeo solar , mediante la implementación de un sistema de control automático monitoreado, los cuales son los encargados de acoplar los sensores de parámetros de control y automatización.

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Diseño de un sistema de control autónomo de bombeo solar monitorizado en el laboratorio de control y automatización para pruebas de performance en tiempo real, aplicado a la enseñanza de las asignaturas de energías renovables, control y automatización en la EPIME de la UNA – Puno.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a. Diseñar un módulo de prácticas de laboratorio para la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica constituido por un sistema de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance, el cual que permita realizar la monitorización y evaluación de funcionamiento.

b. Determinar el principio de operación del módulo de bombeo solar monitorizado en el laboratorio de control y automatización, en tiempo real en la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTE 1

Tesis: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MODULO DE PROCESOS DE MONITOREO Y CONTROL DE NIVEL DE AGUA CON SCADA PARA EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN”, 2007.

Conclusiones

Para el desarrollo de prácticas de laboratorio, se elaboró una guía de laboratorio referente al área de control y automatización como podemos indicar.

- Monitorizar y controlar mediante SCADA el tiempo de llenado de agua en el tanque acumulador.
- Monitorizar y controlar mediante el SCADA el tiempo de vaciado de agua al tanque cisterna.

El montaje del módulo completo se realizó en función a la selección del proceso, del PLC, diseño y programación del PLC y SCADA lo que permitió realizar el control, monitorización y adquisición de datos en tiempo real.

Para el correcto funcionamiento del proceso se utilizó simulaciones de PLCs de Allen Bradie (Logix pro), SoftTwido, y software Lookout. (Enríquez Callata & Quenta Salinas, 2007)

2.1.2. ANTECEDENTE 2

Tesis: “ESTUDIO Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE CON ENERGÍA SOLAR PARA LAS COMUNIDADES DE VILACOLLO Y CHASQUI DEL DISTRITO DE PILCUYO, PROVINCIA DE EL COLLAO”, 2014.

Conclusiones

- Al hacer el estudio y diseño del sistema de abastecimiento de agua potable con energía solar para las comunidades de Vilacollo y Chasqui del distrito de Pilcuyo, Provincia de El Collao, se determinó el dimensionamiento de la potencia de la Bomba, la Potencia del conjunto motor-bomba y la potencia del sistema fotovoltaico, dimensionar el tipo de tubería de impulsión con el diámetro que requiere el sistema considerando todos los efectos, sobrecargas y sobrepresiones que está sujeto la tubería en los puntos más críticos y además determinar la capacidad de almacenamiento del reservorio considerando el tipo de energía a usar para el proyecto. (Pari Percca & Aguilar Calcina, 2014).
- Con respecto a la disposición de los paneles solares es necesaria la correcta orientación y así mismo la inclinación de los paneles que debe tener respecto al plano horizontal en el lugar en que se encuentra con el fin de obtener mayor captación de la radiación solar durante todo el año. El panel se debe inclinar 20°-25° orientado al norte.
- Implementar este tipo de sistemas de bombeo que se utiliza la energía fotovoltaica son sostenibles en el tiempo para la población rural de las características de nuestra región que en su economía son precarias y que no tienen los medios económicos suficientes para mantener y pagar el consumo de energía suministrada de una red pública en el tiempo utilizados en un sistema de bombeo de agua.

Los resultados obtenidos a través de los cálculos (caudal máximo diario, altura Dinámica, potencia de la bomba) son como base para la elección del tipo de bomba a usar teniendo en cuenta la curva característica de la bomba, que dan a lugar a una buena definición y elección del tipo de la bomba con las características que requiere el sistema de bombeo en estudio.

Datos de radiación solar en la región de Puno y específicamente del lugar en estudio y diseño. El cual son obtenidas de SENAMHI y además obteniendo resultados en las pruebas con instrumentos como Pirómetro en la zona del proyecto teniendo como resultado un promedio de $900\text{W}/\text{m}^2$ a $1000\text{W}/\text{m}^2$.(Pari Percca & Aguilar Calcina, 2014).

2.1.3. ANTECEDENTE 3

Tesis: “ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO DE ELECTRIFICACIÓN A TRAVÉS DE SISTEMAS HÍBRIDOS (EÓLICO-SOLAR) EN LA ISLA TAQUILE”, 2011.

De esta manera llegamos a las conclusiones y recomendaciones:

- A lo largo del estudio se ha podido obtener una visión completa de la estructura técnica de un proceso de instalación, la generación de energía disponible y su viabilidad económica.
- Se ha puesto especial énfasis en los elementos más importantes del sistema de generación híbrida como son el tipo de panel fotovoltaico, los aerogeneradores, inversor y centro transformador a elegir por sus características técnicas y adaptables a la dimensión de la instalación.

- El presente proyecto se ubica en una región rural aislada-zona del lago Titicaca y netamente turística, lo que constituye que la inversión a efectuarse va a contribuir al desarrollo y descentralización de algunos beneficios. (Chávez Vallejo, 2011)

2.2. ENERGÍA SOLAR

Actualmente, existe una alta demanda de energía eléctrica que tiende a aumentar con el paso de los años mientras que los recursos fósiles más empleados para su producción disminuyen considerablemente. La anterior es la razón principal para que se presente un auge en el aprovechamiento de las energías renovables, especialmente la solar y la eólica.

El principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos es la transformación directa de energía solar en energía eléctrica por medio de celdas fotoeléctricas de diversos materiales semiconductores, en especial el silicio.

Entre las principales ventajas que representa el uso de este tipo de energía se encuentran la no contaminación del ambiente, ya que es limpia y renovable, la disminución de costos de instalación y mantenimiento de redes eléctricas, especialmente en zonas aisladas y de difícil acceso, un bajo riesgo de falla y bajo costo de mantenimiento

2.2.1. ORIGEN DE LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar recibe este nombre ya que es derivada del sol, el cual es una inmensa esfera de gases a alta temperatura, formado fundamentalmente por helio, hidrógeno y carbono. Genera una gran cantidad de energía mediante reacciones de fusión, en las cuales se presenta una pérdida de masa; ésta energía llega a la superficie de la tierra en forma de radiación solar de una manera desigual que varía en función de varios ítems, entre ellos, la distancia de la tierra al sol, la hora del día, la inclinación del globo terráqueo respecto al sol, la zona de la superficie terrestre, entre otros. (Nedelcu, 2009)

2.2.2. RADIACIÓN SOLAR

La radiación solar puede definirse de varias formas, las cuales al final significan exactamente lo mismo, una de ellas es expresar que la radiación es el flujo de energía que recibe la tierra y que es emitida por el sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias, o en otra versión, es el conjunto de rayos electromagnéticos emitidos por el sol en todas las longitudes de onda existentes.

Para alcanzar la superficie terrestre la radiación solar debe atravesar la atmósfera donde sufre diversos fenómenos: reflexión, absorción y difusión que disminuyen la intensidad de dichas ondas. (Nedelcu, 2009).

2.2.2.1. TIPOS DE RADIACIÓN.

Se pueden distinguir diversos tipos de radiación, en función de cómo ésta es recibida por las superficies, ellos son directa, difusa y reflejada, la suma de las tres da como resultado la radiación global.

A. RADIACIÓN DIRECTA.

Es la radiación que llega directamente del sol sin haber sufrido cambios en su dirección. Es la mayor y la más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

B. RADIACIÓN DIFUSA.

Es la parte de la radiación que atraviesa la atmósfera, es reflejada y absorbida por las nubes, partículas de polvo atmosférico, moléculas de agua, edificios y suelo.

Las superficies horizontales reciben gran parte de esta radiación y las superficies verticales reciben una parte menor.

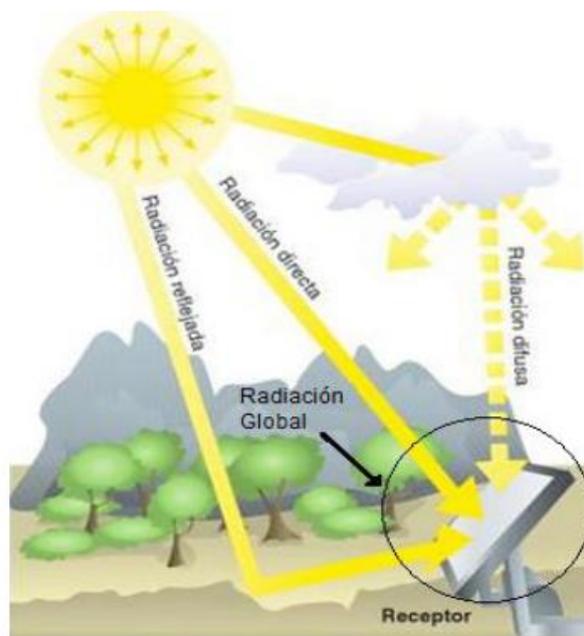
C. RADIACIÓN REFLEJADA.

Denominada albedo, es la radiación directa y difusa que llega inicialmente al suelo u otras superficies próximas que generan reflexión para que de este modo llegue a los captadores.

D. RADIACIÓN GLOBAL.

Es la suma de todas las radiaciones descritas anteriormente y adopta éste nombre ya que es la radiación solar total que recibe la superficie de un receptor y por lo tanto la que se debe conocer y cuantificar. Para una mejor comprensión de cada uno de los tipos de radiación mencionados, en la figura N° 2.1, se muestra cada una de ellas.

Figura N° 2.1. Tipos de radiación sobre una superficie.



Fuente: SANTAMARÍA, Germán y CASTEJÓN, Agustín. Instalaciones solares fotovoltaicas.

2.2.2.2. FACTORES QUE AFECTAN LA CANTIDAD DE RADIACIÓN SOLAR DISPONIBLE EN UN LUGAR.

Existen cuatro factores fundamentales, el primero, es la latitud del sitio, es decir, su posición al norte o al sur del ecuador; el segundo es la nubosidad, ésta impide el paso directo de la radiación, con lo cual solo hay radiación difusa que puede tener valores cercanos al 10% de la radiación que se pudiera estar percibiendo si fuese directa; en tercer lugar se encuentra la humedad del aire, la cual absorbe la radiación solar, impidiendo su paso hasta las superficies; por último, está la claridad atmosférica, que incluye las nubes, el esmog y el polvo, que obstaculizan el paso de la radiación.

2.2.3. FORMAS DE APROVECHAR LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar en la actualidad está siendo aprovechada para fines energéticos a través de dos vías basadas en principios físicos diferentes. Por un lado la vía térmica. Los sistemas que adoptan esta vía absorben la energía solar y la transforman en energía calorífica, la cual es transferida a un fluido y utilizada con fines sanitarios y de climatización, para uso comercial, residencial o industrial. El nivel de temperatura al cual se puede elevar el agua puede llegar a ser tan alto (hasta 300°C) como para producir energía eléctrica a través de turbinas de vapor. Por otro lado, la vía fotovoltaica. Esta permite la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica mediante las llamadas "células solares" o "células fotovoltaicas". Dichas células hacen posible la producción de electricidad a partir de la radiación solar como consecuencia del efecto fotovoltaico, un efecto por el que se transforma directamente la energía luminosa en energía eléctrica y que se produce cuando la radiación solar entra en contacto con un material semiconductor cristalino. La energía generada se puede utilizar para electrificación de viviendas, aplicaciones agrícolas, comunicaciones, señalización, entre otras.

2.2.4. CÉLULAS SOLARES

Las células solares son los elementos encargados de transformar la energía solar en energía eléctrica.

2.2.4.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Para llevar a cabo esta conversión se utilizan las células solares, constituidas por materiales semiconductores en los que artificialmente se ha creado un campo eléctrico constante (mediante una unión p-n).

Cuando sobre un semiconductor incide una radiación luminosa con energía suficiente para romper los enlaces de los electrones de valencia y generar pares electrón-hueco, la existencia de una unión p-n separa dichos pares, afluyendo electrones a la zona n y huecos a la zona p, creando en resumen una corriente eléctrica que atraviesa la unión desde la zona n a p, y que puede ser entregada a un circuito exterior (saliendo por la zona p y entrando por la n). De esta manera, cuando se expone una célula solar a la luz del sol se hace posible la circulación de electrones y la aparición de corriente eléctrica entre las dos caras de la célula.

2.2.4.2. TIPOS DE CÉLULAS SOLARES.

El principal material empleado para la construcción de las células es el silicio, el cual se presenta en diversas estructuras, que a su vez dan origen a una clasificación de dichas células en los siguientes tipos:

A. CÉLULAS DE SILICIO MONOCRISTALINO.

Se obtienen a partir de barras o bloques de silicio, el cual se caracteriza por una disposición ordenada y periódica de átomo, de forma que solo tiene una orientación

cristalina, es decir, todos los átomos están dispuestos simétricamente. Presentan un color azulado oscuro y con un cierto brillo metálico. Alcanzan rendimientos de hasta el 17%.

Según la cantidad de material que se bisela, resultan capas cuadradas, rectangulares o redondas tal como se muestra en la figura N° 2.2.

Figura N° 2.2 Células de silicio monocristalino.



Fuente: VALENTÍN LABARTA, José Luis. Instalaciones solares fotovoltaicas.

B. CÉLULAS DE SILICIO POLICRISTALINO.

El silicio es depositado sobre otra sustancia en forma de capas; su superficie es irregular debido a que las direcciones de alineación durante la deposición del material van cambiando cada cierta cantidad de tiempo. Tienen menor costo de fabricación que las células de silicio monocristalino y su eficiencia alcanza un 12%. Se fabrican en forma rectangular (figura N°2.3).

Figura N° 2.3 Células de silicio policristalino.



Fuente: VALENTÍN LABARTA, José Luis. Instalaciones solares fotovoltaicas.

C. CÉLULAS DE SILICIO AMORFO.

También llamadas células de capa delgada (figura N° 2.4.) ya que se obtienen al depositar una capa fina de silicio amorfo sobre una base de material convencional (por ejemplo cristal). No existe una estructura cristalina ordenada, presenta un color marrón y gris oscuro. Posee una eficiencia baja entre el 6% y el 8% , sufre una rápida degradación por la luz solar; con estas células se pueden obtener láminas flexibles y semitransparentes. Su principal aplicación es la alimentación de relojes y calculadoras.

Figura N° 2.4 Células de silicio amorfo



Fuente: VALENTÍN LABARTA, José Luis. Instalaciones solares fotovoltaicas.

2.2.5. PANELES FOTOVOLTAICOS

Los paneles o módulos solares fotovoltaicos son conjuntos de células solares interconectadas eléctricamente y protegidas superficialmente contra la intemperie.

2.2.5.1. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.

Actualmente, los paneles fotovoltaicos están definidos por un conjunto de parámetros que especifican sus características técnicas de operación. Dichos parámetros se pueden expresar en condiciones típicas de operación denominadas TONC (temperatura de

operación nominal de la célula) o en condiciones de ensayo dados como STC (condición de prueba estándar).

Los parámetros fundamentales que expresan las características eléctricas de los paneles son:

- Potencia máxima (P_{max}), la cual indica el valor máximo de potencia obtenido bajo condiciones específicas y corresponde al producto de los parámetros voltaje y corriente máximos.
- Tensión de potencia máxima (V_{mp}), valor de la tensión cuando el panel está suministrando la máxima intensidad de corriente.
- Intensidad de potencia máxima (I_{mp}), corriente suministrada a la potencia máxima. Se considera como la representación de la corriente nominal.
- Corriente de cortocircuito (I_{sc}), representa la máxima corriente que puede proporcionar el panel bajo condiciones de tensión cero.
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}), especifica la tensión máxima que puede proporcionar el panel sin carga.

2.2.5.2. CONCEPTOS IMPORTANTES PARA EL DIMENSIONADO Y UBICACIÓN DE LOS PANELES.

Durante el desarrollo de un proyecto con paneles fotovoltaicos, es necesario tener en cuenta algunos conceptos importantes que influyen directamente en los cálculos a realizar para el dimensionado, en la ubicación y orientación de los mismos, ellos son:

A. Irradiancia.

Se define como la potencia instantánea de radiación solar recibida por unidad de superficie, su unidad de medida según el Sistema Internacional de medidas (SI) es

el kW/m^2 . Todos los instrumentos de medida de la “radiación” solar, miden en realidad la irradiancia, ya que siempre se mide la cantidad de potencia que es recibida por metro cuadrado, dichas mediciones se realizan cada cierto tiempo, con lo cual, luego de un tratamiento de datos se obtiene la irradiación solar.

B. Irradiación.

Es la energía solar que llega a una superficie determinada durante cierta cantidad de tiempo y se puede obtener al integrar la irradiancia en un periodo determinado. Según el Sistema Internacional de medidas, su unidad es el kWh/m^2 .

C. Hora solar pico.

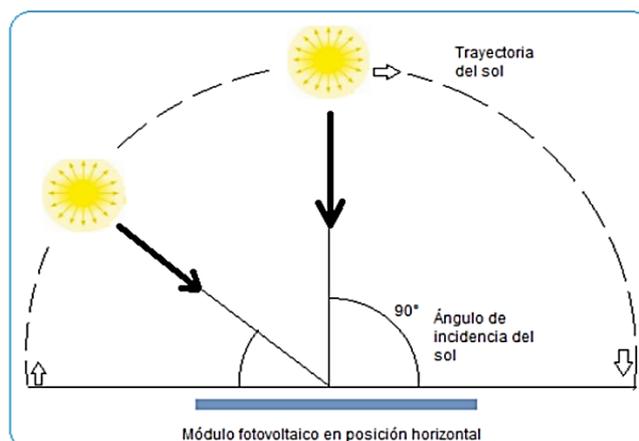
Las horas solar pico (HSP), se pueden definir como la cantidad de horas del día en las cuales posiblemente se dispone de una irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 .

Para calcular su valor, es necesario dividir el valor de la irradiación incidente en el sitio entre el valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar (STC), que es 1000 W/m^2 , ya que como se vio anteriormente, es bajo estas condiciones que se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos o paneles solares.

D. Ángulo de incidencia.

Es el ángulo con el cual los rayos del sol impactan una superficie. Para el caso de los módulos fotovoltaicos lo ideal es utilizar un seguidor solar para maximizar la cantidad de energía captada, ya que para éstos, un ángulo de incidencia de 90° es lo óptimo, pero solo se alcanza dicho ángulo al medio día si el módulo esta fijo en una posición horizontal. La variación del ángulo de incidencia según la trayectoria del sol sobre un panel ubicado horizontalmente se puede apreciar en la figura N° 2.5.

Figura N° 2.5 Ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre un módulo en posición horizontal.



Fuente: VALENTÍN LABARTA, José Luis. Instalaciones solares fotovoltaicas.

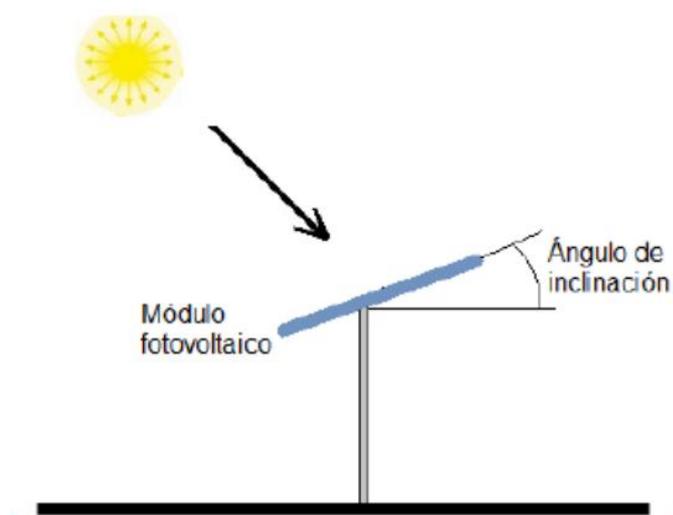
Es importante aclarar que los seguidores solo son recomendables cuando se tienen altas potencias (superiores a 5000 Watt), porque de lo contrario, se incrementan costos de instalación y mantenimiento que disminuyen la viabilidad del proyecto; para lograr un buen aprovechamiento de la energía sin excederse en los costos, se debe evaluar de forma correcta el ángulo de inclinación y la orientación del panel, que son los factores fundamentales al momento de la instalación y se describirán a continuación.

E. Orientación y ángulo de inclinación.

En los sistemas de baja potencia, lo ideal es tener una orientación y un ángulo de inclinación fijos, para reducir costos de instalación y mantenimiento. La orientación de los módulos se debe hacer con respecto al ecuador, así, para los sitios ubicados al sur del ecuador se deben orientar hacia el norte geográfico y los ubicados al norte, hacia el sur geográfico (ver figura N° 2.6.); el ángulo de inclinación depende de la ubicación geográfica del sitio. En la mayoría de las veces, dicho ángulo se elige sumando o restando grados al valor de la latitud, así, para Perú el valor recomendado es el de la latitud

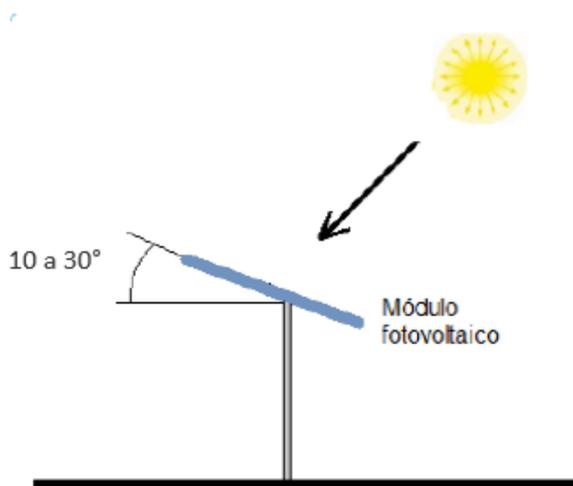
del lugar de instalación, siempre y cuando se mantenga un valor entre los 10 y 30°, para evitar estancamientos de agua en el módulo y acumulación de polvo u otras partículas (figura N° 2.6, 2.7).

Figura N° 2.6. Orientación de los módulos fotovoltaicos para un sitio ubicado al sur.



Fuente: VALENTÍN LABARTA, José Luis. Instalaciones solares fotovoltaicas.

Figura N° 2.7. Orientación y ángulo de inclinación recomendado para Perú (ubicada en latitud sur).



Fuente: VALENTÍN LABARTA, José Luis. Instalaciones solares fotovoltaicas.

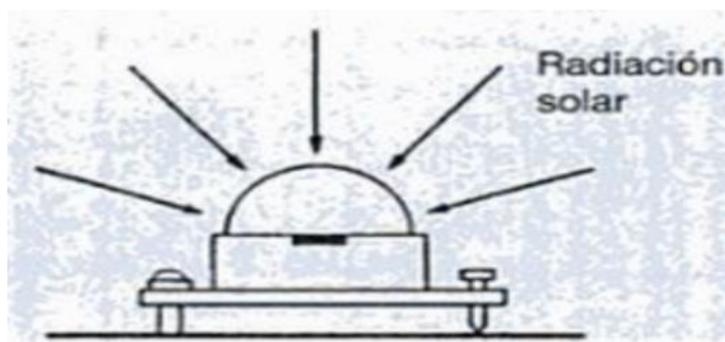
2.2.6. INSTRUMENTOS DE MEDIDA DE RADIACIÓN

Para medir la radiación, es necesario precisar que componente de ella se desea medir y el periodo de tiempo en el que se realizaran dichas mediciones, ya que con base en estos dos parámetros se determina el tipo de instrumento que debe utilizarse. Se pueden diferenciar entre mediciones de la duración de la radiación solar, de la cantidad de la radiación global, la radiación visible (luz), entre otras. A continuación se describen algunos de los instrumentos más utilizados.

2.2.6.1. PIRANÓMETRO.

También llamado solarímetro, es un medidor de radiación total. Su operación es la siguiente: se expone a la radiación solar una lámina metálica con una superficie reflectante y junto a ella otra cuya superficie es absorbente; la lámina absorbente se calienta más que la reflectante, admitiendo una diferencia de temperatura proporcional a la radiación que es medida mediante un termopar. En el mercado actual existen también otros tipos, los cuales realizan la misma función, pero su principio de funcionamiento se basa en la dilatación diferencial de una lámina bimetálica y otros basados en la señal proporcionada por una célula fotoeléctrica expuesta a la luz. En la figura N° 2.8. Se puede apreciar un esquema de este medidor.

Figura N° 2.8. Representación esquemática de un piranómetro de radiación total.

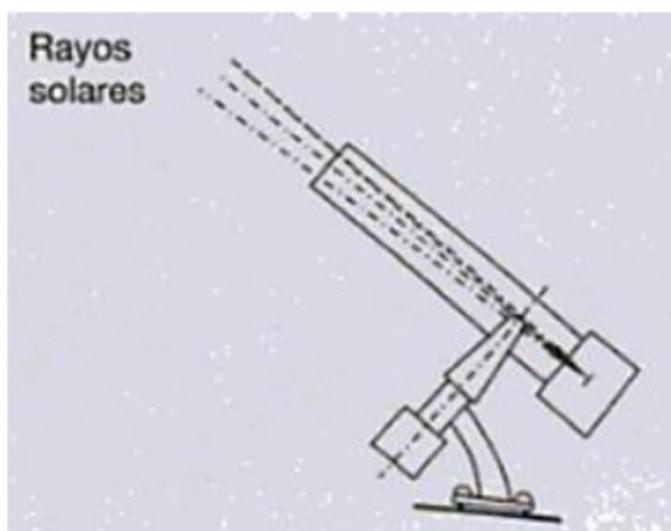


Fuente: JUTGLAR, Lluís. Energía solar.

2.2.6.2. PIRHELIÓMETRO.

Este instrumento es utilizado para medir la radiación solar directa; en esencia es un piranómetro situado en el fondo de un tubo. Dicho tubo está recubierto por interiormente con una pintura absorbente con el fin de reducir al máximo la reflexión, es lo suficientemente estrecho y largo como para que desde el fondo, se vea el sol y la menor porción posible de cielo (Ver figura N° 2.9).

Figura N° 2.9. Representación esquemática de un pirheliómetro.

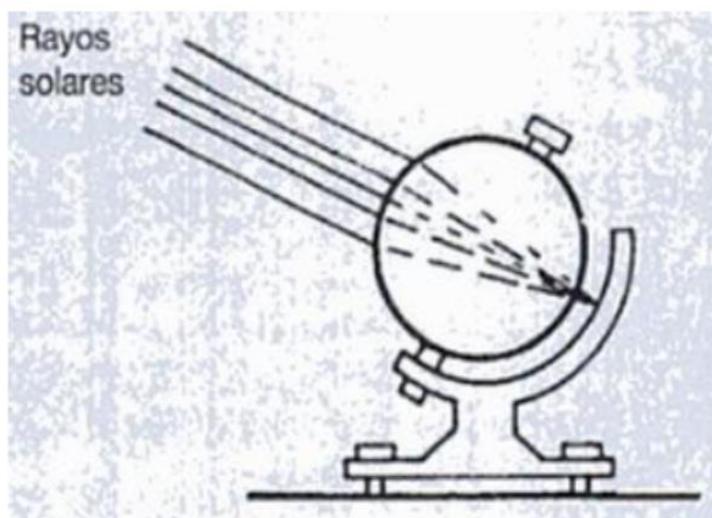


Fuente: JUTGLAR, Lluís. Energía solar.

2.2.6.3. HELIÓGRAFO.

Se utiliza para medir el número de horas de sol brillante que se produce a lo largo del día, consiste en una bola de cristal transparente que concentra la luz sobre una banda de papel en la cual queda registrada una marca, cuya intensidad es cualitativamente proporcional a la intensidad de la radiación solar (ver figura N° 2.10).

Figura N° 2.10 Representación esquemática de un heliógrafo de Campbell-Stockes.



Fuente: JUTGLAR, Lluís. Energía solar

2.3. BOMBAS

Una de las máquinas más utilizadas por el hombre, tanto a nivel industrial como comercial y agrícola, es la bomba mecánica, utilizada para transportar sustancias líquidas o sólidas desde un sitio hasta otro, o para aumentar su velocidad dentro de un ducto o tubería, como es el caso de las bombas empleadas para el transporte de gasolina o gas por medio de ductos, en los cuales por razones económicas o de seguridad, la velocidad del fluido no debe disminuir excesivamente.

A nivel agrícola, se han convertido en una de las máquinas más usadas, ya que no todas las fuentes de agua disponibles para el consumo tanto de hombres como de animales y plantas, están ubicadas cerca a sus viviendas o cultivos, lo cual hace que sea fundamental su uso.

Uno de los principales inconvenientes de estas máquinas es su baja eficiencia, lo cual la hace altamente contaminante y costosa, ya que no toda la energía invertida en la máquina se convierte en energía hidráulica.

2.3.1. DEFINICIÓN

Existen diferentes formas de expresar la definición de lo que es ésta máquina, lo que sí es claro es que todas se basan en el postulado de transformación de energía de un tipo a otro. Así, podría decirse que una bomba es una turbo máquina hidráulica que absorbe energía mecánica y la convierte en energía hidráulica transfiriéndola al líquido que la atraviesa en forma de presión o de velocidad.

2.3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS BOMBAS MECÁNICAS

Las bombas se clasifican en bombas rotodinámicas y bombas de desplazamiento positivo. Las características principales de cada una de ellas se especifican en la tabla N° 2.1.

Tabla N° 2.1. Clasificación y características de las bombas mecánicas

Tipo de bomba	Rotodinámicas	De desplazamiento positivo
Definición	Son siempre rotativas. Su funcionamiento se basa en la ecuación de Euler y su órgano transmisor de energía se llama rodete. Se llaman rotodinámicas porque su movimiento es rotativo y la dinámica de la corriente juega un papel esencial en la transmisión de la energía.	A este grupo pertenecen las bombas alternativas y las rotoestáticas. Su funcionamiento se basa en el principio de desplazamiento positivo. El órgano principal es designado como desplazador.
Clasificación	- Según la dirección del flujo: bombas de flujo radial, de flujo axial y de flujo radio-axial. - Según la posición del eje: bombas de eje horizontal, de eje vertical y de eje inclinado. -Según la presión generada: bombas de baja, media y alta presión. - según el número de flujos: de simple aspiración y de doble aspiración. - Según el número de rodets: de uno o de dos escalonamientos.	Se pueden clasificar bajo dos criterios: el tipo de movimiento del desplazador (alternativas y rotativas) y la variabilidad del desplazamiento (fijo y variable), lo cual da como resultado: -alternativas de desplazamiento fijo. -alternativas de desplazamiento variable. -rotativas de desplazamiento fijo.

		-rotativas de desplazamiento variable.
Aplicaciones	Extracción de agua de pozos profundos, alimentación de calderas, transporte de líquidos por ductos, elevación de líquidos.	Las alternativas se utilizan para el bombeo de líquidos y para transmisiones y controles hidráulicos y neumáticos. Las rotativas para bombeo de combustibles y lubricantes y en la industria de alimentos.

Fuente: Adaptado de: MATAIX, Claudio. Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas y VIEJO ZUBICARAY, Manuel. Bombas. Teoría, diseño y aplicaciones.

2.3.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS BOMBAS MECÁNICAS

Las bombas mecánicas se definen por tres características principales de operación, las cuales son el caudal, la altura o cabeza de bombeo y la potencia consumida.

2.3.3.1. CAUDAL (Q).

Este parámetro indica la cantidad de líquido (medido volumétricamente) que puede impulsar la bomba en determinado tiempo. El valor de este parámetro se establece de acuerdo a los requerimientos de fluido en cada caso específico.

2.3.3.2. ALTURA ÚTIL (H).

Se define como la altura que el rodete imparte al fluido menos las pérdidas generadas al interior de la bomba. El cálculo de este parámetro se da partiendo de la ecuación de Bernoulli entre el punto de entrada de líquido (E) y el punto de salida (S) (figura N° 2.11.), como se muestra en la ecuación (2.1).

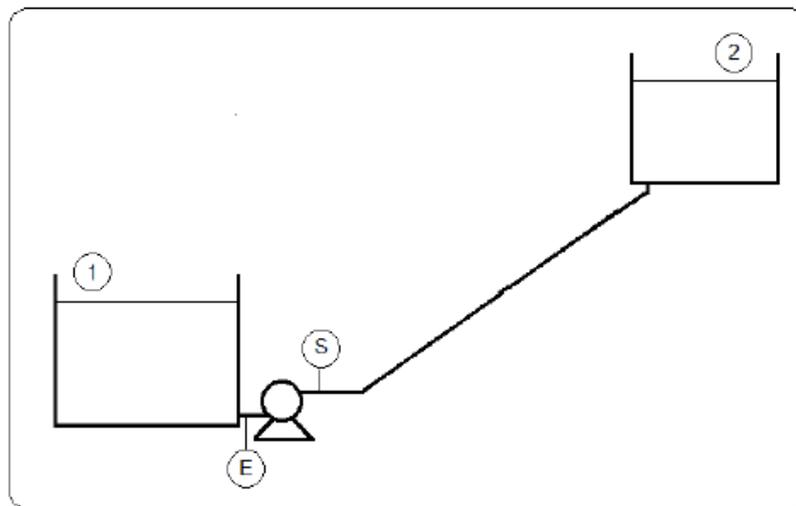
$$\frac{P_E}{\rho g} + Z_E + \frac{v_E^2}{2g} + H = \frac{P_S}{\rho g} + Z_S + \frac{v_S^2}{2g} \quad (2.1)$$

Despejando H, se tiene:

$$H = \frac{P_S}{\rho g} + Z_S + \frac{v_S^2}{2g} - \left(\frac{P_E}{\rho g} + Z_E + \frac{v_E^2}{2g} \right) \quad (2.2)$$

Con lo cual se puede definir la altura útil como la diferencia de alturas totales entre la salida y la entrada de la bomba. Esta diferencia es el incremento de la altura útil comunicada por la bomba al fluido.

Figura N° 2.11. Esquema del sistema de bombeo



Fuente: JUTGLAR, Lluís. Energía solar

Si se reordenan los términos de la ecuación (2.2), se obtiene:

$$H = \frac{P_S - P_E}{\rho g} + Z_S - Z_E + \frac{v_S^2 - v_E^2}{2g} \quad (2.3)$$

La ecuación anterior es precisada por algunos autores como la primera expresión de la altura útil, la cual a su vez, permite definir la altura útil como el incremento de altura de presión más el incremento de altura geodésica más el incremento de altura dinámica.

Como se puede observar, en la ecuación (2.3) no se tienen en cuenta las pérdidas que se dan en las tuberías y en los accesorios requeridos para el transporte del líquido bombeado (H_r), las cuales aumentan considerablemente el valor de la altura de bombeo. Para determinar la ecuación que incluye dicho factor, es necesario aplicar la ecuación de Bernoulli entre los puntos 1 y 2, obteniéndose al despejar la altura de la bomba lo siguiente:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + Z_2 - Z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + H_r \quad (2.4)$$

2.3.3.3. POTENCIA ÚTIL (P).

Es la potencia invertida para impulsar el caudal útil (Q) una altura útil (H). La expresión que permite realizar el cálculo es:

$$P = Q\rho gH \quad (2.5)$$

Dónde:

ρ = densidad del fluido bombeado.

g = gravedad.

2.3.4. PÉRDIDAS EN TUBERÍAS

Las pérdidas de carga en las tuberías (H_r) son de dos tipos: primarias y secundarias; las primarias son las pérdidas de superficie, en el contacto del fluido con la tubería, el rozamiento de unas capas de fluido con otras o de las partículas de fluido entre sí. Las secundarias son las pérdidas de forma, que tienen lugar en las transiciones, válvulas y accesorios.

2.3.4.1. PÉRDIDAS PRIMARIAS.

Estas pérdidas se determinan mediante la ecuación general de pérdidas de Darcy – Weisbach:

$$P_{rp} = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2.6)$$

Donde:

H_{rp} = Pérdida de carga primaria

λ = Coeficiente de pérdida de carga primaria

L = Longitud de la tubería

D = Diámetro interno de la tubería

v = Velocidad media del fluido

El coeficiente de pérdida de carga primaria (λ) depende del diámetro de la tubería, de la velocidad media del fluido, la viscosidad absoluta o dinámica (μ) y la rugosidad de la tubería (k).

El fluido puede presentar régimen laminar o régimen turbulento, dependiendo del número de Reynolds, el cual se calcula así:

$$Re = \frac{\rho * v * D}{\mu} \quad (2.7)$$

El criterio para definir si el flujo es laminar o turbulento es:

$Re < 2\,000$, flujo laminar;

$Re > 10\,000$, flujo turbulento;

El rango de 2 000 a 10 000 se considera como una transición entre los dos tipos de flujo, pero para efectos de cálculo, se considera como turbulento.

Así pues, para flujo laminar, el cálculo de λ se realiza mediante la ecuación de Poiseuille:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (2.8)$$

La expresión anterior es válida tanto para tuberías lisas como rugosas.

Por otra parte, para el flujo turbulento en tuberías lisas, se puede emplear la ecuación de Blasius, para $Re < 100\,000$:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{\frac{1}{4}}} \quad (2.9)$$

O la primera ecuación de Karman-Prandtl, para $Re > 100\,000$:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10}(Re\sqrt{\lambda}) - 0,8 \quad (2.10)$$

Cuando se tienen tuberías rugosas, la expresión que permite determinar el coeficiente λ es:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} \right) \quad (2.11)$$

Conocida como la ecuación de Colebrook-White, la anterior expresión se puede aplicar sólo cuando el fluido esta en zona de transición; de lo contrario, es decir, si el flujo por la tubería rugosa es turbulento, se aplica segunda ecuación de Karman-Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} \frac{D}{2k} + 1,74 \quad (2.12)$$

2.3.4.2. PÉRDIDAS SECUNDARIAS

Al igual que las pérdidas primarias, este tipo de pérdidas influyen significativamente en la altura de bombeo, en especial cuando los trayectos de transporte de fluido son cortos.

Para estimar el valor de este tipo de pérdidas, se debe recurrir a la aplicación de la ecuación fundamental de las pérdidas secundarias:

$$H_{rs} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (2.13)$$

Dónde:

H_{rs} = pérdidas secundarias.

ζ = coeficiente adimensional de pérdida de carga secundaria que es propio de cada tipo de accesorio

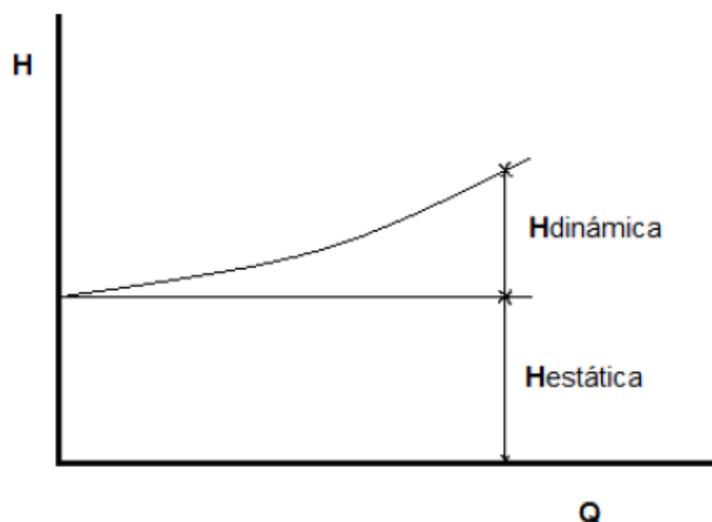
v = velocidad media en la tubería si se trata de codos o válvulas, o la velocidad de la sección menor en caso de ensanchamientos y o contracciones

2.3.5. CURVAS DEL SISTEMA DE BOMBEO

Las curvas de los sistemas de bombeo se construyen mediante la suma de la carga estática total más la carga dinámica, donde la primera es igual a la diferencia de altura entre los tanques o sitios de extracción y recepción de líquido, mientras que la segunda, es la suma de las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios más la diferencia de los cuadrados de las velocidades de descarga y de succión divididos por dos veces la gravedad así:

$$H_{Total} = H_{estática} + H_r + \frac{v_{descarga}^2 - v_{succión}^2}{2g} \quad (2.14)$$

Gráficamente, la curva del sistema queda algo similar a lo que se muestra en la figura N° 2.12. Para los sistemas en los que se presentan ambos tipos de carga.

Figura N° 2.12. Curva de carga de un sistema de bombeo.

Fuente: JUTGLAR, Lluís. Energía solar

2.4. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Dado que tanto los sistemas eólicos como los solares son intermitentes y no siempre se necesita la energía justo en el momento en el que hay radiación o presencia de viento, es indispensable para este tipo de sistemas disponer de un método adecuado de almacenamiento de energía.

Los acumuladores (conjunto de baterías) brindan en gran medida la confiabilidad de la instalación, por lo tanto se debe tener especial cuidado en su dimensionamiento.

2.4.1. BATERÍAS

Las baterías son dispositivos compuestos por una o varias celdas electroquímicas, las cuales convierten la energía química en energía eléctrica. En sistemas fotovoltaicos, cumplen la función de almacenar la energía eléctrica para su uso posterior, además permite estabilizar el voltaje del sistema.

Su uso tiene algunas repercusiones desfavorables en el diseño de sistemas fotovoltaicos y eólicos tales como el aumento de su costo inicial, el incremento de los requerimientos de mantenimiento y la disminución del rendimiento del sistema.

2.4.1.1.TIPOS DE BATERÍAS.

Según los componentes de las baterías, éstas se clasifican en los siguientes tipos:

- Baterías de Plomo – ácido
- Baterías de Níquel – Cadmio
- Baterías de Níquel – Zinc
- Baterías de Zinc – Cloro

En la actualidad, más del 90% del mercado de acumuladores corresponde a las baterías de plomo ácido. En general, éstas son las que mejor se adaptan tanto a sistemas eólicos como fotovoltaicos. Dentro de las de Plomo – ácido, se encuentran las de Plomo – Calcio, que tienen una baja autodescarga y las de Plomo – Antimonio de tipo abierto y tubular que se deterioran menos con la sucesión de ciclos, presentan mejores propiedades para niveles de baja carga, soportan grandes descargas y tienen una vida media de diez a quince años dependiendo de las condiciones de uso.

Las baterías de plomo - ácido pueden ser también de electrolito líquido o electrolito cautivo, las primeras, son por lo general abiertas, es decir, se les puede agregar agua, son más robustas y de mayor duración cuando se les agrega agua periódicamente.(Enriquez,2011)

Actualmente, en el mercado se puede encontrar una alta diversidad de baterías de plomo – ácido, que según sea el caso, pueden ser útiles para los sistemas fotovoltaicos y eólicos, algunas de ellas se pueden observar en la tabla N° 2.2.

Tabla N° 2.2. Tipos de baterías disponibles en el mercado

Tipo de batería	Descripción	Ventajas	Desventajas
Batería de arranque	Son las usadas en los automóviles, derivan su nombre de su función de arrancar el motor del vehículo suministrando una gran cantidad de energía durante muy poco tiempo. Contienen placas de plomo muy delgado y esponjoso.	Son la opción más económica disponible en el mercado.	Generalmente no son aptas para sistemas fotovoltaicos, duran poco tiempo ya que no están diseñadas para soportar regímenes de descarga altos.
Baterías híbridas	También llamadas baterías solares o marinas, poseen electrodos con un agregado de plomo-antimonio que permite una mayor profundidad de descarga. Contienen placas de plomo más gruesas y mayor capacidad para electrolito que las de arranque.	Ofrecen una buena relación calidad-precio para sistemas fotovoltaicos de baja potencia. Su vida útil tiende a ser entre 600 y 2000 ciclos para profundidades de descarga inferiores al 25%.	Tienen una vida útil reducida si se manejan ciclos de descarga profundos (mayores a 25%).
Baterías de tracción	Contienen placas de plomo gruesas de mayor densidad que las baterías de arranque, con un alto contenido de plomo-antimonio.	Toleran ciclos de descarga más profundos que las anteriores. El antimonio en las placas aumenta su vida útil y resistencia.	Debido a su alto contenido de plomo-antimonio pierden más electrolito por gasificación, por lo cual requiere un relleno frecuente con agua destilada.
Baterías de placas tubulares de ácido líquido o gel	Los terminales positivos están fabricados en células tubulares en	Aguantan ciclos de descarga muy profundos con larga vida útil. Suelen	Don muy costosas y se suelen usar en instalaciones grandes, donde se

	lugar de placas planas, protegidos por una membrana tubular. se adaptan muy bien a los sistemas fotovoltaicos de elevada potencia.	tener cajas transparentes que permiten ver rápidamente el nivel del electrolito.	justifica el precio elevado con una larga vida útil a ciclos de descarga profundos.
Baterías de recombinación (VRLA)	Durante el proceso de gasificación, el hidrógeno se recombina dentro de la batería como electrolito. Si se sobrecargan, tienen una válvula de seguridad que evita las presiones extremas dentro de la caja.	Son útiles cuando se desea minimizar el mantenimiento, siempre y cuando el ciclo de descarga sea poco profundo y el regulador de carga sea el adecuado.	Sus costos son elevados y no toleran ciclos de descarga profundos.
Baterías de gel	Tienen un electrolito de ácido sulfúrico convertido en gel, vienen sellados de fábrica.	Son libres de mantenimiento e inmunes a la estratificación. Algunas pueden soportar descargas profundas. Tienen una tasa de auto descarga baja.	Son muy sensibles a la tensión de carga, al as sobrecargas y a las corrientes elevadas.
Baterías AGM	Estas baterías de electrolito absorbido contienen esteras de fibra de vidrio en las cuales el electrolito de ácido sulfúrico está absorbido.	Tienen una tasa de descarga muy baja, pueden tener ciclos de vida de 4 años a una profundidad de descarga del 40%. No emiten hidrógeno al cargar y son inmunes a la estratificación.	Tienen un costo elevado

Fuente: Adaptado de: STYLE, Oliver. Energía solar autónoma

2.4.1.2. ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.

Los principales parámetros eléctricos que definen las condiciones de uso de una batería son:

A. Tensión.

Indica el voltaje de trabajo de la batería, pueden ser de 6 V, 12 V, 24 V, etc., dependiendo del número de celdas internas que estén conectadas en serie.

B. Capacidad.

Parámetro que indica la cantidad de carga que se puede extraer de la batería en un determinado número de horas, expresada en amperios-hora [Ah]. La capacidad de almacenamiento de energía de la batería depende de la velocidad de descarga, es decir, del número de horas en el que se consumen la cantidad de amperios disponibles en la misma, por ejemplo, una batería de 100 Ah, puede suministrar 100 A durante una hora, 50 A durante dos horas o 25 A durante cuatro horas; dicha disminución de la velocidad de descarga, puede generar un aumento ligero en la capacidad de la batería, por el contrario su aumento, produce una reducción de ésta.

Otro factor que afecta la capacidad de la batería es su temperatura interna y la ambiente, ya que todos los fabricantes entregan una capacidad según estudios previos realizados para una determinada temperatura que también debe estar especificada en la ficha técnica.

Los fabricantes suelen expresar dentro de las características eléctricas la capacidad nominal, que equivale como ya se dijo a la capacidad en Ah que se le pueden extraer a la batería y la capacidad útil, que corresponde al producto de la capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga permitida para que la batería tenga una cierta cantidad de vida útil.

C. Profundidad de descarga.

Representa el cociente entre la carga extraída y su capacidad nominal. Se da en porcentaje, el cual representa la cantidad de carga que se puede extraer a la batería respecto a su capacidad total. Sus valores varían dependiendo de los tipos de batería y de sus aplicaciones, así pues, pueden ser de descarga superficiales de alrededor de 20%, que son las utilizadas en automóviles o de descargas profundas de hasta el 80%, empleadas en sistemas fotovoltaicos.

D. Ciclos de vida. Indicación que da el fabricante del número de veces que es posible cargar completamente la batería durante su vida útil según ciertos valores en los porcentajes de la profundidad de descarga.

E. Auto descarga. Este término hace referencia a la pérdida de energía que experimentan las baterías cuando están inactivas.

2.4.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El sistema de acumulación de energía, está conformado por baterías que concentran la energía durante el tiempo en que no se tiene consumo, o éste es bajo y por lo tanto la energía generada es menor a la utilizada, para luego, entregar dicha energía durante los periodos de tiempo en los que hay consumo, pero no hay generación (Perales, 2006, p.23).

Existen dos aspectos fundamentales que se deben tener en cuenta para determinar la capacidad del sistema, los cuales son:

- La profundidad de descarga de la batería.
- Los días de autonomía del sistema.

De acuerdo a lo anterior, la ecuación que permite el cálculo del sistema de almacenamiento es:

$$C = \frac{W*N}{V_{bat}*P_d} \quad (2.15)$$

Dónde:

C = Capacidad del sistema.

W = Consumo diario de energía en Wh/día.

N = Número de días de autonomía.

V_{bat} = Tensión de la batería, que corresponde a la proporcionada por el panel solar o el aerogenerador.

P_d = Profundidad de descarga, en porcentaje.

El dimensionado del sistema de almacenamiento es uno de los más complejos, ya que en caso de no hacerse correctamente, se corre el riesgo de no mantener el banco de baterías cargado cuando está sobredimensionado o de no poder alimentar las cargas correctamente por el tiempo que se requiere en caso de estar demasiado pequeño.

2.5. OTROS ELEMENTOS

Además de los dispositivos principales estudiados en los capítulos anteriores, es muy importante el dimensionado y correcto funcionamiento de los elementos auxiliares del sistema, entre ellos, el regulador, el inversor, las protecciones, el cableado, las tuberías y la estructura soporte de los paneles.

Cada uno de éstos elementos, son imprescindibles en el sistema, ya que son los encargados de controlar, proteger y trasportar la energía generada; pero al mismo tiempo, pueden generar pérdidas muy elevadas y disminuir la eficiencia del sistema, razones por las cuales se hace necesario su estudio y posterior dimensionamiento y selección de manera correcta.

2.5.1. REGULADOR DE CARGA

El regulador, es el dispositivo encargado de proteger el sistema de acumulación (baterías), se debe ubicar entre el generador (modulo fotovoltaico y/o aerogenerador) y el acumulador.

Las principales funciones que desempeña el regulador son: proteger a la batería contra la sobrecarga, regulando la energía proveniente del generador según el estado de carga de la batería; proteger a la batería contra la sobre descarga, cuando hay alto consumo eléctrico y el generador no repone la energía, el regulador desconecta la carga cuando el estado de carga de la batería es demasiado bajo; por último, brinda información básica del sistema, por medio de la monitorización de la tensión, la corriente y el estado de carga del acumulador, lo cual ayuda a que el sistema trabaje en un régimen de alta eficiencia.

2.5.1.1. ETAPAS DE CARGA.

Los reguladores de carga generalmente están diseñados para cargar la batería en 4 etapas

A. Carga inicial.

Quando la tensión en la batería llega a un nivel determinado, el regulador permite el paso de la totalidad de la corriente disponible en el generador, hasta que la batería llegue a un estado de carga del 80%, donde inicia la etapa siguiente.

B. Carga de absorción.

El regulador mantiene la tensión final de carga reduciendo la corriente proveniente del generador hasta alcanzar el estado de carga total (100%).

C. Carga de flotación.

En esta etapa, el regulador permite el paso de una cantidad de corriente muy pequeña, cuyo fin es el de mantener el estado de carga total de la batería.

D. Carga de equalización.

Esta función solo está presente en algunos reguladores que son especiales para las baterías de plomo – ácido con electrolito líquido. En este proceso, se somete la batería a una sobrecarga controlada para reducir la estratificación del ácido y la sulfatación dentro de la batería, además, permite equilibrar la tensión en las celdas de la misma.

2.5.1.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS.

Se deben tener en cuenta dos características eléctricas fundamentales para la selección de un generador de carga, ellas son tensión y corriente nominal.

A. Tensión nominal.

El regulador debe trabajar con el mismo voltaje que se tiene en el sistema; para sistemas fotovoltaicos pequeños lo más común es 12 V. En el mercado, los reguladores se encuentran disponibles en 12 V, 24 V y 48 V.

B. Intensidad nominal.

Es la corriente máxima que puede soportar el equipo. Cuando se vaya a seleccionar este dispositivo, es importante tener en cuenta que su corriente nominal sea mayor a la corriente máxima que puede entregar el sistema.

2.5.1.3. TIPOS DE REGULADOR.

En general, en el mercado se pueden encontrar 4 tipos de reguladores aptos para sistemas con energía renovable, ellos son:

- a. Serie. Son los más sencillos y económicos, se conectan en serie entre el módulo y el sistema de almacenamiento. El control de sobrecarga se efectúa interrumpiendo la conexión entre el sistema de generación (módulos fotovoltaicos y/o aerogenerador) y la batería, mientras que el de sobre descarga se efectúa interrumpiendo la conexión de la batería con los elementos de consumo.

Cuando el regulador funciona normalmente, se tiene una leve caída de tensión producida por el interruptor de control, pero cuando está interrumpiendo la corriente, éste no disipa potencia, motivo que hace este tipo de regulador apto para instalaciones de diversas potencias.

- b. Paralelo. Se conectan en paralelo entre el módulo y la batería. Reducen gradualmente la corriente hasta llegar a un estado de carga de 100%. Al igual que los tipo serie, son económicos y sencillos, pero más adaptables que éstos a los sistemas fotovoltaicos.

El control de sobrecarga se efectúa cortocircuitando el campo generador, mientras que el de sobre descarga se realiza similar al tipo serie. Pueden tener interruptores electrónicos o electromecánicos, pero independientemente de ello, requieren un diodo interno que impida que el cortocircuito afecte la batería, lo cual evita la descarga inversa de la misma hacia el campo generador.

- c. Modulación de anchura de pulso (PWM). Son los reguladores que emiten pulsos de carga a la batería cuya intensidad depende del estado del estado de carga de la misma. A medida que se va cargando la batería, el ancho de los pulsos se va reduciendo progresivamente. Son económicos y confiables para los sistemas solares autónomos.
- d. Punto de máxima potencia (MPPT). Este tipo de regulador está dotado de convertidores de corriente continua para trabajar en el punto de máxima potencia del módulo fotovoltaico, por lo tanto pueden aumentar entre un 10-35% la energía que recibe de éstos. Se usan típicamente en los sistemas solares autónomos grandes, donde se justifica su costo por el mejoramiento en el rendimiento del generador.

2.5.2. INVERSOR

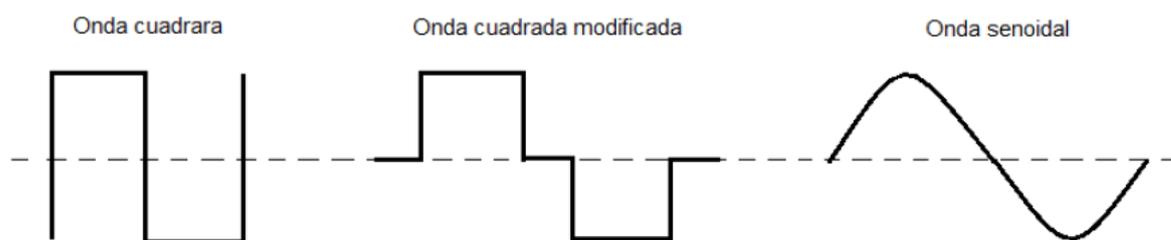
El inversor es un dispositivo que convierte la corriente continua proveniente del sistema de almacenamiento en corriente alterna, por medio de una serie de circuitos electrónicos que además aumentan la tensión.

Su uso aumenta el costo del sistema y reduce su eficiencia, pero es necesario cuando la carga solo puede funcionar con corriente alterna. La mayoría de los inversores tienen eficiencias entre el 85-90% a plena carga, pero si se usan con cargas menores, su eficiencia disminuye.

2.5.2.1. TIPOS DE INVERSORES.

Dependiendo de la forma de la onda que generan a la salida, los inversores se clasifican en senoidales, semisenoidales y de onda cuadrada, en la figura N° 2.13. Se pueden observar dichos tipos de onda.

Figura N° 2.13. Tipos de onda de salida de los inversores comerciales.



Fuente: Adaptado de: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos.

a. Inversores senoidales.

Corresponden a los que proporcionan una onda senoidal a la salida, similar a las de las redes eléctricas públicas. Con este tipo de onda es posible alimentar equipos con componentes de condición resistiva (lámparas incandescentes) e inductiva

(electrodomésticos que incorporan motores). Tienen un rendimiento menor y un precio superior a los de tipo semisenoidal.

b. Inversores semisenoidales.

Entregan una onda en forma semisenoidal, más conocida como onda cuadrada o senoidal modificada. Tienen un alto rendimiento y son económicos, pero presentan la desventaja de tener incompatibilidad de funcionamiento con algunos equipos inductivos.

c. Inversores de onda cuadrada.

Son los inversores más económicos en el mercado, generan una señal de onda cuadrada que puede ser perjudicial para la operación de algunos aparatos electrónicos, ya que presentan alta distorsión armónica en la onda de voltaje.

2.5.2.2. COMPATIBILIDAD ENTRE TIPOS DE INVERSORES Y ELECTRODOMÉSTICOS.

Como se mencionó anteriormente, no todos los tipos de onda entregados por los inversores son compatibles con los equipos eléctricos y electrónicos, de allí la importancia de una buena selección para un óptimo funcionamiento tanto de equipos como de inversores. En la tabla N° 2.3. Se encuentra la carta de compatibilidad de los tipos de inversores con los equipos y electrodomésticos comunes.

2.5.2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Los inversores se definen por un conjunto de especificaciones técnicas, entre las más importantes, se encuentran la forma de la onda de salida, la tensión nominal de entrada, de operación y de salida; la corriente de entrada y de salida; la frecuencia de la corriente alterna de salida; el rendimiento y la potencia nominal de salida; ésta última, es el

parámetro bajo el cual se selecciona el inversor y se calcula como 1,2 veces la potencia instalada, así:

$$P_{inv} = 1,2 P_{int} \tag{2.16}$$

La ecuación anterior aplica cuando se conectan al sistema todas las cargas al mismo tiempo, como lo es el caso que en este trabajo se plantea; pero si por el contrario se conectan las cargas intermitentemente, por ejemplo en un proyecto para la electrificación de una vivienda, se puede tener como valor de la potencia nominal para la selección del inversor la misma potencia de la instalación.

Tabla N° 2.3 Carta de compatibilidad.

Electrodoméstico o equipo	Tipos de onda de inversor		
	Onda cuadrada	Onda cuadrada modificada	Onda senoidal
Refrigeradores, alumbrado, licuadora, aspiradoras, computadores	Aplicable	Aplicable	Aplicable
Bombas, lavadoras, ventiladores	Posibilidad de sobrecalentamiento	Posibilidad de sobrecalentamiento, corregible usando filtros	Aplicable
Televisores, sistemas musicales, radios, monitores	Posible interferencia	Posibles interferencias esporádicas.	Aplicable
Hornos microondas, cargadores de baterías	Reducción en la potencia del horno y baterías sin carga completa	Hornos operando a menor potencia, baterías no cargadas	Aplicable

Fuente: Adaptado de: ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos.

2.5.3. CONDUCTORES

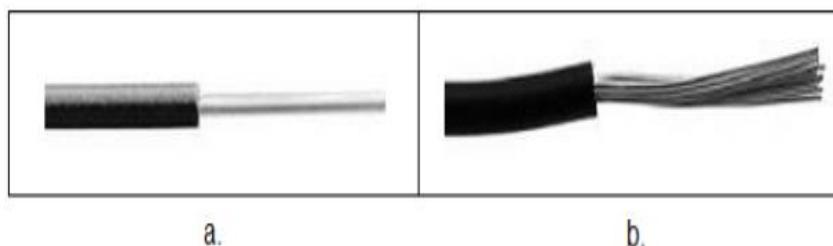
En la unión de todos los dispositivos, cumplen un papel fundamental los conductores, que son los encargados de transportar la energía producida. En este proceso se genera calor y por ende pérdidas que deben ser reducidas lo máximo posible.

Existen dos características que influyen directamente en las pérdidas generadas, ellas son, la corriente y la resistencia del cable (que es función de su área transversal y su material).

Para minimizar las pérdidas en los conductores, es necesario que estos tengan un área seccional adecuada, ya que en cuanto mayor sea el tamaño del conductor, menor será su resistencia (y las pérdidas), pero lógicamente esto también aumenta el costo; por lo anterior, es muy importante tener un equilibrio y utilizar conductores de cobre, que tienen una baja resistencia al flujo de electrones.

2.5.3.1. TIPOS DE CONDUCTORES.

Los conductores pueden ser de alambre o de cable; los conductores de alambre (figura N° 2.14 a) se adaptan mejor a circuitos de corriente alterna, pero son más difíciles de instalar por su baja flexibilidad. Los conductores de cable (figura N° 2.14 b), por su parte, son generalmente más aptos para circuitos de corriente continua y aplicaciones de corriente altas, son más flexibles, ya que contienen una gran cantidad de alambres muy finos.

Figura N° 2.14 Tipos de conductores, (a) alambre, (b) cable

Fuente: STYLE, Oliver. Energía solar autónoma.

2.5.3.2. CAÍDA DE TENSIÓN EN CONDUCTORES.

En los conductores, las caídas de tensión debido a su resistencia son un factor que influye directamente en la eficiencia de los sistemas eléctricos; para el caso de los sistemas solares autónomos, es de vital importancia entender dicho fenómeno, ya que se manejan voltajes muy bajos (menores a 48 V) y por ende, el porcentaje de pérdidas es mucho mayor cuando se pierde cierta cantidad de voltaje.

Si no se seleccionan adecuadamente los conductores, puede correrse el riesgo de tener caídas de tensión que generen una gran pérdida de energía y no se pueda, por ejemplo cargar totalmente las baterías reduciendo el rendimiento de los equipos a alimentar, esto cuando están subdimensionados; por otro lado, si se sobredimensionan, se generarán costos innecesarios en la instalación inicial.

Para los distintos circuitos de un sistema solar autónomo, la caída de tensión expresada en porcentaje debe ser controlada según lo indicado en la tabla N° 2.4.

Tabla N° 2.4. Caídas máximas de tensión.

Circuito	Caída máxima de tensión (%)
Módulo-Regulador	< 3%
Regulador-Batería	< 1%

Regulador-Cargas DC	< 5%
Batería- Inversor	< 1%
Inversor-Cargas AC	< 5%

Fuente: Adaptado de: STYLE, Oliver. Energía solar autónoma.

2.5.4. TUBERÍAS

Las tuberías que comúnmente se utilizan para el transporte de agua potable son las de concreto y las de policloruro de vinilo (pvc). Para este caso, dado que se van a manejar bajos caudales (inferior a 200 L/min), se utilizarán tuberías de PVC para trasladar el agua de un tanque a otro. La principal ventaja que tiene el uso de este tipo de tubería es la reducción en las pérdidas por fricción, ya que son catalogadas como lisas.

2.5.5. ESTRUCTURA SOPORTE DE LOS PANELES

La estructura soporte se encarga de mantener los módulos en una posición adecuada, con la orientación e inclinación óptima dependiendo del sitio. Debe ser una estructura fuerte que resista el viento y la humedad, además debe ser accesible para que se realice mantenimiento y limpieza a los módulos.

Los materiales que se suelen utilizar son concreto o hierro para el mástil (en algunas zonas se puede utilizar madera maciza), la parte del soporte sobre la que va directamente el panel, debe ser en aluminio o acero galvanizado, para evitar la corrosión.

2.6. SISTEMAS DE CONTROL

2.6.1. GENERALIDADES

En muchos procesos industriales la función de control por un operario (ser humano), este operador es el que decide cuanto y como manipular las variables de modo tal que se

obtenga una cadena productiva y eficiente. La eficiencia productiva implica el constante aumento de los niveles de producción de la maquina instalada, el mejoramiento de la calidad del producto final, la disminución de los costos de producción y las seguridad tanto para el personal como para los equipos. Para lograr esto es necesario que los procesos productivos se realicen a mayor velocidad posible y que las variables a controlar estén dentro de los valores constantes. (Enríquez Callata & Quenta Salinas, 2007)

Debido a estas exigencias la industria ha necesitado de la utilización de nuevas y más complejos procesos, que muchas veces el operario no pueda controlar debido a la velocidad y exactitud requerida, además muchas veces las condiciones del espacio donde se lleva a cabo la tarea no son las más adecuadas para el desempeño del ser humano.

Frente a este panorama surge la automatización y los sistemas de control como una solución que va a permitir llevar a la producción a estándares de calidad mucho mejores.

2.6.2. DEFINICIONES BÁSICAS

Control: acción ejercida con el fin de poder mantener una variable dentro de un rango de valores predeterminadas.

Sistemas de control: conjunto de equipos y componentes, que van a permitir llevar a cabo las operaciones de control.

Operaciones de control: conjunto de acciones que buscan mantener una variable dentro de patrones de funcionamiento deseados.

Control automático: es el desarrollo de la acción de control, sin la participación directa de un ser humano (operario).

Automático: es todo aquello que se mueve regula y opera, por sí solo, independientemente del medio que lo rodea.

Automatización: consiste de un sistema de control automático, por el cual el sistema verifica su propio funcionamiento, efectuando medidores y correcciones sin la interferencia del ser humano.

Sistemas de automatización: conjunto de equipos sistemas de información y procedimientos que van a permitir asegurar un desempeño independiente del proceso, a través de operaciones de control y supervisión.

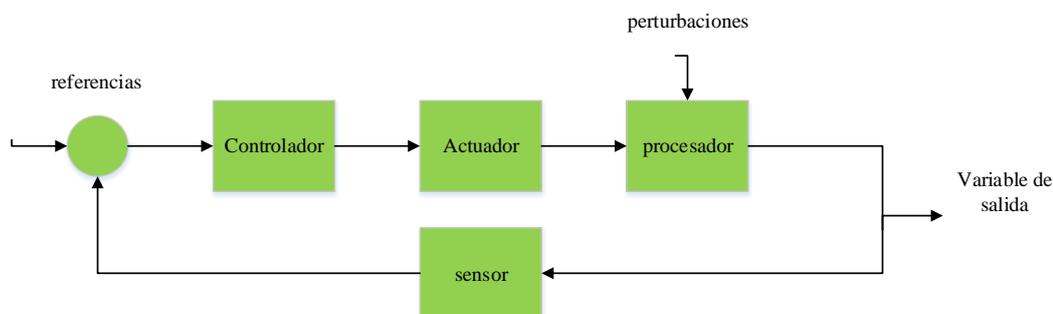
Supervisión y monitoreo: es el proceso de lectura de valores de las diversas variables del proceso, con el objetivo de identificar el estado en el que se viene desarrollando el proceso en un tiempo actual.

2.6.3. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

Adicionalmente a los componentes anteriores, se encuentra aquellos que le van a dar parcialidad de ser autónomo, es decir, el sistema de control va a actuar independiente del operario y va a determinar por sí mismo los mejores valores para las señales de control.

Para ello se controla con una referencia que es un valor dado por el operario, este valor es fijo y depende del tipo de proceso y de las exigencias que este amerite, es conocido como set-point, este valor es el que se desea alcanzar y mantener.

Figura N° 2.15. Descripciones de los elementos de un sistema de control automático.



Fuente: (Enríquez Callata & Quenta Salinas, 2007)

Controlador: es aquel instrumento que compara el valor medido con el valor deseado, en base a esta comparación calcula un error (diferencia entre valor mediano y deseado), para luego actuar a fin de corregir este error.

Tiene por objetivo elaborar la señal de control que permita que la variable controlada corresponda a la señal de referencia.

Los controladores pueden ser de tipo manual, neumático, electrónico; los controladores electrónicos más usados son: computadoras con tarjetas de adquisición de datos PLC (controladores lógicos programables) micro controladores (PIC). El tipo de controlador más común es el PLC, el cual es un equipo electrónico basado en microprocesadores, hace uso de memorias programables y regrabables (RAM), en donde se almacenan instrucciones a manera de algoritmos que van a permitir seguir una lógica de control, contiene interfaces que le permiten manejar gran número de entradas y salidas tanto analógicas como digitales.

Actuador: es aquel equipo que sirve para regular la variable de control y ejecutar la acción de control, es conocido como elemento final de control, estos pueden ser.

- **Actuadores eléctricos:** son usados para posicionar dispositivos de movimientos lineales o rotacionales. Ejemplo, motor, relé, electroválvulas.
- **Actuadores neumáticos:** trabajan con señales de presión, estas señales son convertidas a movimientos mecánicos. Ejemplo, pistones neumáticos, válvulas
- **Actuadores hidráulicos:** operan igual a los neumáticos, son usados en tareas que requieran mayor fuerza por ejemplo levantar compuertas, mover gruas, elevadores, etc.

Proceso: está referido al equipo que va a ser automatizado, por ejemplo puede ser una bomba, tolva, tanque, compresor, molino, intercambiador de calor horno, secador, chancadora, caldera, etc.

Sensor: es un elemento de medición de parámetros o variables del proceso. Los sensores pueden ser usados también como indicadores, para transformar la señal de medida en señal eléctrica. Los sensores más comunes son los de nivel temperatura, presencia, proximidad, flujo, presión, entre otros, pueden ser de varios tipos:

Sensor de contacto: son aquellos que realizan la medida en contacto directo, real y físico con el producto o materia, ejemplo, sensores de boya para medir nivel en un tanque, termocupla para medir temperatura, etc.

Sensores de contacto: se basan en propiedades físicas de los materiales, son más exactos, pero propensos a interferencias del medio ambiente. Ejemplo, sensores ultrasonido, sensores ópticos, etc.

Sensores digitales: trabajan con señales digitales, en código binario pueden representar la codificación de una señal analógica, o también la representación de dos estados on/off. Ejemplo, sensores tipo switch.

Sensores analógicos: proporcionan medidas continuas, los rangos típicos son 0 a 20 mA, 4 a 20mA, 0 a 5V, 1 a 5V, entre otros, ejemplo, sensores capacitivos, sensores piezoresistivos, etc.

Sensores mecánicos: son aquellos que traducen la acción física de elementos medio en un comportamiento mecánico, típicamente con movimiento y/o calor. Ejemplo barómetro, termómetro de mercurio, etc.

Sensores electro mecánico: este tipo de sensor emplea un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico, ejemplo, sensores resistivos, sensores magnéticos etc.

2.3.4. TIPOS DE VARIABLES

Se define variables a todo parámetro físico cuyo valor puede ser medido, puede ser:

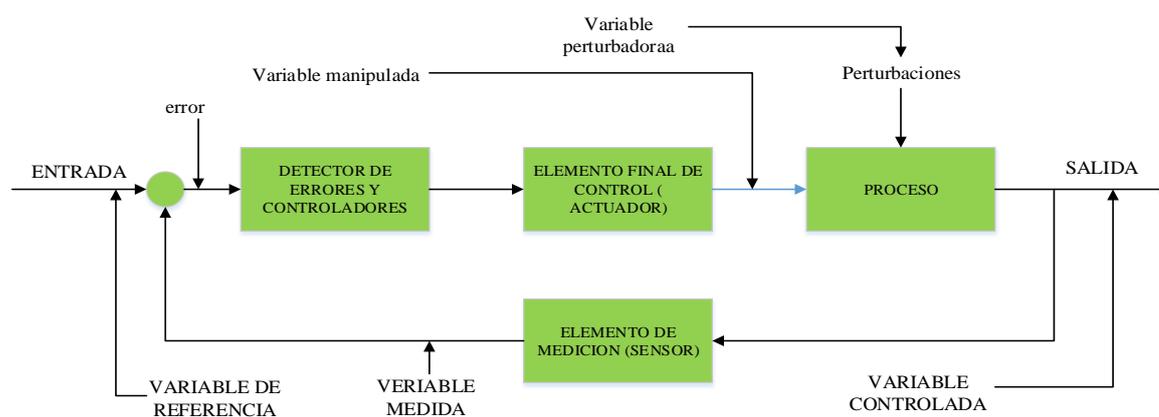
Variables controlada: es aquella que se busca mantener constante o con cambios mínimos. Su valor debe seguir al Set-Point.

Variable manipulable: a través de esta se debe corregir el efecto de las perturbaciones. Sobre esta se colocara el actuador.

Variable perturbadora: está dado por los cambios repentinos que sufre el sistema y que provocan inestabilidad.

Variable medida: es toda variable adicional, cuyo valor es necesario registrar y monitorear, pero que es necesario controlar.

Figura N° 2.16. Descripciones de materiales.



Fuente: (Enríquez Callata & Quenta Salinas, 2007)

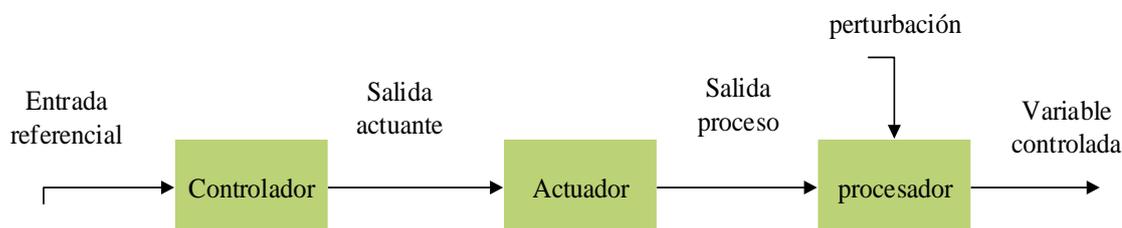
2.7. TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control de acuerdo a su principio de funcionamiento pueden emplear o no, información acerca del sistema, y las estrategias de supervisión, se cuenta con dos tipos de sistemas de control de lazo abierto y cerrado o realimentado.

2.7.1. SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO ABIERTO (OPEN LOOP)

Son sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la señal control, es decir, no se mide la salida en estos sistemas ni se realimenta para comparar con la entrada no corrigen los errores que se presentan. En estos sistemas, la presión depende de la calibración y la presencia de perturbaciones. Un esquema de este tipo se presenta en la figura N° 2.17.

Figura N° 2.17. Sistemas de control lazo abierto.

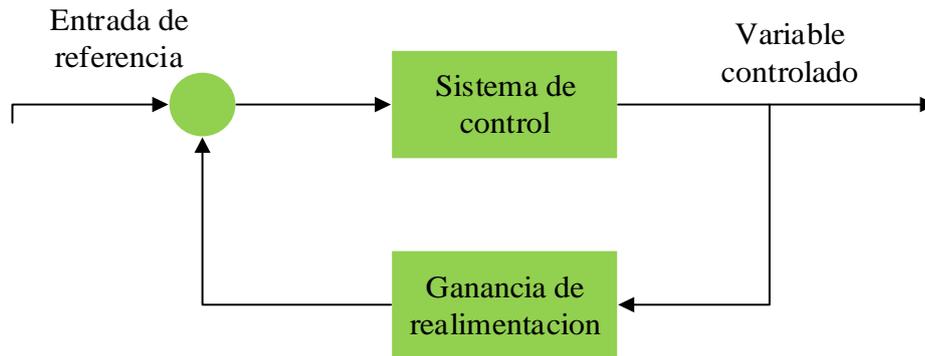


Fuente: W. Bolton (2001), Ingeniería de Control. México. Alfaomega.

2.7.2. SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO CERRADO O REALIMENTADO.

Es un sistema que mantiene una relación preestablecida entre la salida y la entrada de referencia comparándola y usando la referencia como medio de control. En estos sistemas se alimentan al controlador con la señal de error de actuación, la cual es la diferencia entre la entrada y la señal de realimentada a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. Su presentación es la que muestra en la figura N° 2.18.

Figura N° 2.18. Sistemas de control en lazo cerrado.



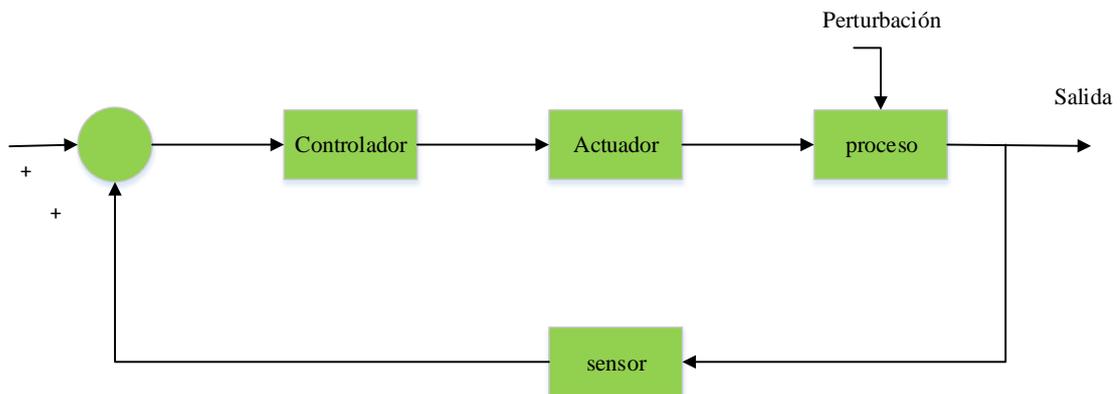
Fuente: W. Bolton (2001), Ingeniería de Control. México. Alfaomega.

Existe dos tipos: de realimentación positiva, y realimentación negativa.

Realimentación positiva: es aquella en donde la señal realimentada se suma a la señal de entrada, se conoce también como regenerativa, no se aplica en el campo de control de procesos industriales. Un ejemplo es el caso de las oscilaciones.

Se presenta a través del siguiente diagrama de bloques:

Figura N° 2.19. Sistemas de control lazo cerrado realimentación positiva

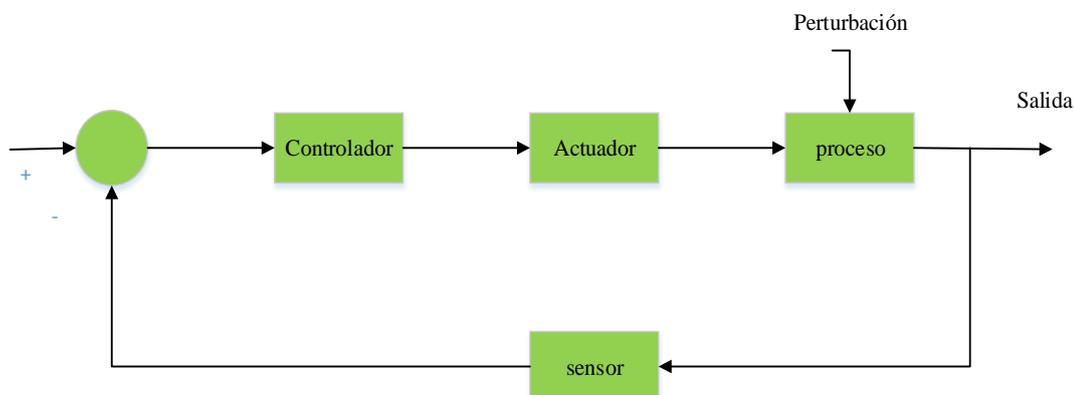


Fuente: W. Bolton (2001), Ingeniería de Control. México. Alfaomega

Realimentación negativa: es aquella en donde la señal realimentada, se resta la señal de entrada, generando un error, el cual debe ser corregido. Este es el caso común utilizado en el campo del control de procesos industriales.

Se representa a través del siguiente diagrama de bloques:

Figura N° 2.20. Sistemas de control lazo cerrado realimentado negativa.



Fuente: W. Bolton (2001), Ingeniería de Control. México. Alfaomega

2.8. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control pueden ser clasificados, basándose en varios criterios, así pues, podemos tener las siguientes clasificaciones:

SEGÚN SU DIMENSIÓN

- **Sistemas de parámetros concentrados:** son aquellos que pueden ser descritos por ecuaciones diferenciales ordinarias, también son conocidos como sistemas de dimensión finita.
- **Sistema de parámetros distribuidos:** son aquellos que requieren ecuaciones en diferencia (ecuaciones diferenciales con derivadas parciales) también son conocidos como sistemas de dimensión infinita.

SEGÚN EL CONOCIMIENTO DE SUS PARÁMETROS

- **Sistemas determinísticos:** en estos sistemas se conocen exactamente el valor que corresponde a los parámetros por ejemplo un circuito RLC encargado de suministrar tensión a un equipo.

- **Sistema estocásticos:** es este caso, la forma de conocer algunos o todos los valores de los parámetros, es por medio de métodos probabilísticas. Por ejemplo un horno o caldero que ha acumulado sarro y otras impurezas (las cuales no tienen una función matemática conocida).

SEGÚN LA PRESENCIA DE LINEALIDAD

- **Sistemas lineales:** son aquellos cuyo comportamiento está definido por medio de ecuaciones lineales, es decir, los coeficientes son constantes o funciones de la variable independiente. Deben cumplir con el principio de superposición por ejemplo un amplificador de señales.
- **Sistemas no lineales:** en caso de que una o más de las ecuaciones no sea lineal, todo el sistema será no lineal, también se considera como sistema no lineal a aquellos para los cuales el principio de superposición no sea válido. Por ejemplo el calentamiento de un horno.

2.9. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

En los sistemas automatizados la inteligencia del proceso está dado no por el ser humano, sino que es gobernada por la unidad de control. La tecnología usada ha adoptado diferentes formas desde automatismos mecánicos hasta los actuales automatismos con inteligencia artificial.

La combinación de la inteligencia de los autómatas programables así como el desarrollo de captadores y accionadores cada día más especializados, permite que se automatice un mayor número de procesos los autómatas ha evolucionado incorporado nuevas tomas de procesar la información y ampliando sus funciones.

2.9.1. ELEMENTOS DE UNA INSTALACIÓN AUTOMATIZADA

- **Maquina:** son los equipos mecánicos que realizan los procesos traslados, transformaciones, etc., de los productos o materia prima.
- **Accionadores:** son equipos acoplados a las maquinas, y que permiten realizar movimientos, calentamiento, ensamblaje, embalaje. Puede ser
 - Accionadores eléctricos: usan la energía eléctrica, son por ejemplo, electroválvulas, motores, resistencias, cabezas de soldadura, etc.
 - Accionadores neumáticos: usan la energía del aire comprimido son por ejemplo, cilindros, válvulas, etc.
 - Accionadores hidráulicos: usan la energía de la presión del agua. Se usan para controlar velocidades lentas pero precisas.
- **PRE ACCIONADORES:** se usan para comandar y activar los accionadores por ejemplo, contactares, switches, variadores de velocidad, distribuciones neumáticas etc.
- **CAPTADORES:** son los sensores y transmisores encargados de captar las señales necesarias para conocer el estado del proceso y luego enviarlas a la unidad de control.
- **INTERFAZ HOMBRE-MAQUINA:** permite la comunicación entre el operario y el proceso, puede ser una interfaz gráfica de computadora, pulsadores teclado, visualizadores, etc.
- **ELEMENTOS DE MANDO:** son los elementos de cálculo y control que gobiernan el proceso, se denominan autómatas, y conforman la unidad de control.

Los sistemas de control se forman de dos partes: parte de mando y parte operativa

- **PARTE MANDO:** es la estación central de control o autómeta. Es el elemento principal del sistema, encargado de la supervisión, manejo corrección de errores, comunicación, etc.
- **PARTE OPERATIVA:** es la parte que actúa directamente sobre la maquina son los elementos que hacen que la máquina de mueva y realice las acciones. Son por ejemplo, los motores, cilindros, compresoras, bombas, reles, etc.

2.10. EQUIPOS DEL SISTEMA DE CONTROL

2.10.1. AUTÓMATAS PROGRAMABLES PLCS (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

Los autómatas son unidades de control conformadas por equipos electrónicos, los cuales cuentan con un cableado interno independiente del proceso a controlar: **(hardware)** y mediante algoritmos definen la estrategia y caminos a seguir para controlar un proceso **(software)**.

Estos equipos son conectados hacia los dispositivos de medida (sensores) y hacia los dispositivos encargados de realizar acciones (actuadores).

Una vez que el autómeta está provisto de un algoritmo en su memoria, y que además cuenta con las conexiones respectivas hacia los equipos de planta, se convierte en el cerebro de la fábrica teniendo a su cargo el desempeño y funcionamiento de toda la cadena productiva, los operarios deben supervisar que este se comporte tal como se había planificado y conformado a la lógica ideada por el programador.

Algunas de las características más importantes incluyen:

- Es programable por el usuario: esto permite escribir y cambiar programas en el campo sin la necesidad de recabar o enviar el equipo de vuelta al fabricante para este propósito.
- Contiene funciones pre-programadas: un PLC contiene al menos funciones de lógica, temporizado, conteo y memoria a los cuales tiene acceso el usuario a través de algún tipo de lenguaje orientado al control.
- Hace un barrido:(scan) de sus entradas y salidas de una manera determinada lo cual permite determinar precisamente como la maquina o el proceso responderá al programa.
- Provee revisión y diagnóstico de error: un PLC corre periódicamente pruebas internas de su memoria, procesador y sistemas I/O para asegurar que lo que está haciendo el proceso o la maquina es efectivamente lo que debiera según el programa.
- Puede ser monitorizado: un PLC provee alguna forma de capacidad de monitoreado, mediante la indicación por medio de leds indicadores que muestran el estado de las entradas y salidas o por medio de un dispositivo externo para displayer el estado de programa en ejecución.
- Esta empaquetado adecuada mente: los PLCs están diseñados para resistir temperatura, humedad, vibración y ruido presentes en los ambientes industriales.
- Tiene aplicación de propósito general: generalmente no está diseñado para una aplicación especifica si no que puede manejar una gran variedad de tareas.
- Interface hombre maquina: para comunicaciones con dispositivos de terceros (controladores registradores programadores, PLCs, etc)

2.10.2. MÓDULO DE POTENCIA

La PM 1207 es una fuente de alimentación estabilizada diseñada para su aplicación en redes monofásicas. La conexión de la tensión de alimentación se tiene que ejecutar conforme a las normas IEC 60364 y EN 50178. En la instalación se tiene que prever un dispositivo de protección y un dispositivo seccionador para la desconexión de la fuente de alimentación.

El funcionamiento correcto y seguro de este aparato presupone un transporte, un almacenamiento, una instalación y un montaje conforme a las prácticas de la buena ingeniería.

2.10.3. MÓDULO DE ENTRADAS ANALÓGICAS

El S7-1200 ofrece una gran familia de módulos y tarjetas plug-in para la expansión de las capacidades de la expansión de las capacidades del CPU.

Con interfaces adicionales de E / S y de comunicación, el S7-1200 se puede configurar para adaptarse exactamente a sus requisitos de aplicación.

Con los módulos de señales, puede fácilmente ampliar el número de E / S del controlador para adaptarse del controlador para adaptarse exactamente a sus requisitos de aplicación.

- Los módulos digitales proveen canales digitales de E/S adicionales.
- Los módulos de medida analógica y temperaturas proveen canales analógicos de E/S adicionales.

2.10.4. VARIADOR DE FRECUENCIA

Los parámetros utilizados para definir las fuentes de señales de mando y las consignas se combinan en juegos de datos de señales de mando (CDS, Command Data Set), mientras que los parámetros para el control de lazo abierto y cerrado del motor se combinan en juegos de datos del convertidor (DDS, Inverter Data Set).

El convertidor puede operarse desde fuentes de señal diferentes conmutando entre juegos de datos de señales de mando. Cuando se conmuta entre juegos de datos del convertidor, es posible conmutar entre diferentes configuraciones del convertidor (tipo de regulación, motor).

2.10.5. CONVERTIDOR ANALÓGICO

Dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica, ya sea de tensión o corriente, en una señal digital mediante un cuantificador y codificándose en muchos casos en un código binario en particular.

Donde un código es la representación unívoca de los elementos.

2.10.6. FUSIBLE DE PROTECCIÓN

Porta fusible que permite instalar un fusible tipo europeo y así usarlo como protección en las instalaciones eléctricas domiciliarias. Cuando el voltaje de la instalación toma un valor peligroso, el hilo conductor del fusible se funde por Efecto Joule, interrumpiendo el paso de la corriente hasta su reparación.

2.10.7. ANALIZADOR DE REDES

Medidores de panel digital DM6200H VAF PF, Presentamos los medidores EasyLogic DM6200H que son el reemplazo ideal para múltiples medidores analógicos para

Medición autónoma en paneles personalizados, tableros de interruptores, paneles genset, centros de control de motores, factor de potencia paneles de mejora y placa de panel OEM.

Los medidores de la serie DM6x00H ofrecen un gran tipo de pantalla LED alfanumérica de 8 segmentos, navegación intuitiva con autoguiado 4 botones, LED brillantes de 14.2 mm de altura con 12 LED para indicar el porcentaje de carga en el circuito.

2.10.8. SENSOR DE PRESIÓN

Los transmisores de presión convierten la presión en una señal eléctrica que es proporcional a la presión aplicada. Su alta precisión los hace adecuados para todas las aplicaciones industriales que requieren pantalla de presión / vacío, control o regulación.

Siendo muy robustos, son igualmente adecuados para aplicaciones que implican un alto funcionamiento. Estos dispositivos proporcionan una salida analógica que tiene una señal proporcional a la presión aplicada al sensor.

2.10.9. INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO

Interruptor termo magnético o llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente en un circuito: el magnético y el térmico. El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1.MATERIALES

3.1.1. PANEL SOLAR MONO CRISTALINO

Características del panel solar de silicio monocristalino

- Célula solar: célula solar cristalina de alta eficiencia. Incluso si la luz es débil, el módulo solar puede producir una potencia máxima.
- Vidrio templado (vidrio templado): el recubrimiento anti reflectante y el vidrio de alta velocidad de transmisión aumentan la potencia de salida y la resistencia mecánica del módulo solar.
- Caja de conexiones: caja de conexiones multifunción con prueba de agua.
- Larga vida útil: ≥ 25 años; Menos disminución de potencia.
- Condiciones de prueba estándar, Irradiación: $1000\text{W} / \text{m}^2$.
- Buen desempeño de prevención contra clima atroz como viento y granizo.

Figura N° 3.1. Panel Solar Mono Cristalino.



Fuente: <http://www.puntosolar.cl>

3.1.2. REGULADOR DE CARGA

Los reguladores de carga permiten configuraciones 12/24V y corriente de carga máxima 10A, 15 A y 20 A respectivamente, son ideales para pequeñas instalaciones aisladas. El circuito electrónico interno está equipado con un microprocesador que provee una carga altamente eficiente y una correcta señalización del estado del sistema y alarmas. El método de regularización de carga (PWM) se ajusta a la batería de plomo ácido, líquidas.

Figura N° 3.2. Regulador de Carga.



Fuente: <https://puntosolar.cl>

3.1.3. BATERÍA

Procedencia Coreana, Solite cuenta con un rendimiento y vida útil más larga altamente confiable. Su interior libre de óxido metálico de calcio hace que tenga la mejor resistividad térmica y la fuerte inmunidad contra el cambio drástico de temperatura. Cuentan con tecnología de libre mantenimiento, totalmente sellados que evitan daños por vibración e impactos, por ello prolonga la duración y el rendimiento. Cumple con todo los estándares de calidad y eficiencia, reconocidas en el mercado nacional e internacional. Certificado ISO. Alta confiabilidad, Gran rendimiento, Larga vida Útil.

Figura N° 3.3. Batería.

Fuente: <http://www.todobaterias.pe>

3.1.4. ANALIZADOR DE REDES

Los medidores de la serie DM6x00H ofrecen un gran tipo de pantalla LED alfanumérica de 8 segmentos, navegación intuitiva con autoguiado 4 botones, LED brillantes de 14,2 mm de altura con 12 LED para indicar el porcentaje de carga en el circuito.

Figura N° 3.4. Analizador de redes.

Fuente: <https://www.schneider-electric.com.pe>

3.1.5. BOMBA TRIFÁSICO DE 1/2 HP

Las bombas centrifugas mueven un cierto volumen de líquido entre dos niveles; son pues, maquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro de tipo hidráulico. Bomba de ½ hp. Trifásico de 3 hilos. 376 watts. Utiliza alambre o cable AWG calibre No. 10, tubería conducción de 1 pulgada, interruptor termo magnético de 20 Amperes.

Figura N° 3.5. Bomba trifásico de ½ HP.



Fuente: <https://www.schneider-electric.com.pe>

3.1.6. SENSOR DE PRESIÓN

Dependiendo del modelo, esta señal puede ser 4... 20 mA, 0...10 V o ratiométrico (0.5.. 4.5 V).

Figura N° 3.6. Sensor de Presión.

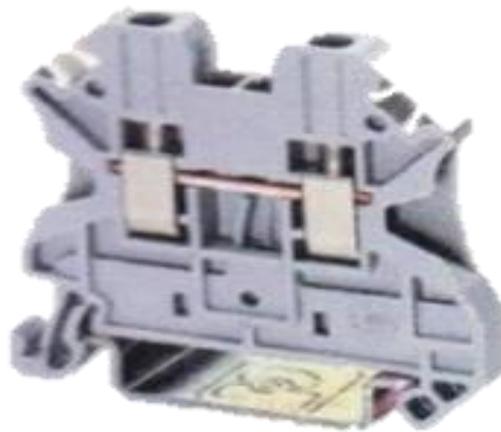


Fuente: <https://www.schneider-electric.com.pe>

3.1.7. BORNES

Las bornes de conexión para sensores/actuadores reducen los costos de instalación en la gestión de señales, digitales o analógicas, en aplicaciones de automatización de procesos.

Figura N° 3.7. Bornes.



Fuente: <http://www.dielectromadrid.es>

3.1.8. INTERRUPTOR TERMO MAGNÉTICO

Interruptor termo magnético o llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos

Condiciones ambientales:

- Altitud sobre el nivel del mar hasta 4 500 m
- Humedad relativa entre 50 y 95%
- Temperatura ambiental entre $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $30\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Tensión de operación de 220 y 380 V

Figura N° 3.8. Interruptor Termo Magnético.

Fuente: <http://www.centroeletrico.com>

3.1.9. PORTA FUSIBLE

Porta fusible que permite instalar un fusible tipo europeo y así usarlo como protección en las instalaciones eléctricas domiciliarias. Cuando el voltaje de la instalación toma un valor peligroso, el hilo conductor del fusible se funde por Efecto Joule, interrumpiendo el paso de la corriente hasta su reparación.

Figura N° 3.9. Porta Fusible.

Fuente: www.schneider-electric.com.pe

3.1.10. MODULO DE POTENCIA

La PM 1207 es una fuente de alimentación estabilizada diseñada para su aplicación en redes monofásicas. En la instalación se tiene que prever un dispositivo de protección y un dispositivo seccionador para la desconexión de la fuente de alimentación, la instalación y montaje conforme a las prácticas de la buena ingeniería.

Figura N° 3.10. Módulo de Potencia.



Fuente: <http://media.automation24.com>

3.1.11. PLC

El controlador lógico programable (PLC) S7-1200 ofrece la flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. El CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC.

Figura N° 3.11. PLC.



Fuente: <https://w5.siemens.com>

3.1.12. MODULO DE EXPANSIÓN

Módulos de señales, puede fácilmente ampliar el número de E / S del controlador para adaptarse del controlador para adaptarse exactamente a sus requisitos de aplicación.

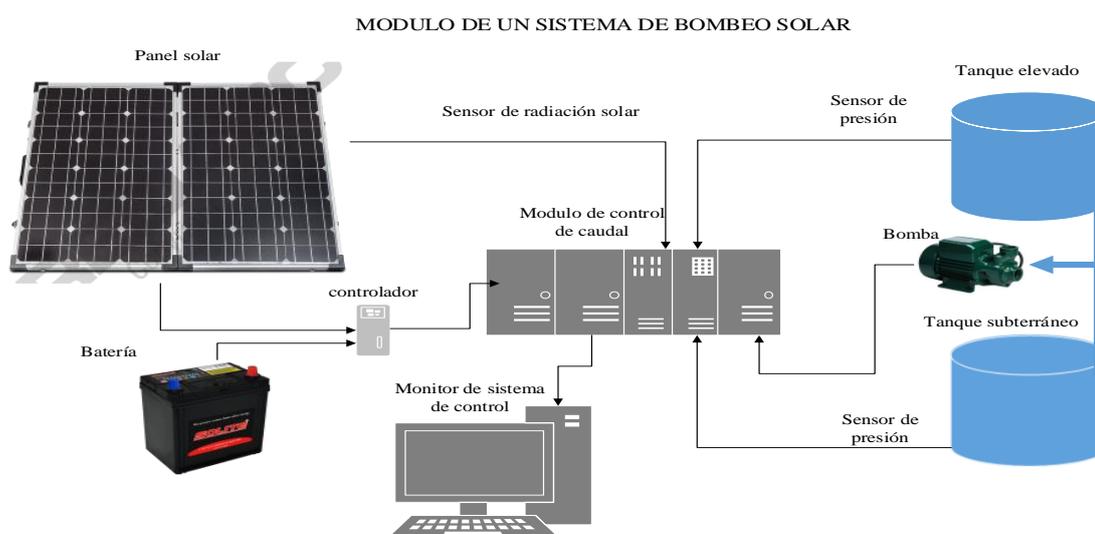
- Los módulos digitales proveen canales digitales de E/S adicionales.
- Los módulos de medida analógica y temperaturas proveen canales analógicos de E/S adicionales.

Figura N° 3.12. Módulo de Expansión.



Fuente: <https://w5.siemens.com>

Figura N° 3.13. MODULO SISTEMA DE BOMBEO SOLAR.



Elaboración: Propia

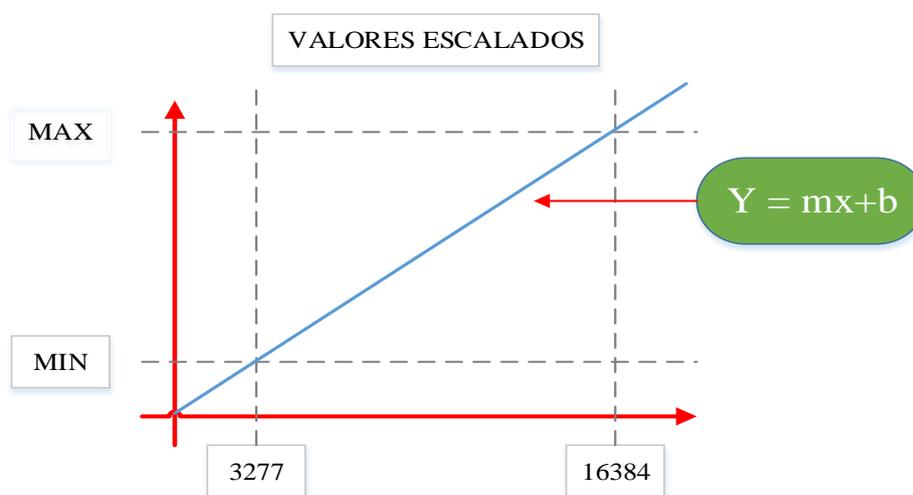
3.2. METODOLOGÍA

El presente trabajo de tesis es de tipo experimental e investigación, experimental porque se refiere a la presentación del módulo de estudio, e investigación porque planeamos una metodología de escalamiento de sensores, este método se aplica con el propósito de establecer las conclusiones y recomendaciones en función a la hipótesis planteada.

Para cumplir nuestro primer objetivo, se recurrirá a la bibliografía establecida, páginas webs, proyectos de tesis anteriores, etc. Con la finalidad de diseñar e implementar el sistema de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control y automatización.

Para cumplir con nuestro objetivo, se adaptará un diseño de tal manera que el comportamiento del sistema de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control y automatización. Finalmente para satisfacer nuestro objetivo se elaborara un módulo de monitorización en tiempo real de la radiación solar, presión de aspiración e impulsión.

Figura N° 3.14. Escalamiento.



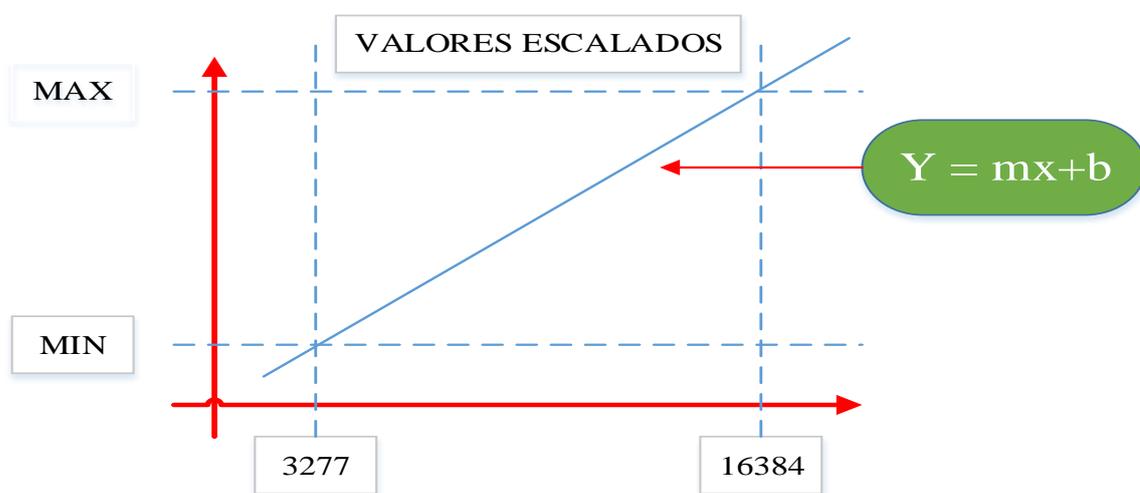
Elaboración: Propia.

TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES ANALÓGICAS

El escalamiento está relacionada con la adaptación de los valores de tensión o de corriente que están normalizados en diversos estándares para medir un determinado fenómeno físico.

Los sensores o Transductores en la mayoría de los casos vienen linealizados por el fabricante, para una aplicación en particular por lo tanto se trabaja con líneas rectas.

Figura N° 3.15. Diagrama de escalamiento.



Elaboración: Propia

3.2.1. ANÁLOGO

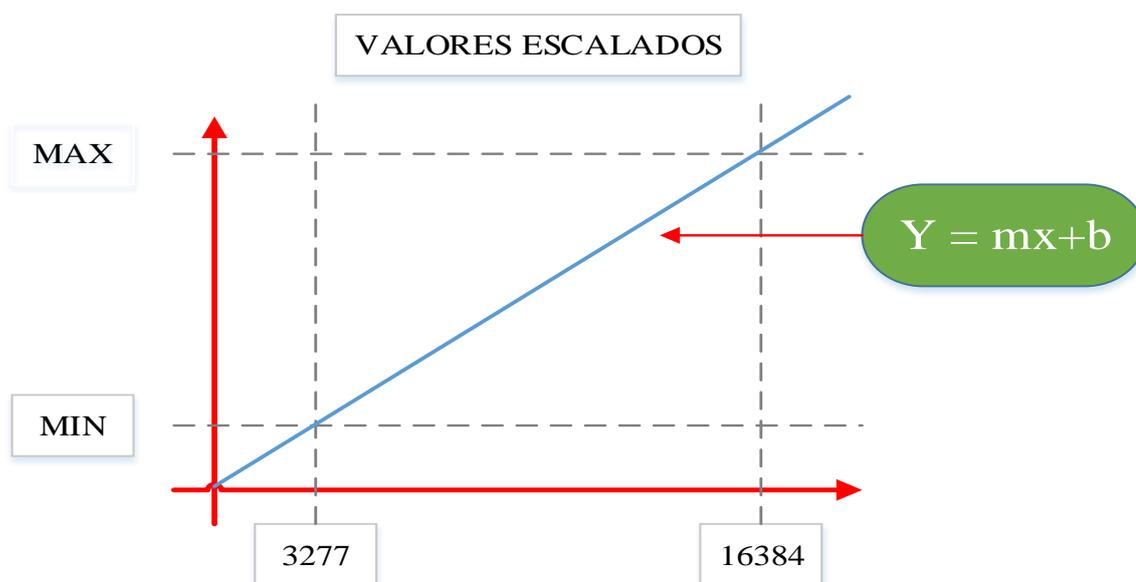
Los siguientes datos usados en el módulo de entradas análogas muestran el direccionamiento de entrada, rango de chequeo y escalamiento de las entradas análogas a las unidades de ingeniería.

La grafica es la función matemática:

$$Y = mx + b \quad (3.1)$$

Valor escalado significara adecuar la variable a medir a su lectura máxima y mínima en el proceso con la salida o entrada análoga y su número de bits respectivos.

Figura N° 3.16. Diagrama de escalamiento.



Elaboración: Propia

Donde:

Y: salida escalada

M: pendiente

X: valor análogo de entrada

B: compensar

3.3. MATERIALES

Para desarrollar el presente trabajo de tesis se utilizó y se revisó materiales bibliográficos básicos para el cumplimiento de objetivos:

- Bibliografía y páginas webs referente al tema sistemas de bombeo solar y control automatización.

- Documentos oficiales, catálogos, manuales de instrucciones, empresas comerciales de equipos y materiales referidos.
- Información de bibliografía referente a tesis elaboradas anteriormente sobre bombeo solar y control e automatización en la EPIME.
- Otro de los materiales que se utilizó es el módulo propiamente, así como diferentes instrumentos para la obtención de información.

3.4. ALCANCE DEL PROYECTO

POBLACIÓN BENEFICIADA

La población a beneficiarse en forma directa será todos los estudiantes de la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica, así mismo dicho módulo prestará servicios académicos de laboratorio a estudiantes y docentes de otras escuelas profesionales, o instituciones educativas ajenas a la Universidad Nacional del Altiplano-Puno.

3.5. MÉTODOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. MÉTODO

La metodología que se planea para el desarrollo del presente trabajo de tesis, es el método descriptivo y de investigación, el cual ya fue explicado esto nos permitirá culminar de manera satisfactoria el diseño, montaje instalación y operación del módulo de proceso de monitoreo y control de bombeo con energía solar, además experimentar y determinar la radiación solar, de esta manera comprobando la hipótesis planteada para finalmente concluir y recomendar alcances gracias al desarrollo del presente trabajo de tesis.

3.5.2. TÉCNICAS

Para la ejecución del presente trabajo de tesis se seguirá el procedimiento siguiente:

3.5.2.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se recopilara información referente a la implementación del módulo de sistemas de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control y automatización lo cual nos permitirá la selección adecuada de diferentes equipos e instrumentos.

3.5.2.2. CALCULO JUSTIFICATIVOS PARA EL DISEÑO

En lo que respecta a los cálculos justifican la selección de los equipos y/o accesorios que componen el módulo de sistemas de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control y automatización, estos serán desarrollados detalladamente.

Se desarrollan cálculos y el dimensionamiento para los siguientes equipos y/o accesorios del sistema:

- Diseño de tanque acumulador
- Diseño del tablero de control
- Selección de la electro bomba
- Selección de sensores de presiones (entrada y salida de la bomba)
- Selección del panel solar
- Selección del sensor de radiación solar
- Selección de PLC
- Selección de la batería
- Selección del software según el proveedor de los equipos

3.5.2.3. MONTAJE E INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS

Con los equipos y accesorios adquiridos, se procederá a realizar el montaje e instalación de los equipos y accesorios del módulo de proceso de sistemas de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control y automatización, para tal fin será necesario contar con las siguientes herramientas e instrumentos.

- Alicata universal
- Juego de destornilladores
- Alicata de corte diagonal
- Multímetro digital
- Equipo de soldadura por arco eléctrico.
- Electrodo para soldadura
- Taladro y juego de brocas
- Esmeril
- Arco de sierra
- Pistola para soldar
- Otros

3.5.2.4. TOMA DE DATOS

Para la toma de datos del módulo de sistemas de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control y automatización, se adquirirá los instrumentos.

- Sensor de presión
- Sensor de radiación solar

- Fuente de alimentación de sensor
- PLC (siemens).
- Software de proceso.
- Cable de programación de PLC.

3.5.2.5. DETERMINACIÓN DE VARIABLES

Se determinaran y clasificaran las variables según su grado de dependencias e independencias de la siguiente manera.

VARIABLES DEPENDIENTES

- Flujo de entrada
- Flujo de salida
- Tiempo

VARIABLES INDEPENDIENTES

- Radiación solar

3.5.2.6. DIMENSIONADO DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO.

El dimensionado del arreglo fotovoltaico se puede realizar llevando a cabo la siguiente metodología:

- a. Estimar la carga promedio por día que se requiere entregue el sistema.

Para este caso, es la potencia eléctrica demandada por el motor de la bomba multiplicada por la cantidad de horas que va a estar en operación, por lo tanto estará dada en Wh (Watt-hora).

- b. Calcular la carga total que debe entregar el sistema teniendo en cuenta las pérdidas en los accesorios y en el cableado, además de la eficiencia del inversor; para lo anterior se utiliza la siguiente ecuación:

$$E_t = \frac{E_{carga}}{\eta_{inversor}} * (1 + pérdidas) \tag{3.2}$$

- c. Evaluar la potencia del módulo o panel fotovoltaico, lo cual se consigue dividiendo la carga total por el número de horas solar pico, esto es:

$$W_t = \frac{E_t}{HSP} \tag{3.3}$$

- d. Determinar la energía promedio en amperes-hora; esto se consigue dividiendo la carga total por el voltaje o tensión que va a manejar el sistema, así:

$$E_{Ah} = \frac{E_t}{V_{sistema}} \tag{3.4}$$

Para determinar el voltaje del arreglo, se tiene en cuenta la potencia que va a suplir el sistema de acuerdo a las cargas según la tabla N° 3.1.

Tabla N° 3.1. Voltaje del sistema según la potencia.

Potencia demandada (w)	Tensión del sistema (V)
Menor a 1 500	12
1 500-5 000	24 ó 48
Mayor a 5 000	120 ó 300

Fuente. ALONSO LORENZO, José A. Boletín energía solar fotovoltaica autónoma

- e. Estipular la corriente total pico del arreglo fotovoltaico, para lo cual se emplea la ecuación siguiente:

$$I_{pico\ arreglo} = \frac{E_{Ah}}{\eta_{bat} * HSP} \tag{3.5}$$

Dónde:

η_{bat} = eficiencia de las baterías que componen el sistema de almacenamiento

- f. Establecer el número de paneles del arreglo fotovoltaico. En esta instancia, se debe tener en cuenta el número de paneles conectados en paralelo y en serie, lo cual se calcula, para los primeros, según la corriente pico del arreglo y la de cada panel, y para los segundos, según el voltaje del sistema y el voltaje nominal del panel, la expresión empleada para cada uno es:

$$\text{Numero de paneles en paralelo} = \frac{I_{\text{pico arreglo}}}{I_{\text{pico panel}}} \quad (3.6)$$

$$\text{Numero de paneles en serio} = \frac{V_{\text{arreglo en CD}}}{V_{\text{nominal del panel}}} \quad (3.7)$$

El valor de corriente pico y voltaje nominal del panel se obtienen de los catálogos de los fabricantes.

Finalmente, el número total de paneles es igual a la multiplicación del número de paneles en paralelo por el número de paneles en serie.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DISEÑO DEL MODULO

En este capítulo se describe el módulo de sistema de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control e automatización, el que permite controlar el bombeo solar de agua utilizando un PLC programable y variador de frecuencia. La implementación está diseñado con fines académicos para el área de energías renovables y control e automatización de la EPIME.

Las consideraciones que se tomaron en cuenta para el diseño del módulo son:

- Seguridad
- Maniobrabilidad
- Adaptabilidad
- Controlabilidad

4.2.MONITOREO DEL MODULO

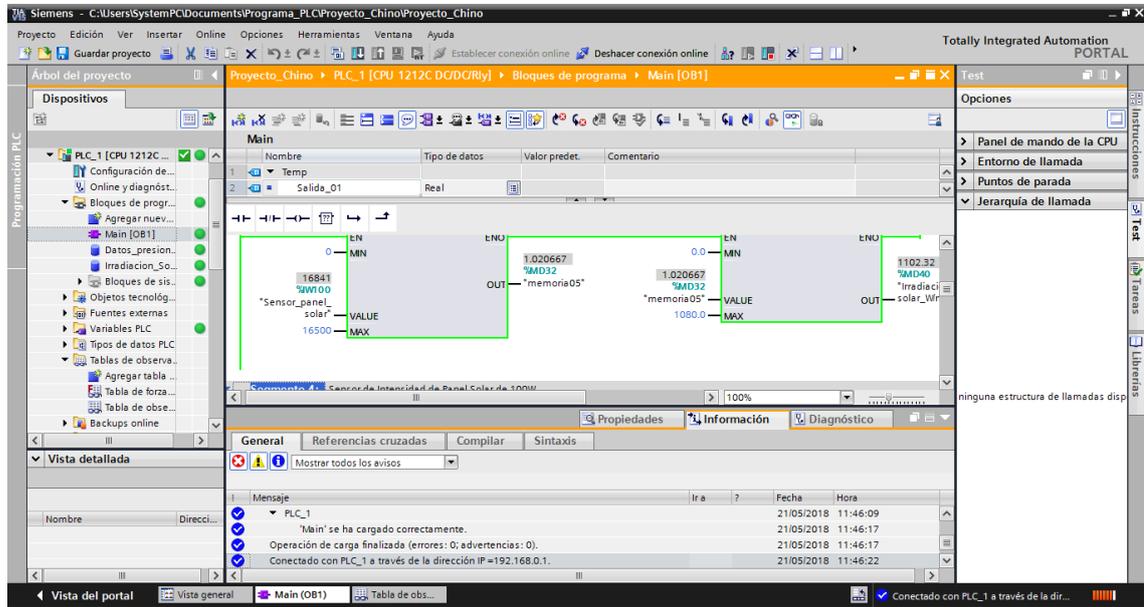
Para el desarrollo del proyecto se ha elegido el programa TIA PORTA V15, que permite una conexión entre la PC - PLC, por lo cual resulta idóneo para efectuar un control y monitorización.

- RADIACIÓN SOLAR

Para determinar la influencia de la radiación solar, se crea el módulo de monitoreo en tiempo real, en los cuales se muestran la radiación solar y la eficiencia del módulo

de monitoreo, teniendo estos grafico se podrá observar cómo es la variación radiación solar.

Figura N° 4.1. Muestra variación de la radiación solar.



Elaboración: Propia.

Pruebas de performance del panel:

Con una Inclinación de 20 °C A Norte

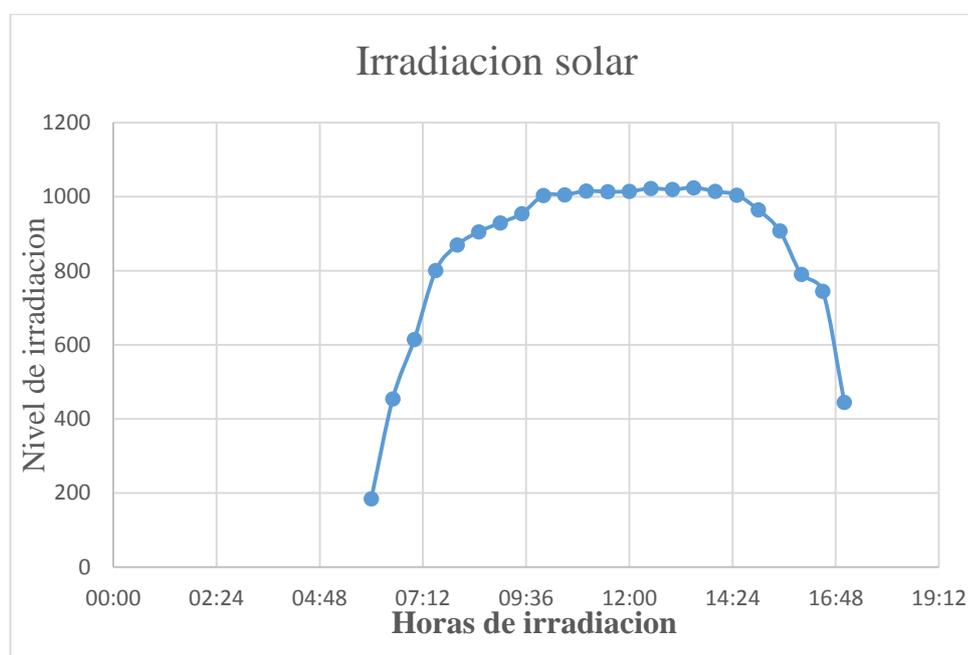
Tabla N° 4.1. Valores de Irradiancia Solar.

hora	01/06/2018	02/06/2018	03/06/2018	04/06/2018	05/06/2018	06/06/2018	07/06/2018
	Irradiancia solar (w/m2)						
06:00	180	183	187	186	191	188	186
06:30	450	453	457	456	461	458	456
07:00	610	613	617	616	621	618	616
07:30	796	799	803	802	807	804	802
08:00	865	868	872	871	876	873	871
08:30	901	904	908	907	912	909	907
09:00	925	928	932	931	936	933	931
09:30	950	953	957	956	961	958	956
10:00	999	1002	1006	1005	1010	1007	1005
10:30	1001.00	1004	1008	1007	1012	1009	1007
11:00	1011.00	1014	1018	1017	1022	1019	1017
11:30	1009.00	1012	1016	1015	1020	1017	1015

12:00	1010.00	1013	1017	1016	1021	1018	1016
12:30	1018.00	1021	1025	1024	1029	1026	1024
13:00	1015.00	1018	1022	1021	1026	1023	1021
13:30	1020.00	1023	1027	1026	1031	1028	1026
14:00	1010.00	1013	1017	1016	1021	1018	1016
14:30	1000.00	1003	1007	1006	1011	1008	1006
15:00	960.00	963	967	966	971	968	966
15:30	903.00	906	910	909	914	911	909
16:00	786.00	789	793	792	797	794	792
16:30	740.00	743	747	746	751	748	746
17:00	440.00	443	447	446	451	448	446

Elaboración: Propia.

Figura N° 4.2. Curva de irradiación.

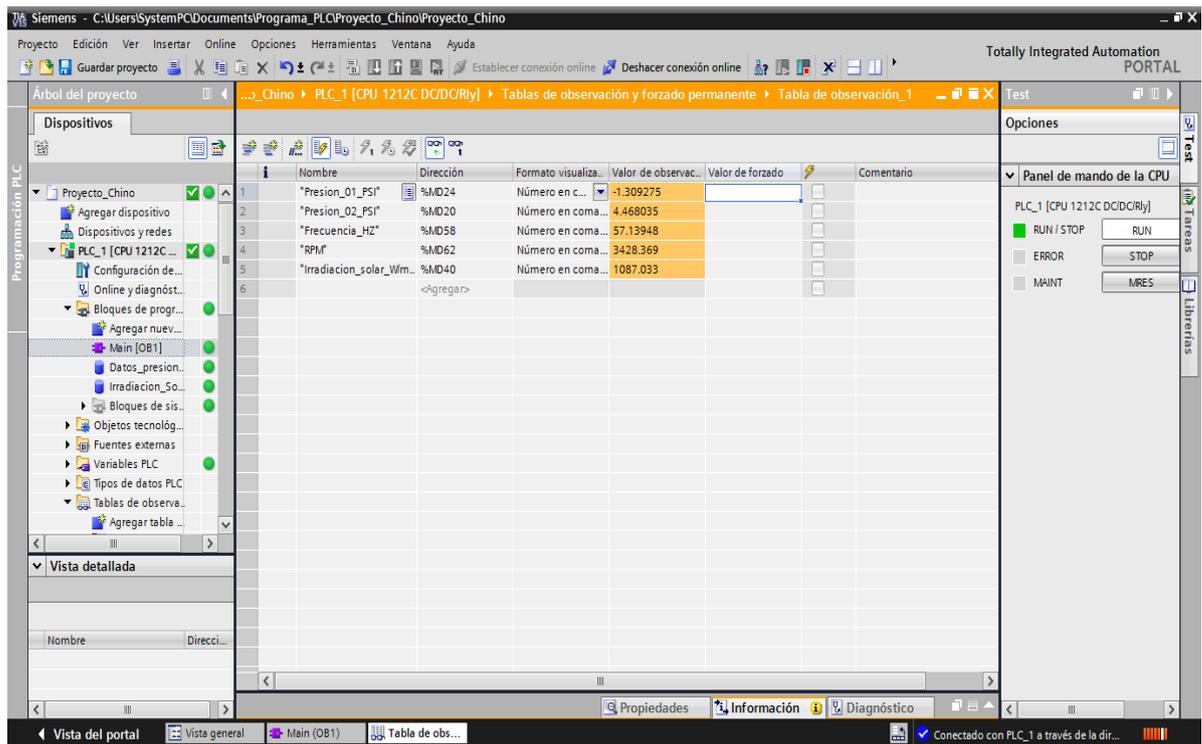


Elaboración: Propia.

- VARIACIÓN DE PRESIÓN

Para determinar la influencia de la presión, se crea el módulo de monitoreo en tiempo real, en los cuales se muestran la variación de presión de impulsión- aspiración y la eficiencia del módulo de monitoreo, teniendo estos grafico se podrá observar cómo es la variación de la presión de impulsión – aspiración.

Figura N° 4.3. Variaciones de Presión.



Elaboración: Propia

Pruebas de performance:

Son de manera lineal ya que los equipos son lineal.

$$Y = mx + b$$

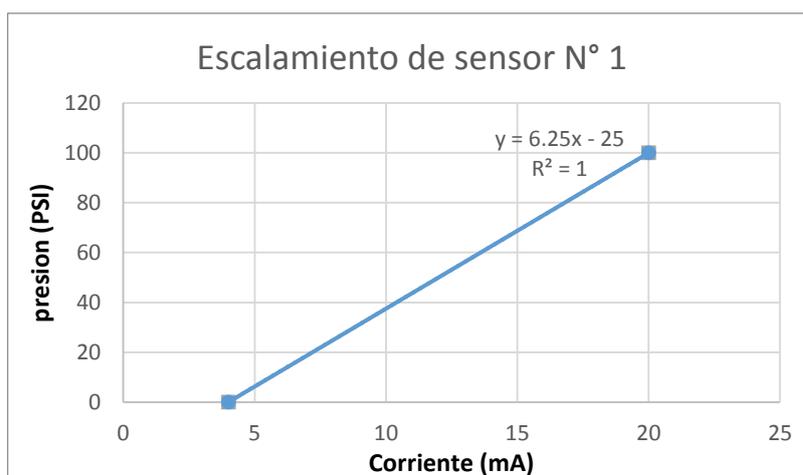
Equipo linealizado

Tabla N° 4.2. Sensor de Presión 01

CORRIENTE	PRESIÓN
4 mA	0 PSI
20 mA	100 PSI

Elaboración: Propia

Figura N° 4.4. Gráfico de Equipo Linealizado



Elaboración: Propia

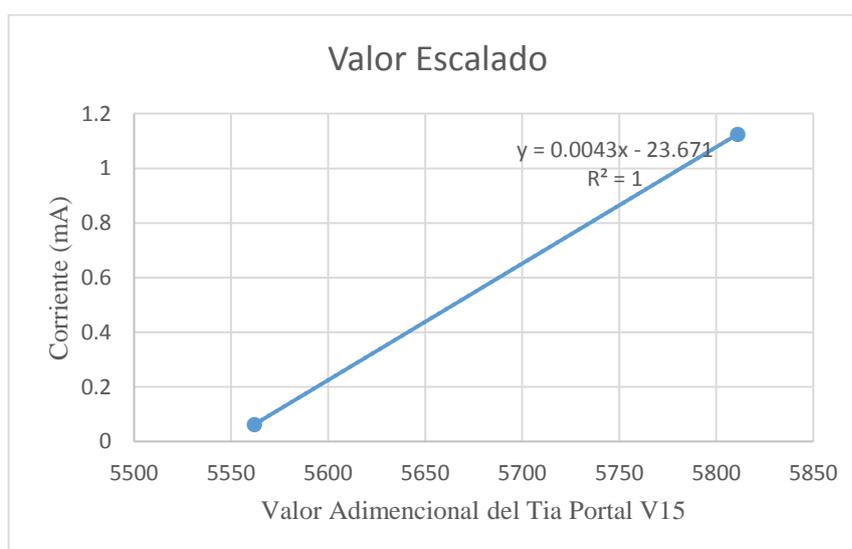
Determinación de los valores a escalar.

Tabla N° 4.3. Valor de Escalamiento.

VALOR ESCALADO	
5562	0.0625
5811	1.125

Elaboración: Propia

Figura N° 4.5. Grafico de Escalamiento.



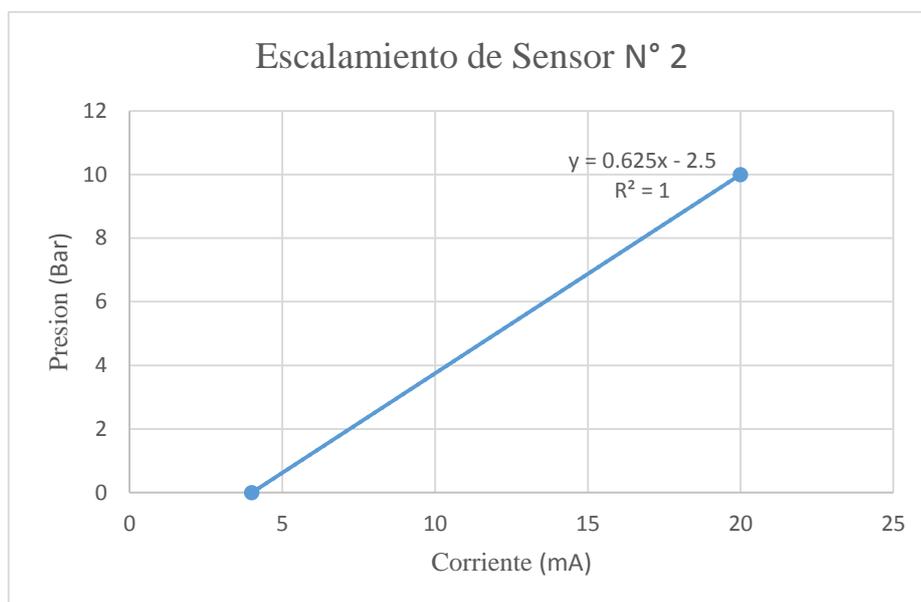
Elaboración: Propia.

Tabla N° 4.4. Sensor de Presión 02

CORRIENTE	PRESIÓN
4 mA	0 BAR
20 mA	10 BAR

Elaboración: Propia

Figura N° 4.6. Gráfico de Equipo Linealizado.



Elaboración: Propia

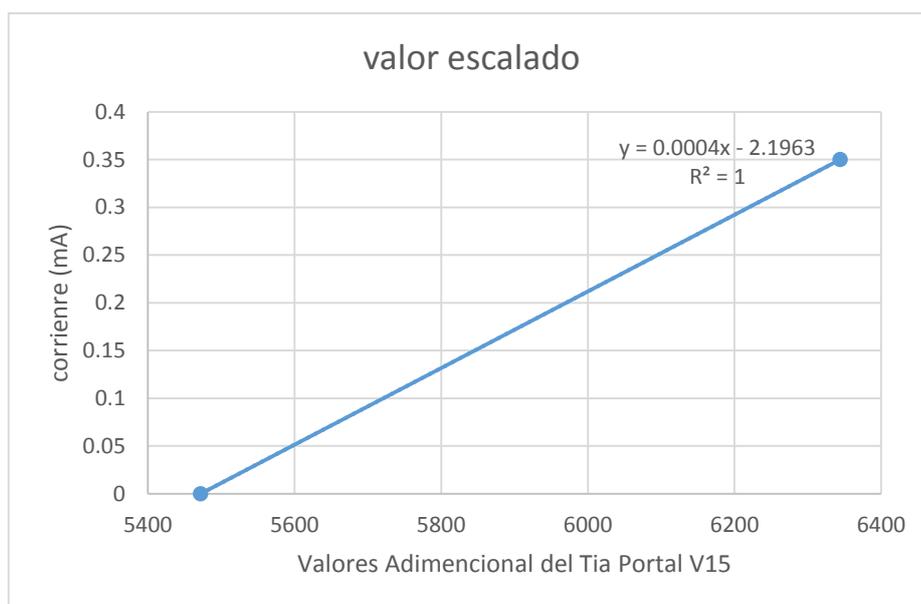
Determinación de valores a escalar.

Tabla N° 4.5. Valor de escalamiento.

VALOR ESCALADO	
5472	0
6344	0.35

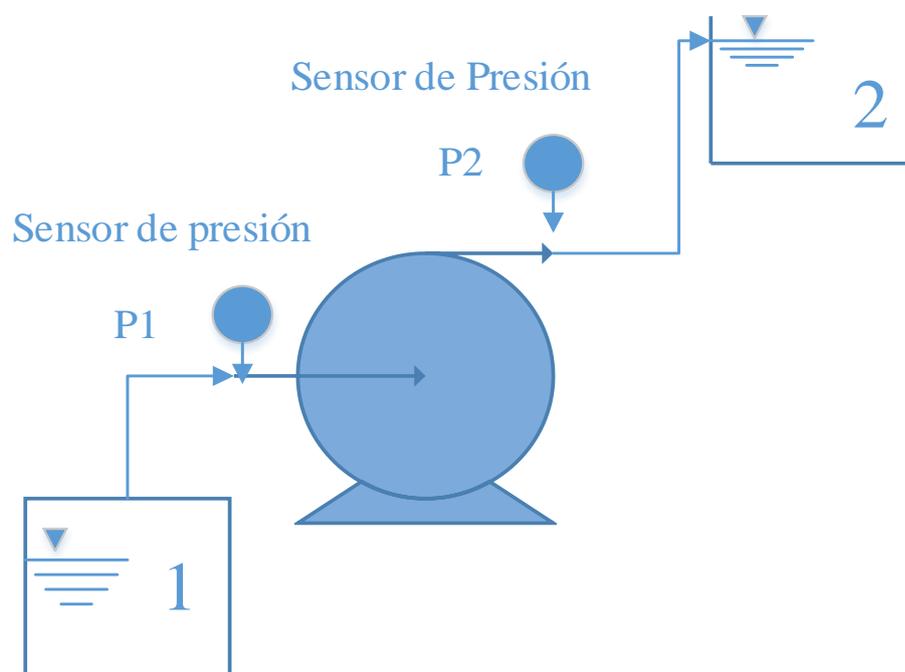
Elaboración: propia

Figura N° 4.7. Grafico Valor Escalado.



Elaboración: Propia

Figura N° 4.8. Diagrama de Medición de Presión.



Elaboración: Propia.

Prueba de monitoreo N°1

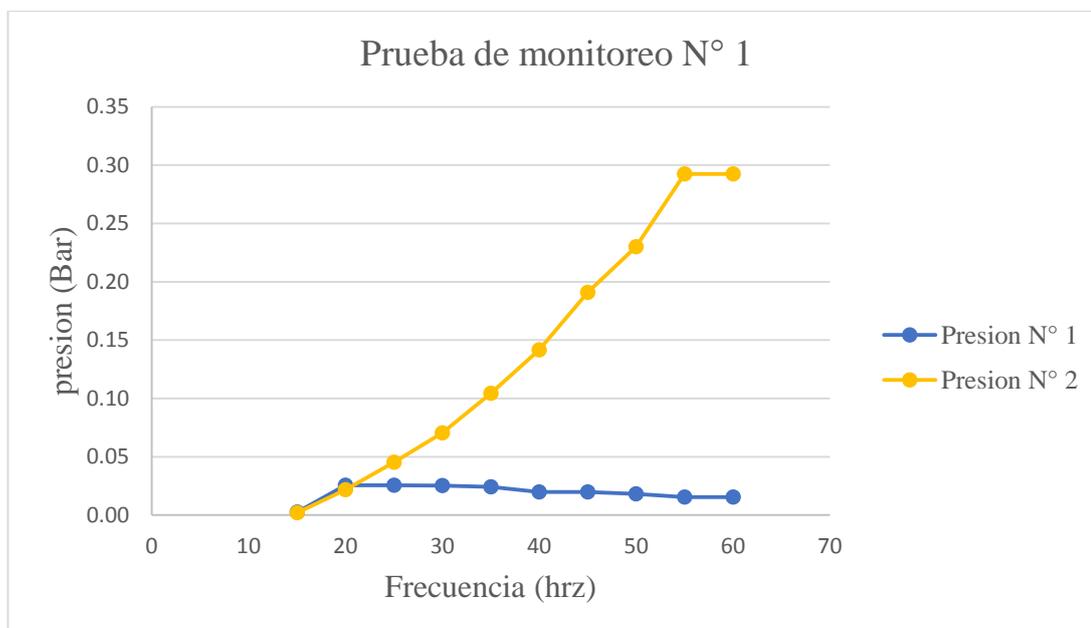
Tabla N° 4.6. Frecuencia con un intervalo de 5 Hz.

Pruebas de Monitoreo N° 1		
Frecuencia	Presion N° 1(bar)	Presion N°2 (bar)
15	0.0026	0.0021
20	0.0255	0.0217
25	0.0255	0.0453
30	0.0252	0.0705
35	0.0240	0.1045
40	0.0199	0.1417
45	0.0199	0.1909
50	0.0181	0.2301
55	0.0155	0.2925
60	0.0155	0.2925

Elaboración: Propia

Monitoreo gráfica.

Figura N° 4.9. Diagrama de Presión Escalado.



Elaboración: propia

Prueba de monitoreo N° 2

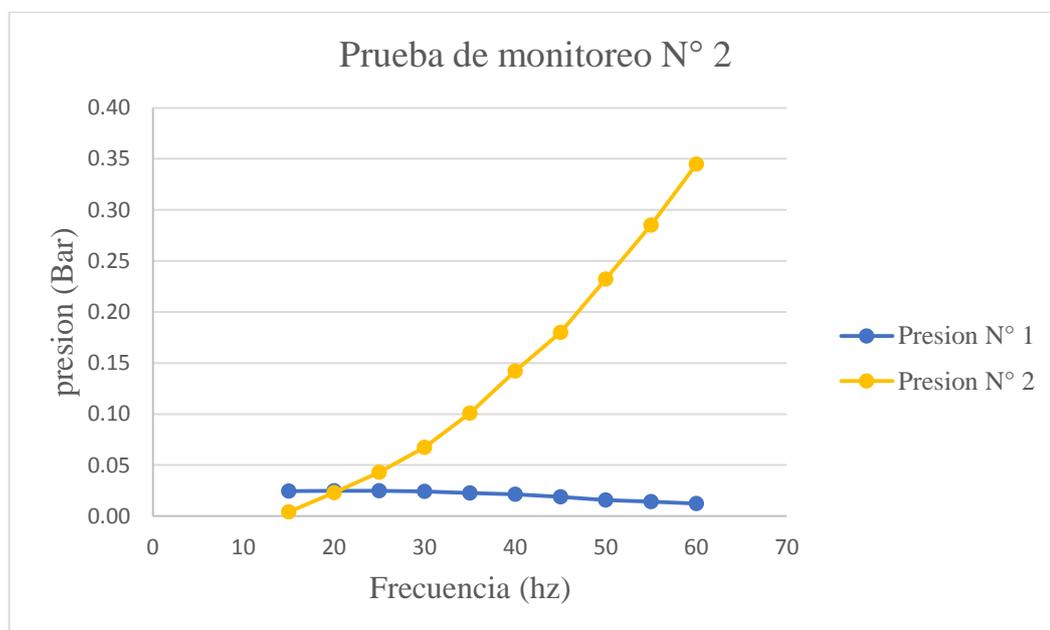
Tabla N° 4.7. Frecuencia con un Intervalo de 5 Hz .

Prueba de Monitoreo N°2		
Frecuencia	Presión N° 1(bar)	Presión N°2 (bar)
15	0.0243	0.0041
20	0.0246	0.0229
25	0.0246	0.0429
30	0.0240	0.0673
35	0.0226	0.1009
40	0.0214	0.1421
45	0.0190	0.1801
50	0.0157	0.2321
55	0.0143	0.2849
60	0.0122	0.3449

Elaboración: Propia

Monitoreo grafica.

Figura N° 4.10. Diagrama de Presión Escalado.



Elaboración: propia

Prueba de monitoreo N° 3

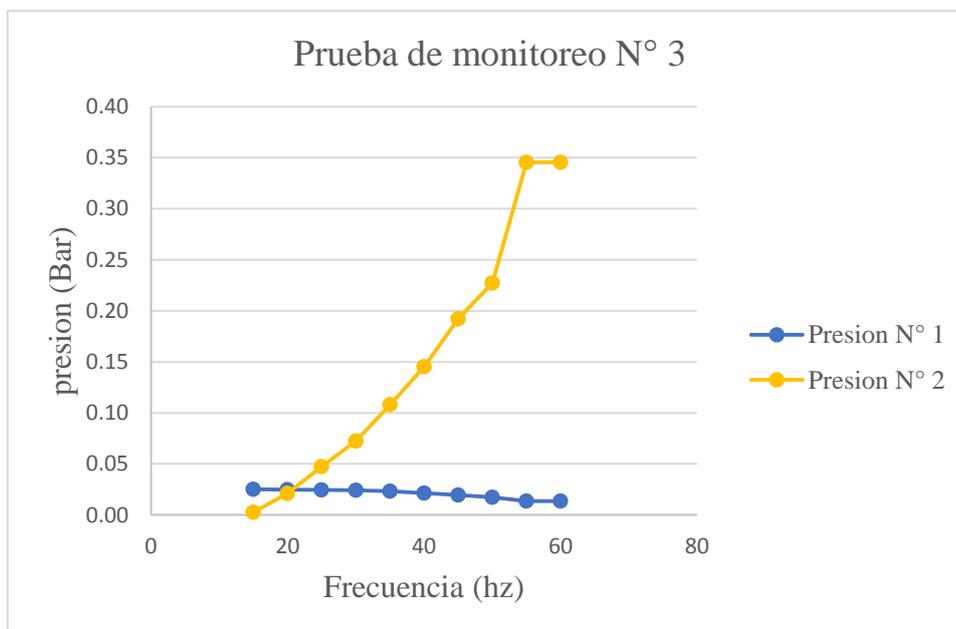
Tabla N° 4.8. Frecuencia con un intervalo de 5 Hz. .

Pruebas de Monitoreo N°3		
Frecuencia	Presión N° 1(bar)	Presión N°2 (bar)
15	0.0250	0.0025
20	0.0249	0.0209
25	0.0243	0.0473
30	0.0240	0.0725
35	0.0232	0.1081
40	0.0214	0.1453
45	0.0196	0.1921
50	0.0172	0.2273
55	0.0137	0.3453
60	0.0137	0.3453

Elaboración: Propia

Monitoreo grafica.

Figura N° 4.11. Diagrama de presión escalado.



Elaboración: Propia

4.3. OPERACIÓN DEL SISTEMA

4.3.1. PRECAUCIONES ANTES DE PUESTA EN MARCHA

- Verificar visualmente las condiciones del equipo y la PC antes de conectar a la toma de fuente de energía de 220 vatios.
- Verificar visualmente los circuitos de conexión en el tablero de control solo por personal autorizado.
- Se recomienda de que la electrobomba no trabaje en vacío para lo cual deberá realizarse el cebado respectivo para el buen funcionamiento.
- Verificar siempre que el tanque cisterna contenga agua para que la electrobomba no trabaje en vacío.
- Verificar que siempre esté conectado el cable de comunicación del PLC y la PC.

4.3.2. PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA

- Energizar el circuito de control y mando, el interruptor termo magnético debe estar en ON para alimentación respectiva.
- Energizar la PC, para adquisición, y control de datos.
- Comprobar que los leds indicadores en el tablero de control se encuentren operativos.
- Comprobar en el panel de control de TIA PORTAL V15, que los leds indicadores en el tablero de control se encuentre operativos, si es así existe conexión entre el TIA PORTAL V15, y PLC.
- La operación desde el TIA PORTAL V15, es en forma manual o automática.
- Para el sensor de presión en la impulsión P2.
- Para el sensor de presión en la aspiración P1.

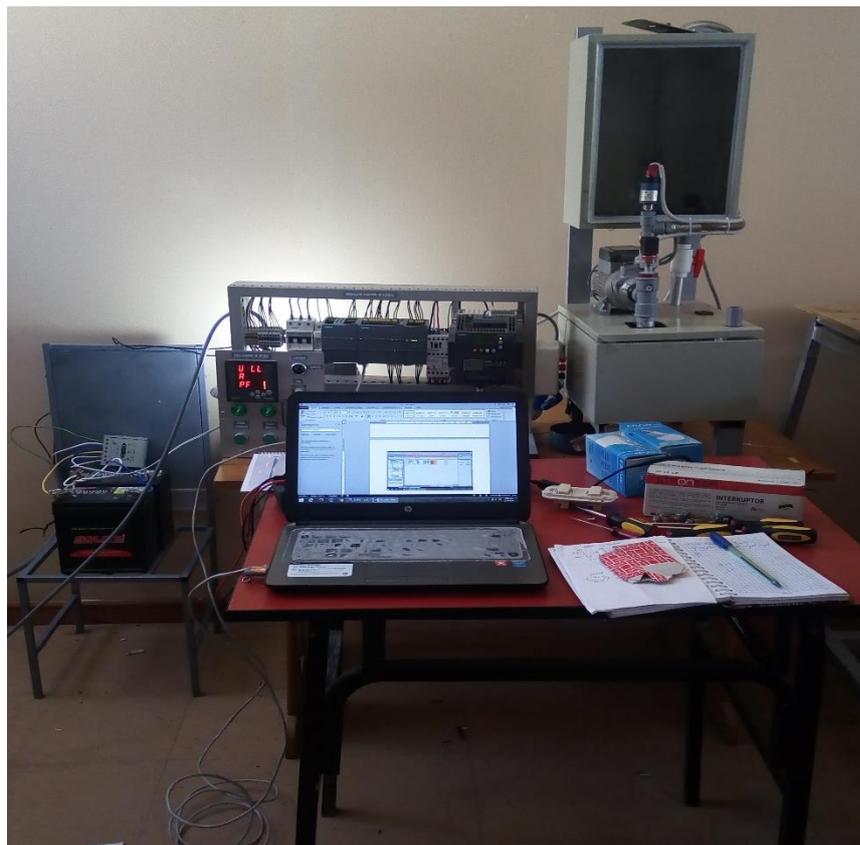
- Cualquier falla que se produzca en la operación del módulo se deberá accionar el pulsador de parada de emergencia.
- Culminada las prácticas de laboratorio, se regresa a su posición de apagado de la PC y el tablero de control.

4.3.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA

- El mantenimiento del sistema se realiza cada dos meses revisado su estructura y el estado físico de la electrobomba, componentes y accesorios del PLC y la PC respectivamente.
- Verificar que no haya fuga en los empates de las tuberías con los accesorios.
- Verificación de la fuente de alimentación fotovoltaica.
- Revisar las conexiones dentro del tablero de control.
- Verificar el cable de comunicación (PLC-PC).
- Cualquier modificación en el circuito del tablero de control, se recurrirá a los esquemas de conexión que se muestran en el anexo.

4.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MODULO DE MONITOREO

Para determinar la influencia de la ubicación geográfica, se muestra las mediciones de tiempo real, de igual manera la medición de la radiación solar, la medición de la potencia generada por el módulo solar y se hace referencia de la presión en aplicación del programa en campo también mostrándolo en un gráfico en el sector.

Figura N° 4.12. Instalación de Modulo.

Elaboración: Propia

4.5. LA RADIACIÓN SOLAR EN OTRAS FUENTES

El Ministerio de energía y minas tiene como objetivo Promover el desarrollo sostenible y competitivo del sector energético, priorizando la inversión privada y la diversificación de la matriz energética; a fin de asegurar el abastecimiento de los requerimientos de energía en forma eficiente y eficaz para posibilitar el desarrollo de las actividades productivas y la mejora de las condiciones de vida de la población. (Consortio Vortex (MINEM), 2016)

En este sentido, la Dirección General de Electricidad, busca fomentar el aprovechamiento y desarrollo sostenible de los recursos energéticos renovables y no renovables, el uso racional y eficiente de la energía y el desarrollo de nuevas tecnologías

para su utilización en generación de energía eléctrica. (Consortio Vortex (MINEM), 2016).

4.6. POTENCIAL SOLAR

Antes de empezar a revelar los valores medidos en el laboratorio de control y automatización, es importante que se haya entendido de manera clara la diferencia entre radiación, irradiancia e irradiación, que son conceptos fundamentales que se nombraran a continuación y fueron descritos anteriormente .

La evaluación del potencial solar se realizó por medio de un medidor digital de energía solar a través del PLC y TIA PORTAL V15 el cual se hizo es escalamiento, el cual mide la irradiancia.

Con el fin de obtener datos que aporten al presente trabajo, se realizaron mediciones de irradiancia cada 30 minutos, desde las 6 a.m. hasta las 5p.m durante cinco días seguidos; la totalidad de los valores obtenidos se pueden apreciar en la tabla N° 4.9.

Tabla N° 4.9. Irradiancia medida en el laboratorio de la EPIME en los diferentes días.

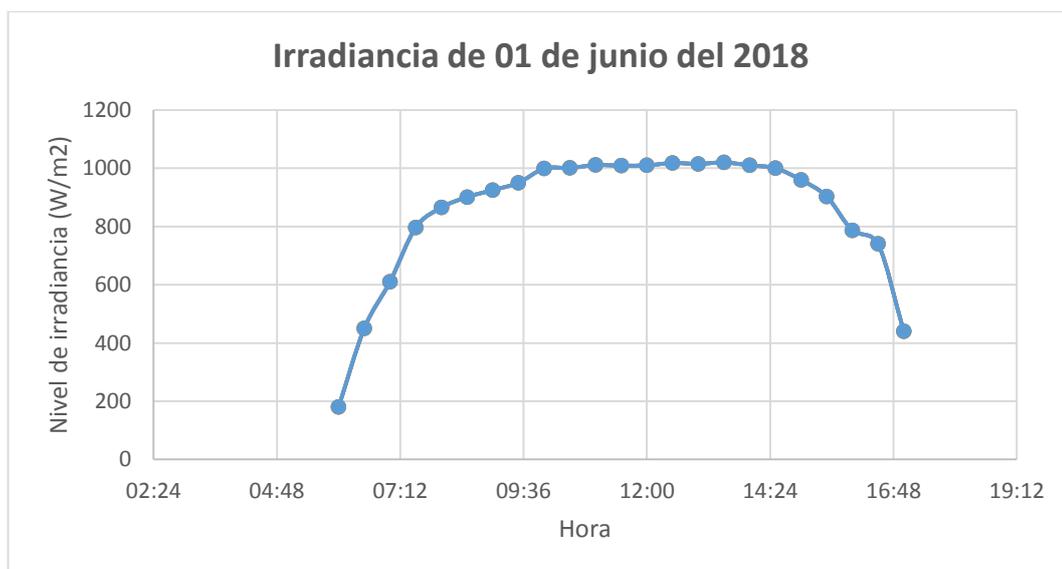
ITEM	HORA	01/06/2018	02/06/2018	03/06/2018	04/06/2018	05/06/2018
		IRRADIANCIA SOLAR (W/m2)				
1	06:00	180	183	187	186	191
2	06:30	450	453	457	456	461
3	07:00	610	613	617	616	621
4	07:30	796	799	803	802	807
5	08:00	865	868	872	871	876
6	08:30	901	904	908	907	912
7	09:00	925	928	932	931	936
8	09:30	950	953	957	956	961
9	10:00	999	1002	1006	1005	1010
10	10:30	1001.00	1004	1008	1007	1012
11	11:00	1011.00	1014	1018	1017	1022
12	11:30	1009.00	1012	1016	1015	1020

13	12:00	1010.00	1013	1017	1016	1021
14	12:30	1018.00	1021	1025	1024	1029
15	13:00	1015.00	1018	1022	1021	1026
16	13:30	1020.00	1023	1027	1026	1031
17	14:00	1010.00	1013	1017	1016	1021
18	14:30	1000.00	1003	1007	1006	1011
19	15:00	960.00	963	967	966	971
20	15:30	903.00	906	910	909	914
21	16:00	786.00	789	793	792	797
22	16:30	740.00	743	747	746	751
23	17:00	440.00	443	447	446	451

Elaboración: Propia

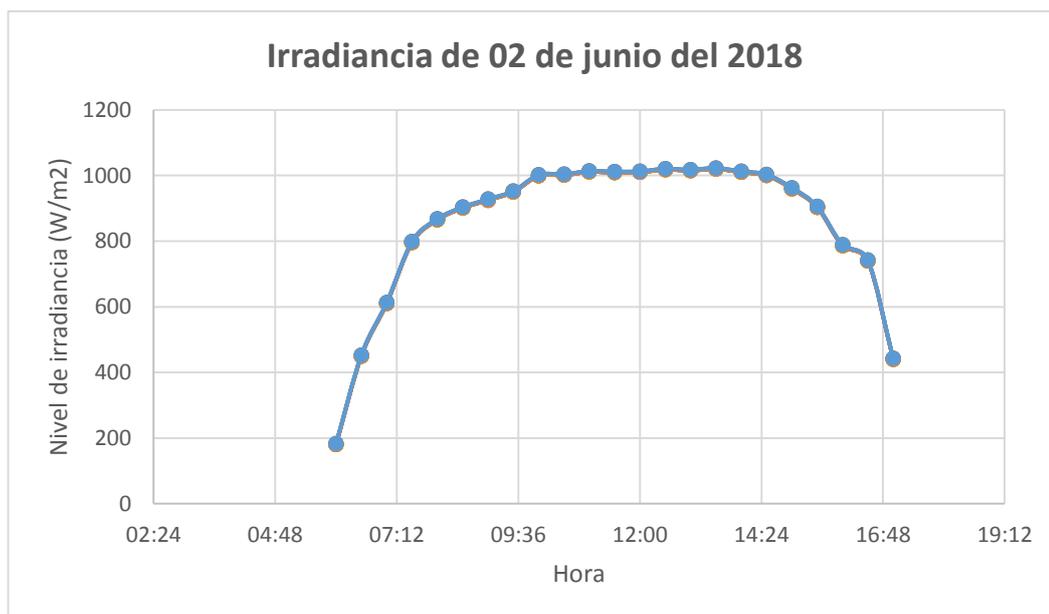
Pruebas de laboratorio en los días.

Figura N° 4.13. Irradiancia medida en el laboratorio el día 1 de junio 2018.



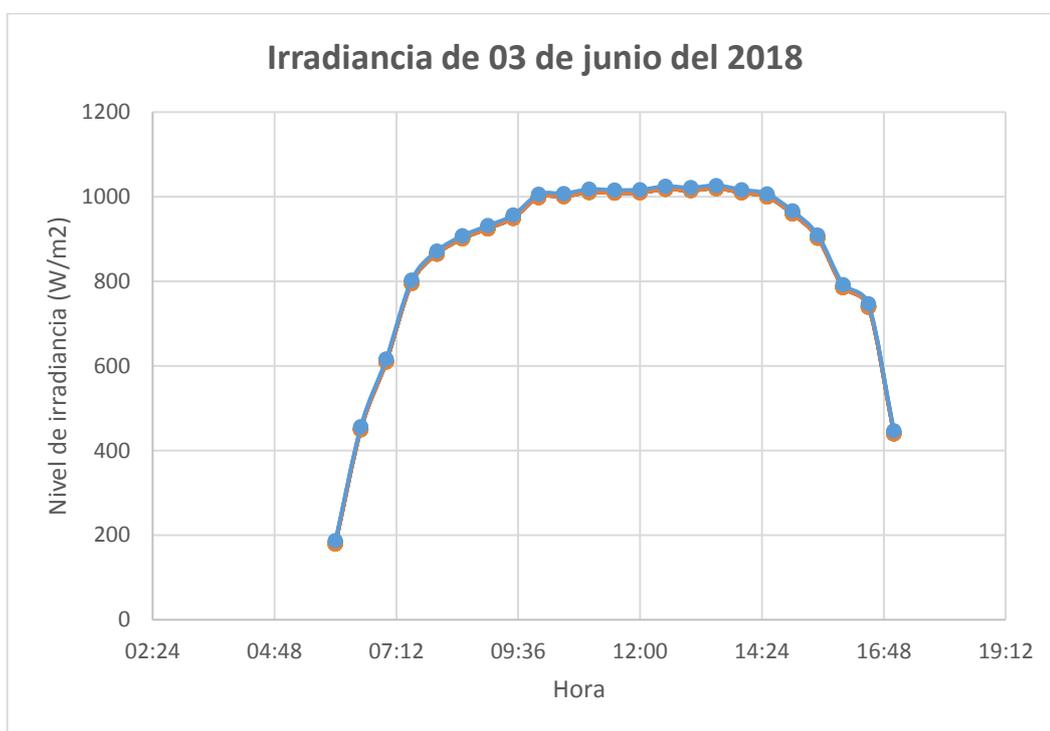
Elaboración: Propia

Figura N° 4.14. Irradiancia medida en el laboratorio el día 2 de junio 2018.



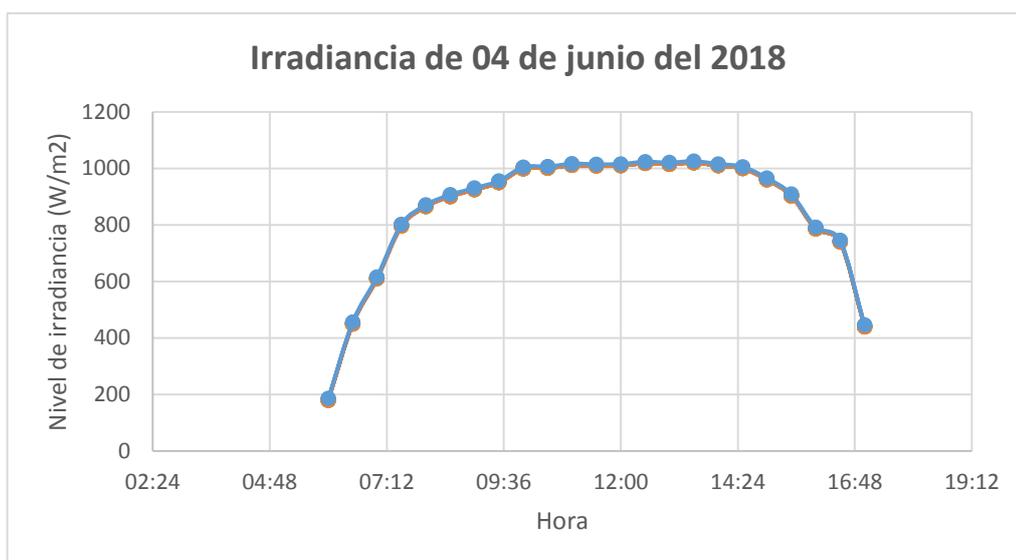
Elaboración: Propia

Figura N° 4.15. Irradiancia medida en el laboratorio el día 3 de junio 2018.



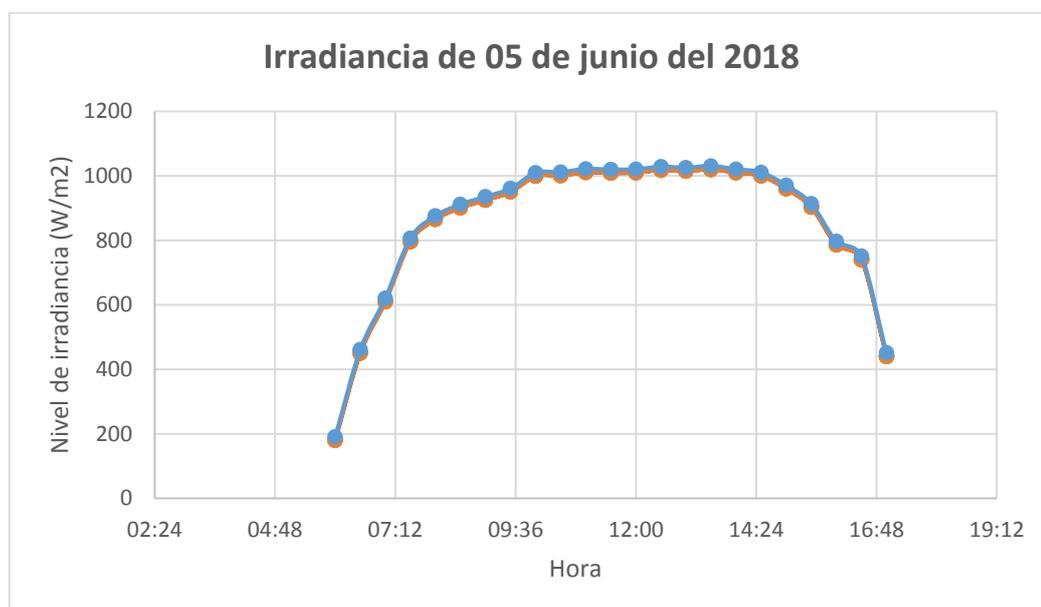
Elaboración: Propia

Figura N° 4.16. Irradiancia medida en el laboratorio el día 4 de junio 2018.



Elaboración: Propia

Figura N° 4.17. Irradiancia medida en el laboratorio el día 5 de junio 2018.



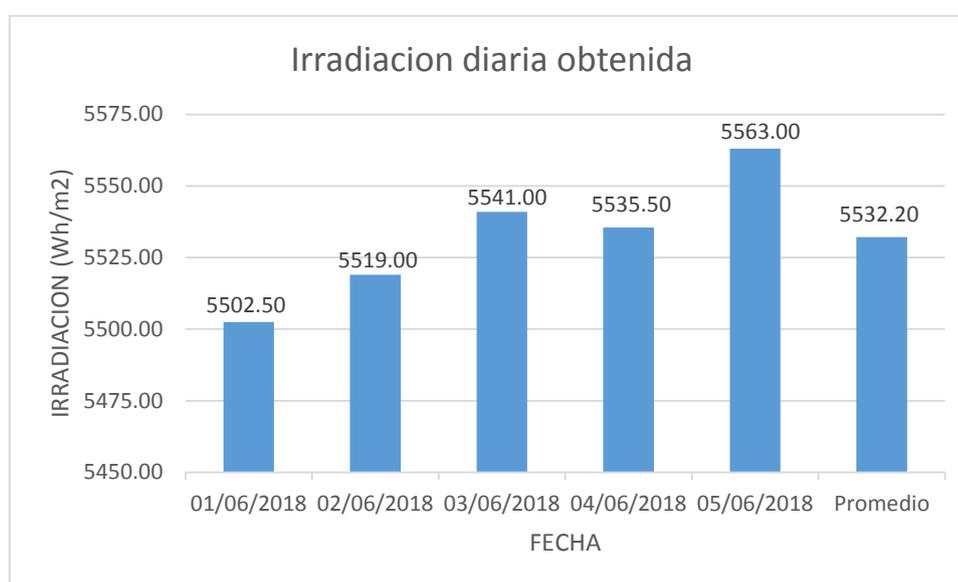
Elaboración: Propia

El área bajo la curva se calculó mediante el método de trapezios, cuya expresión es la siguiente:

$$Irradiación = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{Irradiación_i + Irradiación_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) \tag{4.1}$$

La expresión anterior se utilizó para cada uno de los días, obteniendo como resultado la irradiación diaria en laboratorio de la EPIME (la figura N° 4.19), luego se realizó un promedio de estos con el fin de realizar el cálculo de las hora solar pico obtenidas en los días medidos, dato que servirá de comparación con los obtenidos de otras fuentes, pero que no se tendrá como criterio de diseño, ya que son muy pocos los días en los que se midió irradiancia.

Figura N° 4.18. Valores de irradiación obtenidos a partir de la irradiancia diaria.



Elaboración: Propia

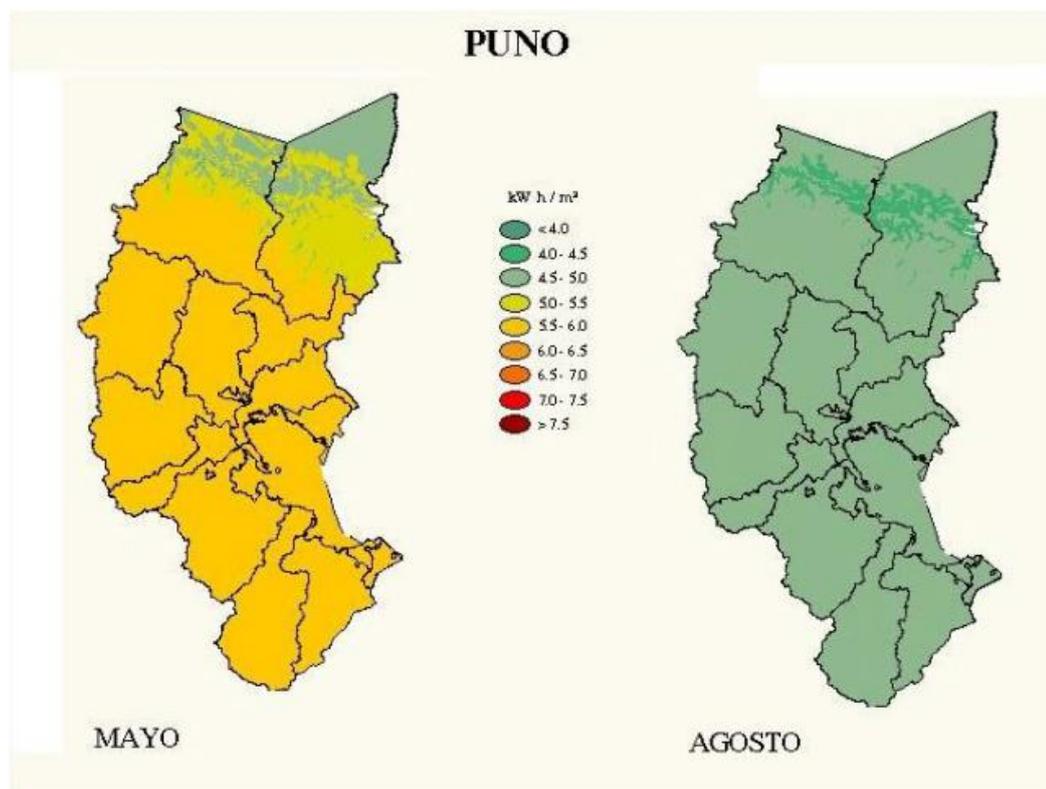
Como se puede observar en la gráfica anterior, el valor de la irradiación es 5532.20 Wh/m², por lo tanto el número de horas pico solar es 5.53 ya que como se vio anteriormente, las horas pico solar se obtienen dividiendo el valor de la irradiación diaria por 1000 Wh/m², que es el criterio estándar bajo el cual se dan las características técnicas de los paneles, después de realizar las mediciones necesarias.

4.6.1. RADIACIÓN SOLAR EN PUNO SEGÚN EL MAPA DEL ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR DE PERÚ.

Para obtener valores de irradiación en Puno en los mapas del atlas, es necesario que en primer lugar, se localice el distrito en el mapa, lo cual se realizó mediante comparación de uno de los mapas de Puno que incluye la división política y la ubicación, se encontró que la irradiación promedio multianual es de aproximadamente 5.21 kWh/m². El procedimiento descrito anteriormente se muestra en la figura N° 4.19.

Los datos obtenidos para el departamento de Puno fueron los siguientes:

Figura N° 4.19. Energía Incidente Diario en Puno.



Fuente: Atlas solar del Perú, Senamhi.

Dado que es importante conocer el mes de menor irradiación, se hallaron estos valores para cada uno de los meses siguiendo el mismo procedimiento que se llevó a cabo para hallar el valor de la irradiación promedio multianual, obteniendo como resultado los valores de la tabla N°4.10. Por medio de la cual se determina que los meses de menor irradiación con un valor de 4.75 kWh/m²; por lo tanto, se obtiene un valor de 4.75 horas solar pico según el atlas mencionado.

Tabla N°4.10. Valores de radiación en todos los meses del año.

Mes	Irradiación [kWh/m ²]
Enero	5.25
Febrero	6.25
Marzo	6.25
Abril	5.25
Mayo	5.75
Junio	4.75
Julio	4.75
Agosto	4.75
Septiembre	5.75
Octubre	5.75
Noviembre	6.25
Diciembre	4.75
Promedio	5.46

Fuente: Atlas solar del Perú, Senamhi.

4.6.2. HORAS SOLAR PICO (HSP).

Teniendo en cuenta la irradiación solar para el Distrito de Puno según el atlas de radiación solar de Perú, el valor de las horas solar pico sería 4.75 horas; pero teniendo en cuenta que las mediciones realizadas en dicho atlas están sujetas a desviaciones debidas a la geografía propia de cada sitio y a su distancia con respecto a la ubicación de los medidores, antes de realizar los cálculos se revisaran otras fuentes.

Otra fuente consultada para determinar el valor de la hora pico solar fue la de la NASA, en la cual, con introducir los valores de latitud y longitud de la localidad de estudio, se obtienen valores de diversos parámetros, en este caso, al revisar la radiación sobre una superficie plana se obtuvo la información de la siguiente tabla:

Tabla N° 4.11. Valores de irradiación para el distrito de Ilave según la NASA.

Monthly Averaged Insolation Incident On A Horizontal Surface (kWh/m ² /day)-2017														
LAT	LON	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	ANN
-16.05919	-69.5773	5.09	5.33	5.39	6.63	8.02	8.19	8.2	7.66	7.7	7.38	7.3	6.3	6.94

Fuente: NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables.

Como se puede observar en la tabla anterior, para el distrito de Puno (zona de instalación de los paneles solares) se tiene una irradiación promedio anual de 6.94 kWh/m²/día, lo que genera un valor de HSP de 6.94 horas, pero como siempre se debe diseñar para el peor mes, según la tabla, sería 5.09 horas, que corresponden al mes de enero.

Al comparar los valores de las diversas fuentes, se puede concluir que la diferencia entre éstos es mínima, por lo que, posteriormente en los cálculos se podrá analizar si se presenta una alta variación al utilizar cada uno de ellos, o si dicha diferencia no afecta de forma significativa el resultado final de dichos cálculos.

4.7. CÁLCULOS PARA DIMENSIONAR EL SISTEMA Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS.

Habiendo ya obtenido los valores de los requerimientos del módulo y los recursos de los cuales disponen, es decir, la diferencia de presiones de entrada y salida de la bomba, el caudal de bombeo, y la radiación se procede a iniciar con los cálculos necesarios para el dimensionado de cada uno de los componentes del sistema, programando las ecuaciones mencionados en lo ítem anteriores y realizando variaciones en algunos

parámetros las cuales se explicaran en detalle más adelante y permitirán realizar un mejor análisis para la optimización del sistema y sus componentes.

Igualmente, se seleccionarán los equipos adecuados de acuerdo a los parámetros de diseño, a los resultados obtenidos mediante los cálculos realizados y a las relaciones de costo beneficio que trae consigo cada equipo.

4.7.1. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONADO DE LA BOMBA Y SELECCIÓN PRELIMINAR

Para el dimensionado de la bomba, se calculó la diferencia de presiones de entrada y salida de la bomba y el caudal de bombeo que se trabaje bajo una eficiencia alta y unas pérdidas mínimas.

Caudal: se determinó en el tiempo que tarda en llenar el volumen del recipiente de almacenamiento, siendo caudal de 45 l/min

El diámetro de la tubería de salida y entrada es de 1" y 1/2" respectivamente.

Donde:

$$Q=0.75 \text{ l/s} \quad \Leftrightarrow \quad Q=0.00075 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_E = \frac{\pi D^2}{4} \quad \Leftrightarrow \quad A_E = \frac{\pi * 0.0254^2}{4} = 0.000507 \text{ m}^2$$

$$A_S = \frac{\pi D^2}{4} \quad \Leftrightarrow \quad A_S = \frac{\pi * 0.0127^2}{4} = 0.000127 \text{ m}^2$$

Calculando la velocidad de entrada y salida:

$$V_E = \frac{Q}{A_E} \quad \Leftrightarrow \quad V_E = \frac{0.00075}{0.000507} = 1.48 \text{ m/s}$$

$$V_S = \frac{Q}{A_S} \quad \Leftrightarrow \quad V_S = \frac{0.00075}{0.000127} = 5.91 \text{ m/s}$$

La diferencia de altura de la bomba: $Z_S - Z_E = 0.14 \text{ m}$

Las presiones manometricas obtenidas de la entrada y salida de la bomba es de 0.0138 y 0.3276 Bares respectivamente.

$$P_E = 1.38 \text{ KPa}$$

$$P_S = 32.76 \text{ KPa}$$

Teniendo la ecuación de la bomba reemplazando:

$$H = \frac{P_S - P_E}{\rho g} + Z_S - Z_E + \frac{v_S^2 - v_E^2}{2g}$$

$$H = \frac{32.76 - (1.38)}{9.81} + 0.14 + \frac{5.91^2 - 1.48^2}{2 * 9.81}$$

$$H = 31.38 + 0.14 + 1.67$$

$$H = 33.19 \text{ m}$$

Potencia. La potencia de la bomba se calculó mediante la ecuación (2.5), reemplazando el valor del caudal extraído de la curva del sistema de bombeo y la altura calculada:

$$P = Q\rho gH$$

$$P = 0.00075 * 1000 * 9.81 * 33.19$$

$$P = 244.20 \text{ W}$$

4.7.2. CÁLCULOS REQUERIDOS PARA EL DIMENSIONADO DE LOS PANELES SOLARES

Para dimensionar adecuadamente los paneles solares, se debe realizar el procedimiento de cálculo expuesto anteriormente. Durante el proceso se asumirán algunos valores según lo recomendado por algunas fuentes, luego se seleccionaran preliminarmente todos los componentes para posteriormente recalculer con los datos oficiales de las fichas técnicas

y revisar si es necesario seleccionar nuevos equipos y seguir iterando, o si las variaciones son mínimas, ratificar los equipos seleccionados preliminarmente.

Para iniciar los cálculos se debe conocer la potencia eléctrica consumida por el motor de la bomba previamente seleccionada, en este caso corresponde a la potencia útil de la bomba dividida por su eficiencia a la que trabaja la bomba:

En el analizador de redes se pudo observar los datos de medición de la bomba como la el voltaje la corriente y el factor de potencia.

$$V=220 \text{ voltios}$$

$$I=1.12 \text{ Amperios}$$

$$\text{Cos}\phi = 0.90$$

$$P_{\text{eléctrica de motor}} = \sqrt{3} * V * i * \text{cos}\phi$$

$$P_{\text{eléctrica de motor}} = \sqrt{3} * 220 * 1.12 * 0.9$$

$$P_{\text{eléctrica de motor}} = 384.10 \text{ w}$$

Al resultado anterior que equivale a la potencia eléctrica consumida por el eje de la bomba se le debe dividir entre la eficiencia del motor (90%) para calcular la potencia real consumida por el motor de la bomba:

$$P_{\text{eléctrica eje}} = P_{\text{eléctrica motor}} * \text{Eficiencia del motor} = 384.10 * 0.90$$

$$= 345.68 \text{ W}$$

$$P_{\text{eléctrica eje}} = 345.68 \text{ w}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{P_{\text{útil de la bomba}}}{P_{\text{eléctrica eje}}}$$

$$\text{Eficiencia} = \frac{244.20}{345.68} = 0.7064$$

$$\text{Eficiencia} = 70.64\%$$

La bomba trabaja a una eficiencia de 70.64% y obteniendo la potencia eléctrica de motor es 384.10 W.

Por lo tanto la energía de carga será igual a la potencia eléctrica consumida por el motor de la bomba, multiplicada por el tiempo que debe operar a diario la bomba (55 min) para suplir el uso de módulo de laboratorio.

$$E_{carga} = P_{eléctrica\ del\ motor} * t = 384.10 * \frac{55}{60} = 352.09 \text{ Wh}$$

La energía total del sistema se calcula mediante la ecuación 3.2, donde la eficiencia del inversor se asumirá de 85%, según las recomendaciones de algunos autores, entre ellos Oliver Style y según lo observado en algunas fichas técnicas.

Las pérdidas eléctricas que se puedan presentar en el sistema, especialmente en el cableado, deben ser bajas, para evitar sobrecostos del mismo, por lo tanto se asume su valor en 5% de la energía eléctrica total generada por los paneles, por lo tanto:

$$E_t = \frac{352.09}{0.85} * (1 + 0.05) = 434.94 \text{ Wh}$$

Conociendo el valor de la energía total que va a consumir el sistema, se procede a calcular la potencia del panel o conjunto de paneles que se necesita para producir dicha cantidad de energía, esto se realiza mediante la ecuación 3.3.

Donde, para las horas solares pico HSP, se tienen referencias mostradas en las atlas solares de la región de puno de los meses de menor radiación solar, para cada una de ellas se realizaran los cálculos y se analizará si la variación genera cambios significativos en el resultado final.

Ateniendo un valor de horas sol pico HSP= 4.75 h

$$w_p = \frac{434.94}{4.75} = 91.57 \text{ W}$$

Tabla N° 4.12. Características del panel.

Magnitud	Valor y/o unidad
Potencia máxima (P MAX)	120 Wp
Corriente de máxima potencia (I MAX)	6.82 A
Tensión de máxima potencia (VMAX)	17.6 V
Corriente de corto circuito (Isc)	7.09 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	22.4 V

Elaboración: Propia

El valor de la energía total, también se requiere para calcular la energía en amperios-hora, como se evidencia en la ecuación 3.4. Para esta ecuación, el valor del voltaje o tensión del sistema se determinó de 12 V, de acuerdo con los valores de la tabla N° 3.1, ya que la potencia eléctrica demandada por la bomba es inferior a 1500W.

$$E_{Ah} = \frac{434.94}{12} = 36.25 \text{ Ah}$$

Siendo conocido el resultado de la energía en Ah, se procede a calcular la corriente pico del sistema mediante la ecuación 3.5:

$$I_{pico \text{ arreglo}} = \frac{36.25}{0.8 * 4.75} = 9.54A$$

Donde intervienen además las horas pico solar cuyo valor se mencionó anteriormente y la eficiencia de la batería, que para este caso se asumió del 80%.

Por último se calcula el número de paneles en paralelo y en serie que se deben usar por medio de las ecuaciones 3.6 y 3.7:

$$\text{Numero de paneles en paralelo} = \frac{I_{pico \text{ arreglo}}}{I_{pico \text{ panel}}} = \frac{9.54}{6.82} = 1.4 \approx 2$$

$$\text{Numero de paneles en serie} = \frac{V_{arreglo \text{ en CD}}}{V_{nominal \text{ del panel}}} = \frac{12.00}{12.00} = 1$$

La corriente pico del panel se asumió de 6.82 A, que es un valor en los paneles, sobre todo donde tiene una potencia de 120 W.

Por lo tanto, el número total de paneles requeridos que es igual al número de paneles en serie por el número de paneles en paralelo, es decir 2.

4.8. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE BATERÍAS

Como se mencionó anteriormente, el sistema de almacenamiento es uno de los más importantes para el correcto funcionamiento del sistema, para calcular la capacidad que éste debe tener se debe utilizar la ecuación 2.15:

Donde W es la misma energía total diaria requerida por el sistema, N es el número de días de autonomía, que para este caso según los estudios realizados de 1 días.

El voltaje o tensión de la batería es el mismo voltaje del sistema, es decir 12 V y la profundidad de descarga (P_d) se asumirá de 50%, ya que debe ser una batería de ciclo profundo, por lo tanto al reemplazar se obtiene:

$$C = \frac{W * N}{V_{bat} * P_d} = \frac{434.94 * 1}{12 * 0.5} = 72.49 Ah$$

4.9. RESULTADOS

El compendio de los resultados obtenidos tras realizar los cálculos mencionados en los ítems anteriores se pueden observar en la tabla N° 4.13, dichos resultados son los que se tendrán en cuenta para la posterior selección de los equipos. Para el inversor, se calculó su potencia nominal como 1.2 veces la potencia eléctrica consumida por el motor de la bomba y la corriente mínima del regulador, se determinó teniendo en cuenta que debe ser superior a la corriente pico del sistema.

Tabla N° 4.13. variables de resultados.

VARIABLE RESULTADO	RESULTADO
Caudal de bombeo	0.45 L/m ³
Altura total de bombeo	33.19 m
Potencia útil de la bomba	244.20 W
Potencia del eje de la bomba	345.68W
Potencia eléctrica consumida por el motor de la bomba	384.10 W
Eficiencia de la bomba	70.64%
Energía de carga	352.09 Wh
Energía total del sistema	434.94 Wh
Potencia del panel	120 W
Energía en Ah	36.25 Ah
Corriente pico del sistema	9.54 A
Número de paneles en paralelo	2
Número de paneles en serie	1
Capacidad del sistema de baterías	72.49 Ah
Potencia del inversor	460.92 W
Corriente mínima del regulador	16 A

Elaboración: Propia

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

Para el desarrollo de las prácticas de laboratorio, se acondiciono el modulo para su mejor aporte en el área de energías renovables y control e automatización como podemos indicar:

1. Se diseñó el módulo de prácticas de laboratorio constituido por un sistema de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance, se desarrolló el montaje del módulo completo se realizó en función a la selección de proceso, del PLC, diseño y programación del PLC y TIA PORTAL V15, lo que permitió realizar el control, monitorización y adquisición de datos en tiempo real.
2. Se determinó el principio de operación del módulo solar monitorizado en el control y automatización para correcto funcionamiento haciendo el escalamiento de sensores de presiones de aspiración e impulsión así como también el escalamiento de sensor de la radiación solar utilizando el PLC y programa TIA PORTAL V15.

CAPITULO VI

6. RECOMENDACIONES

Durante las pruebas que se efectúen, se debe tener la presencia de un especialista en control y automatización, lo cual evitara que se realicen malas maniobras que perjudicaría o dañaría los componentes y accesorios del módulo completo.

Cumplir con los pasos del manual, mantenimiento y operación, lo que permita incrementar la vida útil del módulo de procesos de monitoreo y control con TIA PORTAL V15.

Cumplir con los pasos del manual, mantenimiento y operación, lo que permita incrementar la vida útil del sensor de presión en la aspiración – impulsión en el TIA PORTAL V15.

Cumplir con los pasos del manual, mantenimiento y operación, lo que permitirá incrementar la vida útil del sensor de radiación solar.

Antes de la puesta en marcha del módulo de proceso de monitoreo y control de radiación solar, variación de presión en el bombeo de agua con TIA PORTAL V15 verificar siempre el tablero de control y el panel de control del TIA PORTAL V15, ambos deben estar en comunicación mediante el cable Ethernet en PC – PLC.

Se debe fomentar y orientar a los egresados para el desarrollo de trabajos de tesis relacionados al tema de energías renovables y control e automatización de equipos industriales, ello permitirá elevar el nivel académico de la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica en el aspecto de la investigación.

SUGERENCIAS PARA FUTUROS TRABAJOS

1. El modulo se diseñó de un sistema de bombeo solar monitorizado para pruebas de performance en el laboratorio de control y automatización desarrollar con los datos proporcionado un análisis de los equipos.
2. Para el control e automatización implementa un sensor de nivel de agua mediante el ingreso en el tablero para su monitorización.

7. REFERENCIA

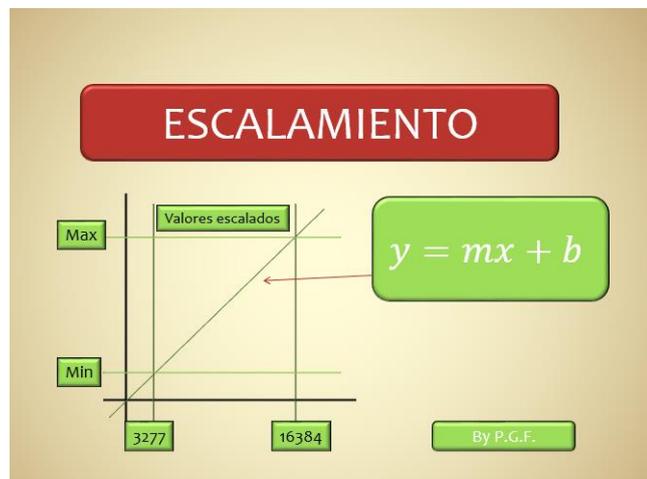
1. Enríquez Callata Salomón & Quenta Salinas Michael, (2007). “diseño e implementación de un módulo de proceso de monitoreo y control de nivel de agua con SCADA para el laboratorio de control y automatización”. Universidad nacional del altiplano.
2. Andrade Ñaccha Jener Dimas & Quispe Conde Miguel Ángel. (2016) “diseño y selección de un sistema eólico solar para la generación de energía eléctrica que mejore el sistema de bombeo de agua con fines de riego en el centro poblado de chinumani- yunguyo, 2016”. Universidad nacional del altiplano.
3. Andrés Orellana , José Sarango (2015) “Estudio de factibilidad para el uso de energía solar y eólica en sistema de alumbrado público para la vía de integración barrial ,sector plateado servido por empresa eléctrica regional del sur”. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca –Ecuador.
4. Berg H, Salas H (2011). “Energía eólica, Energías Renovables”. Recuperado de <http://www.top50-solar.de/es/participante/id/6350/deltavolt.pe-.html>.

5. Carlos Sanchez (2013) “IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES)”. Escuela Politécnica .Quito.
6. Danny Auccacusi. (2014) “Análisis técnico y económico para la selección del equipo óptimo de bombeo en Muskarumi-Pucyura –Cusco usando fuentes renovables de energía”. Universidad Católica. Lima –Perú.
7. Elmer Ramírez (2015) “Modelo estratégico para viabilizar proyectos de generación de electricidad utilizando Energías Renovables No Convencionales en zonas rurales del Perú, para promover su desarrollo sustentable”. Universidad Mayor de san marcos. Lima –Perú.
8. Esteban Rafael Escobar (2012) “Estudio de factibilidad de un sistema de electrificación autónomo eólico para sistemas de telecomunicación en zonas rurales del callejón interandino del Ecuador”. Escuela Politécnica del Ejército ESPE. Quito –Ecuador.
9. Ibáñez M (2004) “Tecnología Solar”. Universidad Medio Ambiente .Editorial: Mundi-Prensa.
10. Juan Chercca (2014). “Aprovechamiento del Recurso Eólico y Solar en la Generación de Energía Eléctrica y la Reducción de Emisiones de Co2 en el Poblado Rural La Gramita de Casma”. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú.
11. Marta Calvo (2010) “Estudio De Las Alternativas Para El Abastecimiento De Un Sistema De Riego Con Energías Renovables En Alcorisa”.Escuela Universitaria De Ingeniería Técnica Industrial De Zaragoza – Colombia.
12. Neidaly Sanchez (2016) “Diseño De Un Sistema Híbrido Eólico Solar Para El Bombeo De Agua”. Universidad Tecnológica De Pereira Facultad De Ingeniería Mecánica .Pereira Risaralda-Colombia.

13. NEDELUCU, Steluta. Suministro de energía eléctrica a una vivienda rural aislada mediante fuentes de energía renovables. 2009. Trabajo de grado (ingeniería Técnica Industrial especialidad Electricidad). Universidad Rovira i Virgili. Departamento de ingeniería electrónica, eléctrica y automática. Disponible en: <http://deeea.urv.cat/public/PROPOSTES/pub/pdf/1430pub.pdf>
14. PERALES BENITO, Tomás. Guía del instalador de energías renovables: energía fotovoltaica, energía térmica, energía eólica, climatización. México: Limusa, 2006, p. 23-142
15. ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. El ABC de las instalaciones eléctricas en sistemas eólicos y fotovoltaicos. México: Limusa, 2011, p. 293-302.

8. ANEXO

ESCALAMIENTO DE SENSORES



Tratamiento de las señales análogas

La instrucción de escalamiento está relacionada con la adaptación de los valores de tensión o de corriente que están normalizados en diversos estándares para medir un determinado fenómeno físico.

Los sensores o Transductores en la mayoría de los casos vienen linealizados por el fabricante, para una aplicación en particular por lo tanto se trabaja con líneas rectas.

Aplicación de las variables análogas en la industria

Lo mismo rige para los actuadores que en su mayoría responden a los estándares ya mencionados. Para aclarar el punto anterior se puede mencionar como ejemplo:

Se desea medir:

- > Un rango de temperatura entre 0°C y 200°C
- > Un nivel de un líquido entre 2 y 16 mts
- > La velocidad de un motor entre 500 y 3000 RPM

Las preguntas son:



¿Cómo adaptamos estos rangos de fenómenos físicos diferentes a 4 y 20 ma. que es un estándar de corriente para entradas y salidas en programadores?

¿Cómo adaptamos a 0 y 10v que es otro estándar?

La respuesta esta en el concepto de escalamiento



Cada entrada y salida analógica cuenta con un determinado número de bits que da la resolución y depende del fabricante y del modelo a emplear

ANALOGO

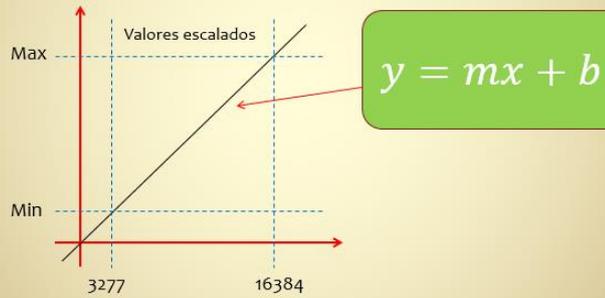
Los siguientes datos usados en el módulo de entradas análogas muestran el direccionamiento de entrada, rango de chequeo y escalamiento de las entradas análogas a las unidades de ingeniería.

El uso de la aritmética en el escalamiento

La gráfica es una función matemática del tipo

$$y = mx + b$$

Valor escalado significara adecuar la variable a medir a su lectura máxima y mínima en el proceso con la salida o entrada analoga y su número de bits respectivos.



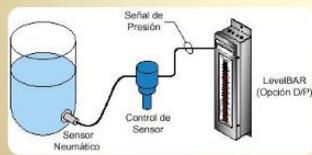
Variables

$y = Salida\ escalada$

$m = Pendiente\ (Rate)$

$x = Valor\ análogo\ de\ entrada$

$b = Offset$



Estructura

$$Rate = \frac{Escalado_Max - Escalado_Min}{Input_Max - Input_Min}$$

$$Offset = Escalado_Min - (Input_Min * Rate)$$

Finalmente se obtiene lo siguiente

$$y = mx + b$$

$$y = \frac{\text{Escalado_Max} - \text{Escalado_Min}}{\text{Input_Max} - \text{Input_Min}} * x + \text{Escalado_Min} - (\text{Input_Min} * \text{Rate})$$

Aritmética en PLC's

Como ya han podido apreciar el uso de la aritmética en PLC's es fundamental, para el desarrollo de aplicaciones en donde se requiera evaluar la información de variables análogas.

Una de las formas más eficientes para poder modelar el escalamiento de una variable análogas es:
Estructurar su método mediante bloques y funciones

Escalamiento para PLC Siemens S7_4200

Datos del sensor

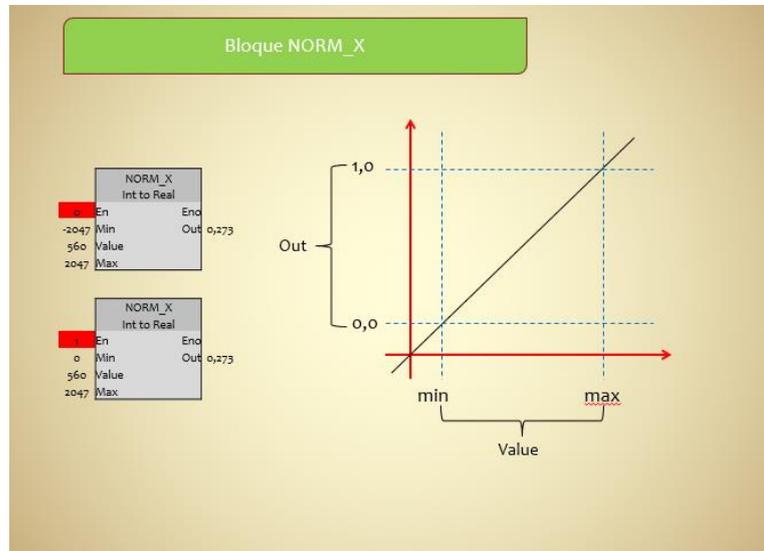
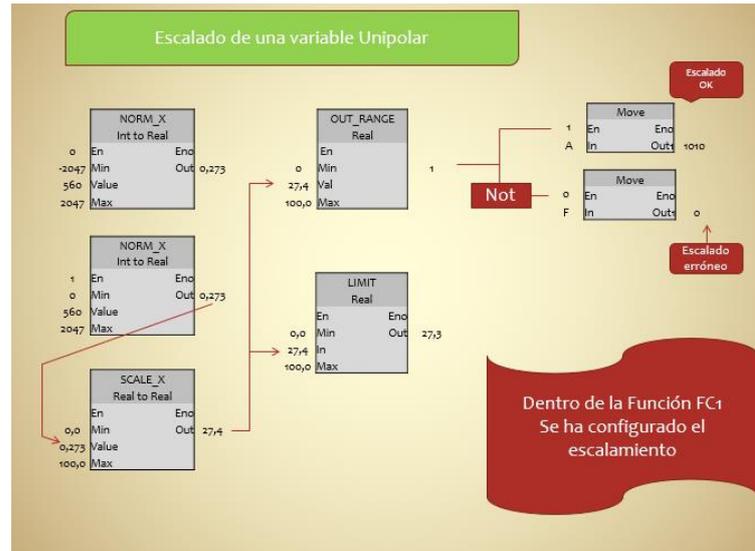
Rango variable ingenieril	#LO_LIM	#HI_LIM	Unidad de medida
	0,0	100,0	psi
Ingrese resolución del sensor	11		
Numero de cuentas	2048		
Ingrese lectura del sensor en N° de cuentas	#IN	560	

Función de escalamiento

FC1			
ESCALADO PGF			
EN			ENO
560	IN		Ret_Val 1010
100,0	HI_LIM		
0,0	LO_LIM		Out 27,4
0	BIPOLAR		

VERIFICACIÓN DE ESCALADO

CORRECTO	INCORRECTO
A	F
1010	1111



Operación NORM_X

La operación permite normalizar el valor de la entrada "Value" mapeando en una escala lineal.

- Los parámetros Min y Max sirven para definir los límites de un rango de valores que se refleja en la escala.
- En función de la posición del valor que se debe normalizar en este rango de valores, el resultado se calcula en la salida Out y se deposita como número de coma flotante.
- Si el valor que se debe normalizar es igual al valor de la entrada Min, la salida adopta el valor 0,0.
- Si el valor que se debe normalizar adopta el valor de la entrada Max, la salida Out devuelve el valor 1,0

Operación SCALE_X

SCALE_X		
Real to Real		
En	Out	End
0,0		27,4
0,273	Value	
100,0	Max	

Max
 Out
 Min
 0,0 1,0
 Value

Esta operación permite escalar el valor de entrada Value, mapeándolo en un determinado rango de valores

Al ejecutar la operación “Escalar”, el número de coma flotante de la entrada Value se escala al rango de valores definidos por los parámetros Min y Max.

El resultado de la escala es un número entero que se deposita en la salida Out

Operación OUT_RANGE

OUT_RANGE		
Real		
En	Out	End
0		1
27,4	Val	
100,0	Max	

La operación “Valor fuera de rango”, permite consultar si el valor de la entrada Val está fuera de un determinado rango de valores.

Los límites del rango de valores se determinan mediante los parámetros Min y Max.

Al procesar la consulta, la operación compara el valor de la entrada Val con los parámetros Min y Max, y transfiere el resultado a la salida del cuadro

Si el valor de la entrada Val cumple con la comparación $Min > Val$ o $Val < Max$, la salida del cuadro devuelve el estado lógico 1.

Si no cumple la comparación, la salida del cuadro devuelve el estado lógico 0

Operación LIMIT

LIMIT		
Real		
En	Out	End
0,0		27,3
27,4	In	
100,0	Max	

La operación “Ajustar valor limite”, permite limitar el valor de la entrada IN a los valores de las entradas Min y Max.

Si el valor de la entrada IN cumple con la condición $Min < IN < Max$, se recibe en la salida OUT.

Si no se cumple la condición y el valor de entrada rebasa por defecto el limite inferior, la salida adopta el valor de entrada Min.

Si el limite superior se rebasa por exceso, la salida OUT adopta el valor de la entrada Max