

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE MAESTRÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
AGRÍCOLA



TESIS

**DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA EL DISEÑO
BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE JULIACA REGIÓN
PUNO**

PRESENTADA POR:

ELMER RODRIGO AQUINO LARICO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS

DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA EL DISEÑO
BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE JULIACA REGIÓN
PUNO

PRESENTADA POR:

ELMER RODRIGO AQUINO LARICO

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

.....
Dr. JOSÉ JUSTINIANO VERA SANTAMARÍA

PRIMER MIEMBRO

.....
M. Sc. ROBERTO ALFARO ALEJO

SEGUNDO MIEMBRO

.....
M. Sc. FLAVIO ORTIZ CALCINA

ASESOR DE TESIS

.....
M. Sc. OSCAR RAÚL MAMANI LUQUE

Puno, 20 de diciembre de 2017

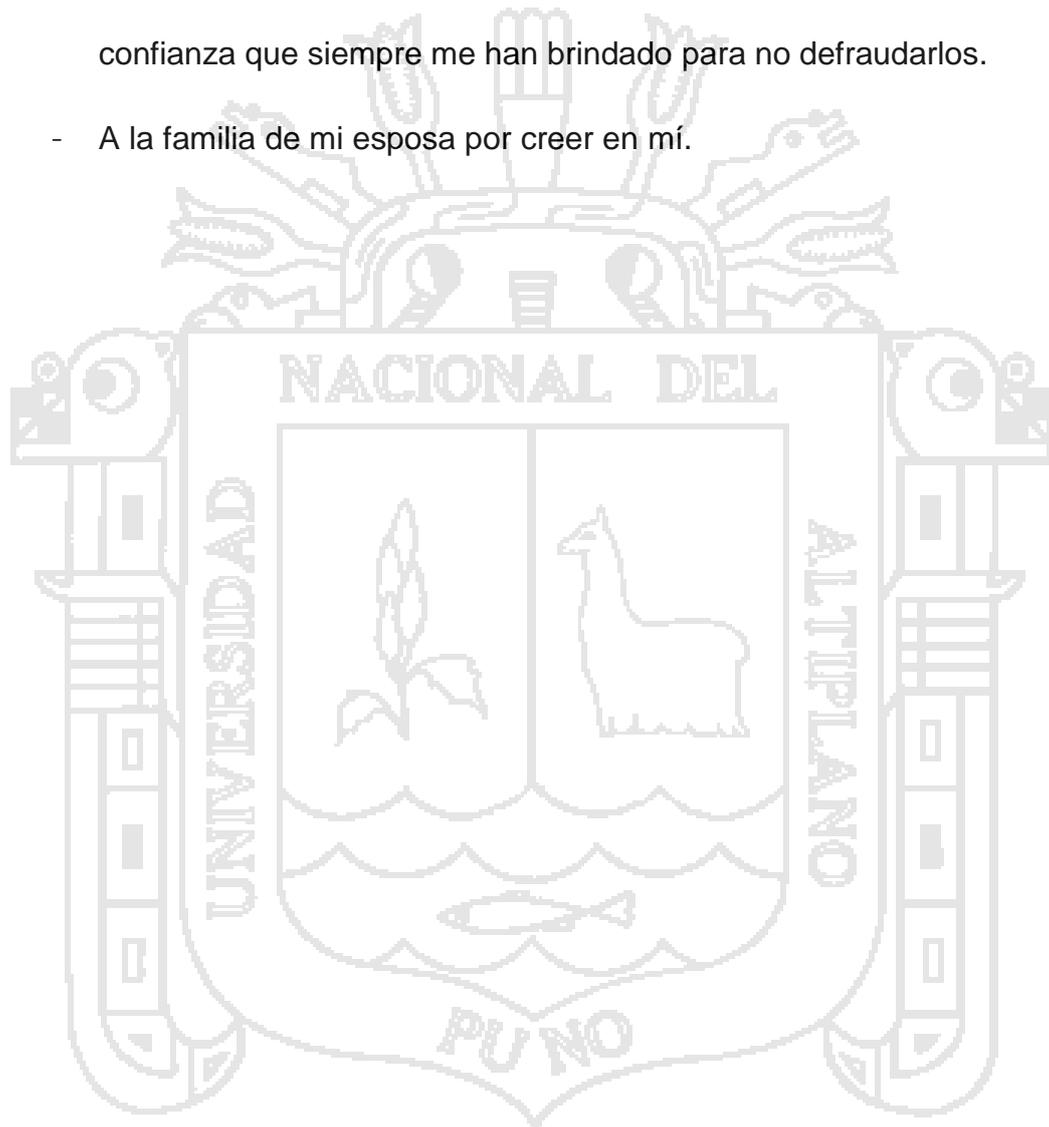
ÁREA: Conservación del medio ambiente.

TEMA: Determinación de la energía solar para el del diseño bioclimático de viviendas.

LÍNEA: Incremento del desempeño ambiental de procesos para desarrollar industrias limpias y no contaminadas.

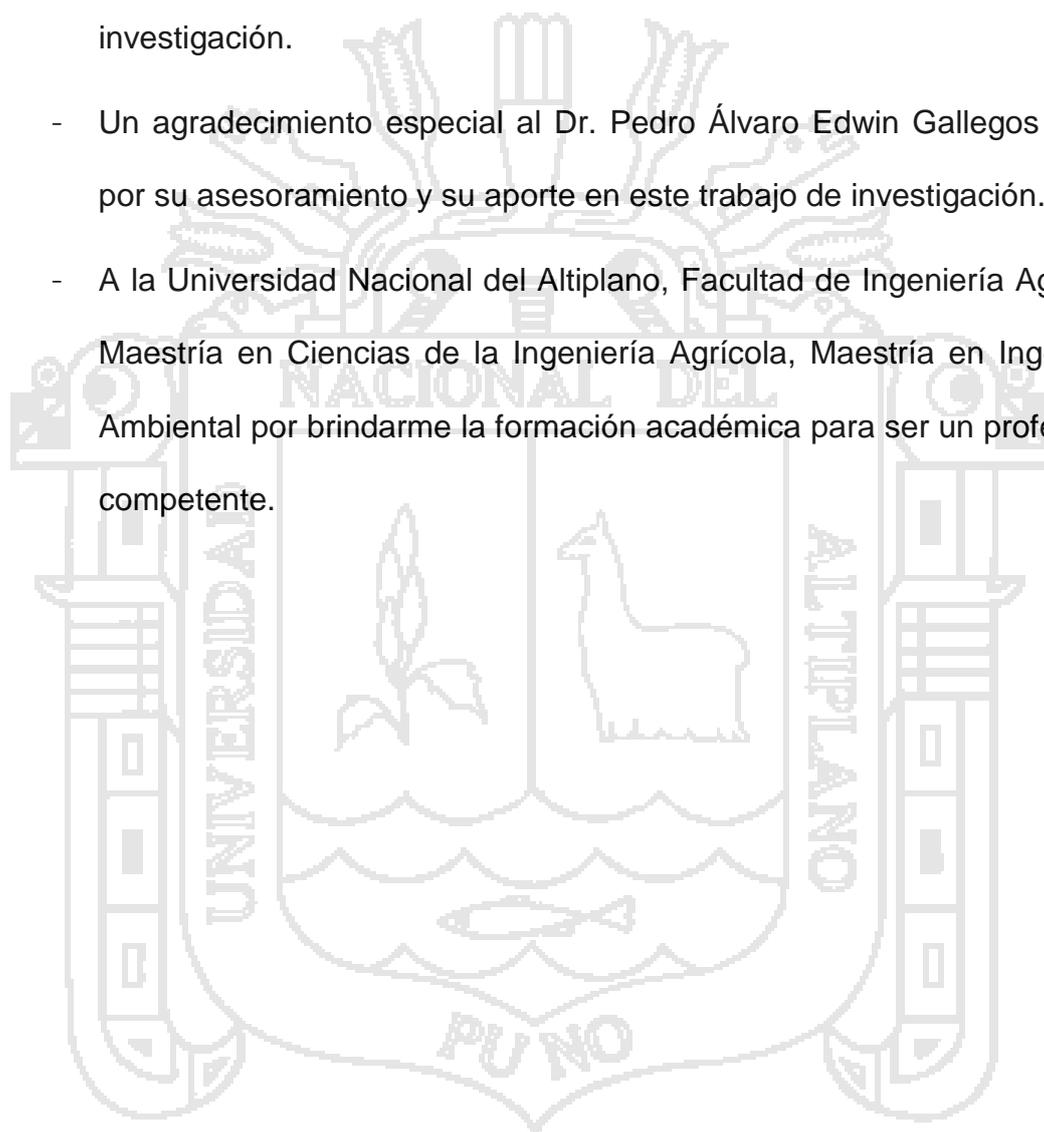
DEDICATORIA

- A mis dos tesoros mi esposa Nery Karen y mi hija Valeska Killary, porque son mis dos tesoros más preciosos y valiosos para seguir adelante, que siempre están a mi lado apoyándome.
- A mis padres y hermana por el esfuerzo inicial que dieron por mí y la confianza que siempre me han brindado para no defraudarlos.
- A la familia de mi esposa por creer en mí.



AGRADECIMIENTOS

- Mis reconocimientos especiales a mi jurado calificador: Dr. José Justiniano Vera Santamaría, M. Sc. Roberto Alfaro Alejo y al M. Sc. Flavio Ortiz Calcina por su orientación y al M. Sc. Oscar Raúl Mamani Luque por su asesoramiento y el apoyo que me brindo en el presente trabajo de investigación.
- Un agradecimiento especial al Dr. Pedro Álvaro Edwin Gallegos Pasco por su asesoramiento y su aporte en este trabajo de investigación.
- A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Agrícola, Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola, Maestría en Ingeniería Ambiental por brindarme la formación académica para ser un profesional competente.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I	
PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1.1 Descripción del Problema.....	3
1.1.2 Formulación del Problema.....	4
1.1.2.1 Problema General.....	4
1.1.2.2 Problema Específico.....	4
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.2.1 Justificación Técnica.....	4
1.2.2 Justificación Económica	5
1.2.3 Justificación Social	5
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 HIPÓTESIS.....	6
1.4.1 Hipótesis General	6
1.4.2 Hipótesis Específicas.....	6
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	
2.1 ANTECEDENTES.....	7
2.2 MARCO REFERENCIAL.....	11
2.2.1 Energías Renovables	11
2.2.2 Energía Solar.....	13

2.2.2.1	Historia.....	14
2.2.2.2	Principio de funcionamiento	15
2.2.2.3	Energía Solar Fotovoltaica.....	16
2.2.2.4	Fotovoltaico (PV)	16
2.2.2.5	Funcionamiento de un Sistema Fotovoltaico	18
2.2.2.6	Célula Fotovoltaica	18
2.2.2.7	Curva de Operación de un Célula Fotovoltaica.....	20
2.2.2.8	Paneles Solares Fotovoltaicos.....	20
2.2.2.9	Matrices o Arrays	21
2.2.2.10	Energía Solar Térmica	22
2.2.2.11	Sistema térmico solar de alta temperatura.....	22
2.2.2.12	Sistema térmico solar de baja temperatura.....	23
2.2.3	Componentes básicos de la Energía Solar.....	24
2.2.3.1	Declinación Angular (δ).....	24
2.2.3.2	Angulo Horario (ω).....	25
2.2.3.3	Angulo de Azimut Solar (γ).....	26
2.2.3.4	Latitud (ϕ).....	27
2.2.4	Calefacción solar	27
2.2.4.1	Sistema Solar Térmico.....	27
2.2.4.2	Sistema Solar Pasivo.....	29
2.2.4.3	Colector Solar Plano	31
2.2.5	Suelo Radiante	32
2.2.5.1	Características del Piso Radiante	33
2.2.5.2	Ventajas del Suelo Radiante.....	34
2.2.5.3	Desventajas del Suelo Radiante:.....	35
2.2.6	Radiación Solar	35
2.2.6.1	Radiación Directa.....	36
2.2.6.2	Radiación Difusa.....	36
2.2.6.3	Radiación Reflejada.....	36
2.2.6.4	Radiación Total	37
2.2.7	Irradiación solar	37
2.2.8	Arquitectura Bioclimática	39
2.2.8.1	Orientación.....	40
2.2.8.2	Aislamiento Térmico.....	40
2.2.8.3	Energía solar térmica y fotovoltaica en viviendas	41

2.2.9 Sistema de Control	42
2.2.9.1 Variable Controlada y Variable Manipulada	43

CAPÍTULO III

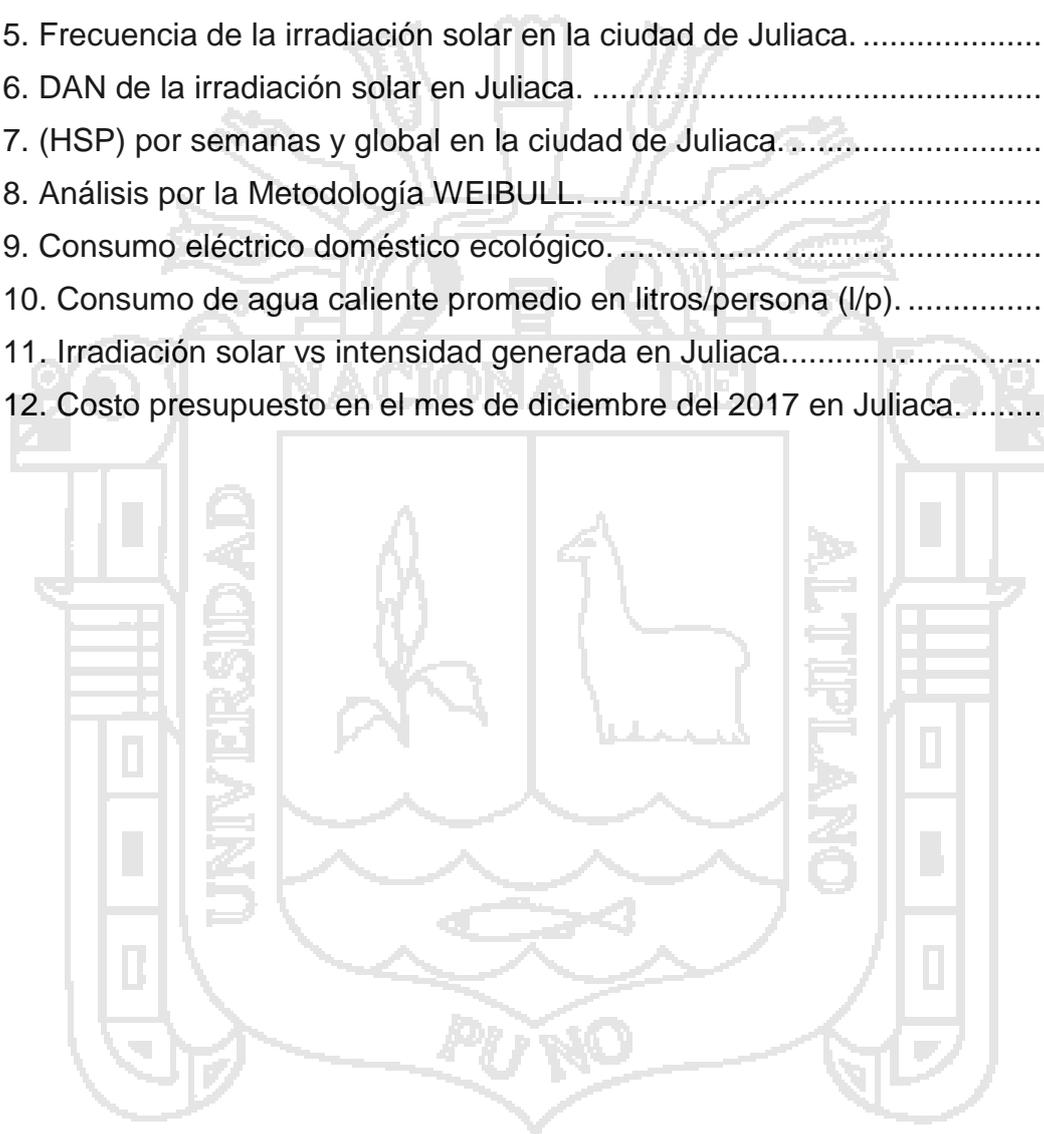
METODOLOGÍA

3.1 CONTENIDO Y DESARROLLO	45
3.2 CARACTERÍSTICA DE LA ZONA	46
3.2.1 Ámbito de Estudio	46
3.2.2 Ubicación Geográfica	46
3.2.3 Ubicación Política y Límites	46
3.2.4 Características Climatológicas de la Zona	47
3.3 MUESTRA Y POBLACIÓN	48
3.4 PROCEDIMIENTO INICIAL DEL PROCESO	48
3.4.1 Información Básica	48
3.5 DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR	49
3.5.1 Método de Distribución	49
3.5.2 Análisis de Distribución por la Metodología Weibull	57
3.5.3 Utilizando el software SPSS STADISTIC	59
3.6 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO, TÉRMICO PARA LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA	62
3.6.1 Diseño y Montaje del Módulo Solar Fotovoltaico	62
3.6.1.1 Panel Solar Fotovoltaico	62
3.6.1.2 Regulador de Carga	62
3.6.1.3 Batería Solar	63
3.6.1.4 Inversor	63
3.6.1.5 Estructura Metálica	63
3.6.2 Diseño y Montaje del Colector Solar Térmico	64
3.6.2.1 Tubos de Vacío	64
3.6.2.2 Reservorio	65
3.6.2.3 Estructura Metálica	65
3.6.3 Sistema de Control y Accionamiento del Proceso	65
3.6.3.1 Controlador Lógico Programable (PLC) Modicon TM241 ...	65
3.6.3.2 Sensor de Temperatura Analógico PT-100	66
3.6.3.3 Variador de Frecuencia Solar	67
3.6.3.4 Electrobomba Centrifuga Trifásica	67
3.7 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDAS	68

3.7.1 Metodología de cálculo del Módulo Solar Fotovoltaico.....	68
3.7.1.1 Calculo de Inclinación del Panel Solar Fotovoltaico	68
3.7.1.2 Calculo de Potencia del Panel Solar Fotovoltaico	71
3.7.1.3 Regulador de Carga, Batería, Inversor y Variador.....	74
3.7.2 Dimensionamiento del Colector Solar de Tubos de Vacío.....	75
3.7.3 Diseño Bioclimático de da Vivienda Doméstica en la Ciudad de Juliaca	76
3.7.3.1 Dimensionamiento del Suelo Radiante	79
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1 LA ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE JULIACA.....	82
4.1.1 Variables de la Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en la ciudad de Juliaca	82
4.2 COMPORTAMIENTO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR PROMEDIO	85
4.2.1 Comportamiento de la Irradiación Solar Promedio Global/día.....	85
4.2.2 Comportamiento de La Irradiación Solar Promedio por semana	86
4.2.3 Comportamiento de la irradiación solar considerando las horas sol pico (hsp) por mes.....	88
4.2.4 Irradiación Solar en (HSP) por semana en kWh/M2/d.....	89
4.2.5 Comportamiento de la Irradiación Solar promedio Global/día	90
4.2.6 Horas Sol Pico (HSP) en la ciudad de Juliaca.....	90
4.3 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DURANTE EL DÍA.....	91
4.3.1 Comportamiento de la temperatura en el día durante el mes.....	91
4.4 COMPORTAMIENTO DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO FRENTE A LA IRRADIACIÓN SOLAR DE UN DÍA.....	92
4.5 COMPORTAMIENTO DEL SUELO RADIANTE DEL MODULO EXPERIMENTAL DE LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA	95
4.6 COSTO DE INVERSIÓN.....	98
4.7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	99
4.7.1 Irradiación Solar y Horas Sol Pico en la ciudad de Juliaca.....	99
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFÍA	107
ANEXOS	111

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Límites del distrito de Juliaca.	46
2. Equipos utilizados en el proceso de investigación.	48
3. Irradiación solar promedio de julio a setiembre del 2017 en Juliaca.	49
4. Funciones estadísticas a utilizar.	51
5. Frecuencia de la irradiación solar en la ciudad de Juliaca.	51
6. DAN de la irradiación solar en Juliaca.	53
7. (HSP) por semanas y global en la ciudad de Juliaca.	56
8. Análisis por la Metodología WEIBULL.	57
9. Consumo eléctrico doméstico ecológico.	71
10. Consumo de agua caliente promedio en litros/persona (l/p).	75
11. Irradiación solar vs intensidad generada en Juliaca.	92
12. Costo presupuesto en el mes de diciembre del 2017 en Juliaca.	98



ÍNDICE DE FIGURAS

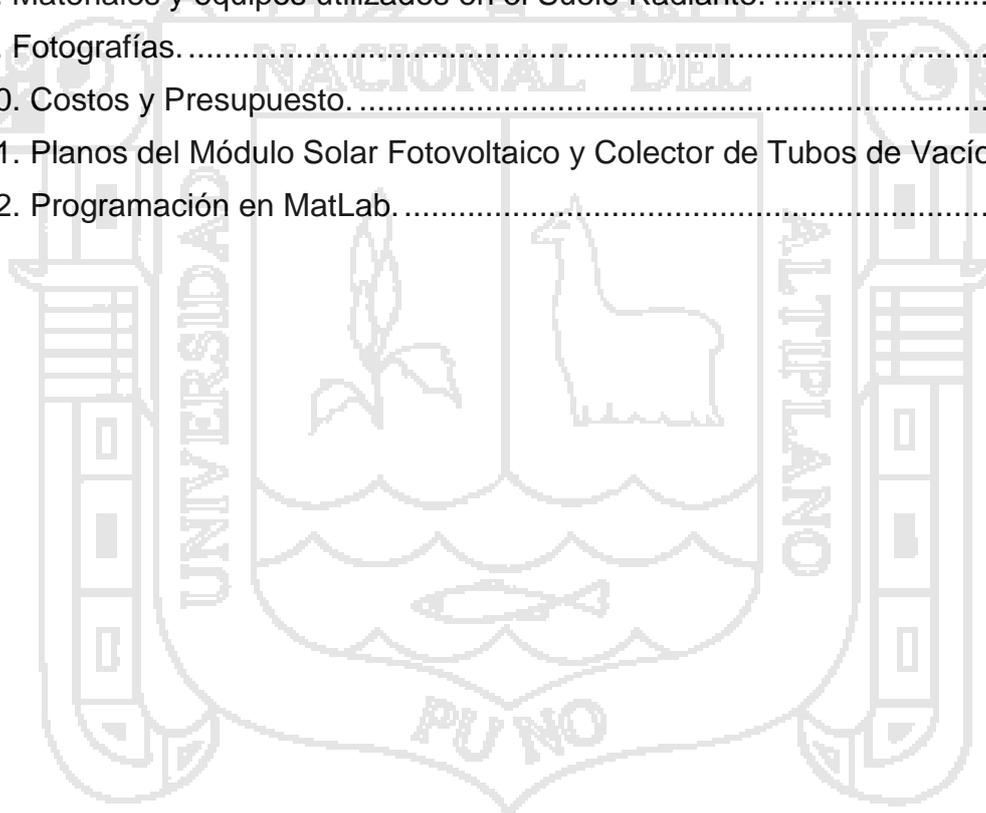
	Pág.
1. Estructura de despacho en el Perú.....	12
2. Recurso Renovable y no Renovable.....	13
3. Calefacción Solar y Fotovoltaica.....	14
4. Principio de funcionamiento solar térmico.....	16
5. Potencial Fotovoltaico (PV) instalado en Europa MW.....	17
6. Potencial Fotovoltaico (PV) instalado en el Mundo MW.....	18
7. Célula Solar convencional de Silicio Cristalino.....	19
8. Curva de Operación de un sistema Fotovoltaico.....	20
9. Célula, Modulo y Sting.....	21
10. Módulos Solares Fotovoltaicos.....	22
11. Max. Y min. Valor declinación angular.....	25
12. Ilustración de la ruta solar en periodo del año.....	25
13. Angulo Horario en un punto.....	26
14. Definición del Angulo de Azimut del sol.....	26
15. Suelo Radiante, (a) Capas (b) Sección Transversal.....	27
16. Concentrador Solar.....	28
17. Colector Solar Plano.....	29
18. Potencial Fotovoltaico PV instalado en el Mundo Mw.....	29
19. Colectores Planos.....	31
20. Vivienda instalada con suelo radiante.....	32
21. Instalación de un Sistema por Suelo Radiante.....	33
22. Corte Transversal de un Suelo Radiante.....	34
23. Componentes de la Radiación Solar.....	37
24. Espectro de irradiación solar sobre la atmosfera.....	38
25. Componentes de la Irradiación Solar.....	39
26. Modelo Físico del Sistema.....	41
27. Ventilación Natural.....	42
28. Modelado de Procesos.....	42
29. Sistema de Control de Lazo Abierto.....	43
30. Sistema de Control de Lazo Abierto.....	44
31. Sistema de Control de Lazo Cerrado.....	44
32. Sistema de Control de Lazo Cerrado.....	44

33. Esquema de Metodología Utilizada.....	45
34. Temperatura anual de Juliaca, Estación Juliaca.....	47
35. Distribución Simétrica y Asimétrica Negativa – Positiva.	50
36. Frecuencia de la Irradiación Solar en Juliaca.	52
37. Aproximación por distribución Asimétrica Negativa y Polinómica.	53
38. Intervalo de tiempo de Horas Sol Pico (HSP).	55
39. Horas Sol Pico promedio en Juliaca.	55
40. Hora Sol Pico promedio en Juliaca, MATLAB.....	56
41. Aproximación por distribución WEIBULL.	58
42. Aproximación por distribución WEIBULL SOFT.....	59
43. Análisis estadístico, SPSS.....	60
44. Prueba de Komogorov-Smirnov.....	60
45. Prueba de Asimetría Negativa o Positiva.....	61
46. Histograma de frecuencia de Irradiación Solar.....	61
47. Modulo Solar Fotovoltaico instalado en Juliaca.....	64
48. Colector Solar Térmico instalado en Juliaca.....	65
49. Controlador Lógico programable, Modicon TM241.....	66
50. Sonda de Temperatura PT-100.....	66
51. Variador de Frecuencia Solar.....	67
52. Electrobomba Centrifuga Trifásica.....	67
53. Ángulos de Inclinação del panel solar para diferentes latitudes.....	69
54. Ángulos de inclinación de paneles solares en las 4 estaciones.....	70
55. Orientación de los Módulos para los equinoccios.....	71
56. Hora Sol Pico promedio en Juliaca.....	73
57. Orientación de la vivienda Bioclimática.....	77
58. Muro Trombe en el diseño Bioclimático.....	77
59. Invernadero Adosado.....	78
60. Sistema de Calefacción Solar.....	78
61. Suelo Radiante con tuberías de Cu 3/8”.....	79
62. Aislante de Suelo Radiante.....	80
63. Colocando en Machihembrado.....	80
64. Instalación Hidráulica del sistema radiante.....	81
65. Irradiación Solar anual global Wh/m2.....	83
66. Energía Solar Incidente diaria promedio anual.....	84

67. Irradiación Solar global, realizado en los meses de julio a setiembre considerando la medición desde las 6:00 hasta las 17:00 horas.	85
68. Irradiación Solar promedio global, realizado en los meses de julio a setiembre considerando la medición desde las 6:00 hasta las 15:00 horas. ...	86
69. Irradiación Solar global por semana realizado en los meses de julio, agosto y setiembre medidos desde las 6:00 hasta las 17:00 horas.....	87
70. Irradiación Solar global por semana, realizado en los meses de julio, agosto y setiembre medido desde las 6:00 hasta las 15:00 horas.	87
71. Irradiación Solar promedio mensual por día.	88
72. Irradiación Solar promedio mensual por día determinado las HSP.....	89
73. Irradiación Solar en HSP por semana desde las 9:00 - 15:00 horas.....	89
74. Distribución Asimétrica Negativa para las HSP.....	90
75. Temperatura por día en los meses julio, agosto y setiembre.....	91
76. Temperatura promedio por día, promedio global.	91
77. Esquema de conexión de un sistema solar Fotovoltaico.	93
78. Intensidad vs Irradiación Solar de un módulo Fotovoltaico de 100W.....	94
79. Histograma de Temperatura en un día soleado y nublado.	94
80. Comportamiento de la Temperatura con y sin Suelo Radiante.....	95
81. Diagrama de Givoni, Zona de Confort.....	96
82. Comportamiento de la electrobomba usando Suelo Radiante.....	97
83. Variación de la Incidencia Solar diaria.	99
84. Insolación diaria en el mes de febrero.	100
85. Incidente Radiación Solar por el Satélite NOAA.	101
86. Influencia por la inclinación por tres días en Ajjacio.....	102
87. Flujo de aire por aplicación de RFHS.....	103
88. Modulo experimental del Suelo Radiante.....	104
89. Temperatura interior y exterior con modelo TF.	104

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Cuadro de Temperaturas durante los meses de Julio a Setiembre 2017. .	112
2. Comportamiento de la Temperatura en la habitación experimental utilizando suelo Radiante.	113
3. Medidor de Irradiación Solar (Solarímetro MAC – SOLAR SLM018c).	114
4. Pinza Amperimétrica FLUKE 375.....	116
5. Programación del Controlador (PLC), para la verificación de la Temperatura.	117
6. Placa Característica del Panel Solar Fotovoltaico.....	117
7. Tabla de cálculo de equivalencias de KWH a CO2 del Gobierno de Aragón - España.....	118
8. Materiales y equipos utilizados en el Suelo Radiante.	118
9. Fotografías.....	119
10. Costos y Presupuesto.....	131
11. Planos del Módulo Solar Fotovoltaico y Colector de Tubos de Vacío.....	132
12. Programación en MatLab.....	132



RESUMEN

El objetivo de este trabajo de investigación es determinar el comportamiento de la energía solar para el diseño bioclimático de viviendas; aprovechando las bondades del potencial de la energía solar en la ciudad de Juliaca para dos sistemas: solar Fotovoltaico para la generación de energía eléctrica y solar Térmico para el calentamiento de agua orientados al norte geográfico con un ángulo de inclinación considerando la latitud y usarlo en el suelo radiante donde se obtuvo el confort térmico durante el día. En el desarrollo de este proyecto de investigación se ha hecho la medición diaria durante tres meses de la Irradiación Solar con un instrumento de medición solar Solarímetro MAC-SOLAR SLM018c-2; donde se determinó un valor promedio de 1110.04 W / m^2 siendo las Horas Sol Pico (HSP) de $6.632 \text{ kWh / m}^2 / \text{d}$ y una temperatura promedio de 34.04°C , siendo el intervalo tiempo óptimo desde las 9:00 hasta las 15:00 horas para el aprovechamiento máximo en (HSP) de la energía solar durante el día, que nos ha permitido modelar el comportamiento la energía solar para el diseño sistemas fotovoltaicos y térmicos. Además, se ha construido un módulo experimental de suelo radiante en una habitación donde recircula el agua caliente manteniendo el ambiente a una temperatura promedio de 20.93°C desde las 6:00 a 21:00 determinándose la curva de temperatura obteniendo un confort adecuado. Finalmente usando el Panel Solar Fotovoltaico de 100W, se determinó la potencia consumida durante el día de la electrobomba de realimentación del suelo radiante de 406.72 Wh / d , equivalente a 148.45 kWh / Año , comparando con las emisiones de CO_2 equivale a 57.15kg de CO_2 , permitiendo reducir la contaminación ambiental.

Palabras Claves: Energía solar, fotovoltaica, irradiación solar, radiante, térmica y vivienda bioclimática.

ABSTRACT

The objective of this research work is to determine the behavior of solar energy for the bioclimatic design of houses; taking advantage of the potential benefits of solar energy in the city of Juliaca for two systems: solar photovoltaic for the generation of electric power and solar thermal for warming water oriented to the geographical north with an angle of inclination considering the latitude and using it in the radiant floor where thermal comfort was obtained during the day. In the development of this research project the daily measurement for three months of the Solar Irradiation has been made with a solar measuring instrument Solarimeter MAC-SOLAR SLM018c-2; where an average value of 1110.04 W / m^2 was determined being the Peak Sun Hours (HSP) of $6,632 \text{ kWh / m}^2 / \text{d}$ and an average temperature of 34.04°C , with the optimum time interval from 9:00 to 15:00 hours for the maximum use in (HSP) of solar energy during the day, which has allowed us to model the behavior of solar energy for the design of photovoltaic and thermal systems. In addition, an experimental radiant floor module has been built in a room where hot water is recirculated maintaining the environment at an average temperature of 20.93°C from 6:00 a.m. to 9:00 p.m., determining the temperature curve obtaining adequate comfort. Finally using the 100W Photovoltaic Solar Panel, the power consumed during the day of the radiant floor feedback pump of 406.72 Wh / d , equivalent to $148.45 \text{ kWh / Year}$, was determined, compared to CO_2 emissions equivalent to 57.15kg of CO_2 , allowing to reduce environmental pollution.

Keywords: Bioclimatic housing, photovoltaic, radiant, solar energy, solar irradiation and thermal.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación refiere al tema de la determinación de la energía solar para el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca, donde en primera parte se detalla el problema de la investigación referente a los problemas del frío en la ciudad de Juliaca, y al diseño bioclimático de viviendas con sistemas fotovoltaicos y térmicos en la ciudad de Juliaca.

Seguidamente se detalla un marco teórico que aborda temas de energía solar fotovoltaica (paneles solares fotovoltaicos) y térmica (colector solar de tubos de vacío), irradiación solar, Angulo de inclinación solar, Angulo horario, diseño bioclimático y suelo radiante; para después seguir con la metodología de la investigación utilizando la información obtenida durante tres meses de investigación de irradiación solar y temperatura, llevándolo a un análisis estadístico de distribución asimétrica negativa para aproximar la curva de aprovechamiento máximo solar y obteniendo un modelo matemático.

Continuando con la investigación, estos resultados se aplican en la construcción experimental de un sistema solar Fotovoltaico y Térmico, además de implementar una habitación experimental en la ciudad de Juliaca donde se instala un suelo radiante logrando obtener un confort adecuado.

Se detallan los resultados obtenidos en gráficos de irradiación solar, Horas Sol Pico (HSP) y Temperatura para un mejor análisis comparativo.

Finalmente terminamos determinando el comportamiento de la energía solar en función a la Irradiación Solar (HSP) con el cual se ha diseñado el sistema fotovoltaico y térmico para una vivienda bioclimática con suelo radiante

obteniéndose resultados favorables de confort térmico comparados con la Norma Técnica Peruana y el diagrama Psicométrico de Givoni.



CAPÍTULO I

PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1 Descripción del Problema

La energía solar que existe en nuestro medio se puede aprovechar en dos formas principalmente: la energía solar fotovoltaica para la generación de energía eléctrica y la térmica para el calentamiento de agua, que usando estas dos formas de energía en el diseño de viviendas bioclimáticas sería muy provechosa en la ciudad de Juliaca por las temperaturas muy bajas que posee y así tener una confort adecuado; además de ser una fuente renovable inagotable y limpia que no contamina al medio ambiente; donde se observa una irradiación solar promedio en Malasia de $1004\text{w}/\text{m}^2$ dentro de la Atmosfera (Affandi, Ghani, Ghan, & Pheng, 2015), observando en Latino América en el país de Uruguay una irradiación solar de $1002\text{w}/\text{m}^2$ (Suárez, Abal, Musé, & Siri, 2014) y en la investigación que se hizo en el norte México con una irradiación solar máxima de $5\text{Kwh}/\text{m}^2/\text{día}$ (Matsumoto et al., 2014) que es suficiente para un buen funcionamiento de una agrupación de celdas solares fotovoltaicas, sistemas térmicos solares

y sistemas de confort que interactúan con el diseño viviendas bioclimáticas aprovechando la energía limpia y gratis. Todos los factores tecnológicos que se están usando en actualidad son de vital importancia por ser un sistema que ayuda a la conservación del medio ambiente y a que este sea sostenible.

1.1.2 Formulación del Problema

1.1.2.1 Problema General

¿En qué medida los diseños bioclimáticos de viviendas tienen relación con la determinación de la energía solar en la ciudad de Juliaca?

1.1.2.2 Problema Específico

- a. ¿Cuáles son las variables del uso de la energía solar fotovoltaica y térmica en el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca?
- b. ¿En qué medida la concentración de la energía solar para sistemas fotovoltaicos y térmicos se relaciona con la determinación del diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca?
- c. ¿En qué medida el confort climatizado de la temperatura se relaciona con el diseño bioclimático y costos de inversión de viviendas en la ciudad de Juliaca?

1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1 Justificación Técnica

Realizando la determinación óptima de la Irradiación Solar y construyendo un módulo experimental para aprovechar la energía solar en fuente de

generación eléctrica y térmica para el confort de viviendas bioclimáticas y así obtener la más adecuada tecnología obteniendo su máxima eficiencia de operación en la ciudad de Juliaca.

1.2.2 Justificación Económica

El estudio del comportamiento de la energía solar para su aprovechamiento en la ciudad de Juliaca, al inicio tendrá un costo elevado de implementación, pero una vez terminado será muy económico porque el costo de la energía eléctrica y térmica es complementemente gratis, llegándose a solventarse de manera autónoma.

1.2.3 Justificación Social

Con la investigación realizada se va a contribuir con el diseño y construcción de viviendas bioclimáticas en la ciudad de Juliaca usando energía solar renovable limpia para preservar el medio ambiente donde vivimos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Determinar el comportamiento de la energía solar para el diseño de viviendas bioclimáticas en la ciudad de Juliaca.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar las variables del comportamiento de la energía solar fotovoltaica y térmica en el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca.
- b) Analizar la relación existente del comportamiento de la energía solar con el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca.

- c) Evaluar los costos de inversión y el comportamiento de la temperatura de confort en el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca.

1.4 HIPÓTESIS

1.4.1 Hipótesis General

Las viviendas con el diseño bioclimático en la ciudad de Juliaca, se auto sostienen con la energía solar fotovoltaica y térmica llegando a determinar la irradiación solar óptima para un dimensionamiento adecuado de viviendas bioclimáticas en la ciudad de Juliaca.

1.4.2 Hipótesis Especificas

- a) Para el diseño de viviendas bioclimáticas en la ciudad de Juliaca, aprovechando la Energía Solar se necesita saber el comportamiento de Irradiación Solar, las Horas Sol Pico durante el día (HSP), la implementación de sistemas Fotovoltaicos, Térmicos orientados al norte geográfico con una inclinación de 16° nos permite el diseño bioclimático usando suelo radiante obteniendo un confort adecuado.
- b) Existe relación significativa del comportamiento de la energía solar fotovoltaica y térmica para el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca.
- c) La aplicación de esta nueva tecnología para el aprovechamiento de la energía solar, usando sistemas Fotovoltaicos y Térmicos nos permite diseñar viviendas bioclimáticas en la ciudad de Juliaca donde implementamos el suelo radiante obteniéndose así un confort adecuado a una temperatura promedio de 21°C , donde el costo de inversión de la implementación de esta tecnología es elevado, pero con el pasar del tiempo está llegando a reducir sus costos siendo accesible.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

Hoy en día, las energías renovables representan más del 20% de la generación total de electricidad en todo el mundo, y la solar ocupa el cuarto lugar después de la hidroeléctrica, la bioenergía y el viento. La mayoría de las tecnologías de energía solar en el mercado hoy en día se basan en el "efecto fotovoltaico", por lo que una corriente eléctrica se produce en un material cuando se expone a la luz. La energía solar podría representar entre el 8 y el 15% de la electricidad mundial en 2050, dependiendo de factores como la demanda del mercado, la política energética, los costes de fabricación y avances tecnológicos. La principal preocupación es que, a corto y medio plazo, las fuentes de energía renovables no pueden ser una alternativa completa. Las tecnologías renovables son ventajosas debido a muchas razones: No contaminan, requieren un costo mínimo de producciones y la energía solar es inagotable (Bulei, Todor, Cornea, & Kiss, 2017).

Los edificios representan el 40% de las necesidades totales de energía primaria en la UE y son responsables del 30% de las emisiones de gases de efecto

invernadero. Esto se ve reforzado por la refundición de la Directiva, que especifica que para 2020 los edificios deberían tener un consumo casi nulo de energía, produciendo la mayor parte de la energía que consumen. Por lo tanto, el desarrollo de alternativas energéticas eficaces para los edificios es imprescindible. La energía en los edificios se utiliza principalmente para la calefacción y refrigeración y para el suministro de agua caliente. Una forma de reducir la dependencia de los combustibles fósiles es mediante el uso de fuentes y sistemas de energía renovable. Muchos arquitectos, independientemente de los posibles beneficios, se oponen a este uso de los sistemas de energía renovable debido a este solo hecho (Notton, 2017).

Debido a la importancia de los factores tecnológicos con el comportamiento de la energía renovable solar fotovoltaica con el estudio de la investigación titulada: Investigación del desempeño comparativo de los módulos fotovoltaicos de silicio mono y poli-cristalinas para su uso en sistemas fotovoltaicos conectados a la red en los climas secos de (Edalati, Ameri, & Iranmanesh, 2015).

Realizando un trabajo que proporciona los datos actualizados sobre el comportamiento experimental de una planta de energía fotovoltaica conectada a la red de nueva creación en las condiciones climáticas semi-moderado y seca. Se midieron los valores de rendimiento y experimentales de la mc-Si y módulos de p-Si PV con características eléctricas y mecánicas casi similares, simulados y analizados durante doce meses de julio 2013 para poner fin en junio 2014, al mismo tiempo y en las mismas condiciones.

En relación a este trabajo de (Hartner, Ortner, Hiesl, & Haas, 2015), titulado: Este a oeste - El ángulo de inclinación óptima y la orientación de los paneles fotovoltaicos desde una perspectiva del sistema eléctrico; se evalúa la

compensación entre las pérdidas energéticas y las posibles reducciones de costes del sistema para el status Q y para incrementar las acciones de PV en el sistema. El valor de mercado al por mayor de las reducciones de PV y de combustible potencial y coste de CO₂ a través de la implementación de PV para diversos ángulos de inclinación y orientaciones en 23 regiones de Austria y Alemania se analizó utilizando datos sobre los precios de la electricidad y por el uso de un modelo de despacho de electricidad para grandes acciones de PV.

Es importante mencionar que (Hands, Sethuvenkatraman, Peristy, Rowe, & White, 2016), desarrollo un trabajo titulado: Análisis de rendimiento y energía beneficios de un desecante basan sistema de trigeneración asistida solar en un edificio; donde un sistema de trigeneración solar a gran escala con desecante solar de aire acondicionado se ha instalado en un centro público en Australia. Los detalles del sistema, incluyendo los ajustes de control se han descrito en este documento. Para el período de análisis a partir de agosto 2012 hasta 07 2013, el agua caliente antes de la calefacción doméstica solar ha proporcionado en aproximadamente total de 47 600 kWh de energía, ahorro de 5 000 m³ de gas. Esto representa el 21% del uso total de energía para agua caliente sanitaria. Esto asciende a 9 300 kWh, el ahorro de 27,12 GJ de gas.

Considerando la energía solar como un recurso energético eficaz, económico y seguro, la Meseta de Qinghai-Tibet, la Meseta de Mongolia Interior y otras áreas de meseta que son ricas en recursos de energía solar tienen el potencial para desarrollar y utilizar recursos de energía solar a gran escala. Además, las tecnologías solares térmicas y fotovoltaicas han sido ampliamente aplicadas en los edificios de meseta debido al rápido desarrollo de las tecnologías de energía solar y la reducción gradual del costo de los equipos de utilización de energía

solar. Por lo tanto, ha estado atrayendo atenciones significativas para utilizar eficientemente los recursos de energía solar de meseta e integrarse económicamente con edificios de meseta de bajo consumo de energía en los últimos años (Si, Lv, Liu, Rong, & Feng, 2016).

En la última década, España fue uno de los países que más activamente promovieron la generación de electricidad con fuentes de energía renovables. Esto posicionó al país, en 2008 y 2009, como el primero en capacidad termo solar en el mundo (y cuarto en energía eólica) y uno de los principales productores de energía fotovoltaica. Durante este tiempo, la expansión de estas tecnologías fue impulsada por regulaciones bastante favorables (por ejemplo, el Real Decreto-Ley 661/2007), que incluía una serie de subsidios a las inversiones y un sistema para la estabilidad de los precios de venta. Sin embargo, los déficits presupuestarios del gobierno, junto con el déficit del sector eléctrico, provocaron una reversión progresiva de este tipo de políticas que antes habían sido los motores de las energías renovables (Carreño-Ortega, Galdeano-Gómez, Pérez-Mesa, & del Carmen Galera-Quiles, 2017).

Finalmente en relación a este último mencionamos a (Girard, Gago, Ordoñez, & Muneer, 2016), con su obra titulada: *Perspectivas energéticas de España: Una revisión del potencial fotovoltaico y la exportación de energía*; donde España ha hecho esfuerzos en apoyo y desarrollo de energía solar para la generación de energía eléctrica de una manera sostenible para cumplir con el futuro de la energía y sus retos ambientales relacionados. Sin embargo, se enfrenta en realidad desestabilizadora y sin crisis económica precedente, que han impulsado el gobierno para bloquear incentivos fotovoltaicos y frenar el crecimiento del

sector de la energía solar. Actualmente, la energía solar fotovoltaica no es un sector rentable por sí mismo. España puede jugar un papel clave en el mercado eléctrico con uno de los mejores recursos solares en Europa. Representaría claramente una solución sostenible para superar los retos medioambientales europeos.

En el ámbito local de la ciudad de Juliaca, se conoce muy poco sobre la energía renovables solar fotovoltaica y térmica, aunque en estos últimos años se ha ido masificando su uso en cuanto a la solar térmica en los colectores solares de tubo de vacío instalados en algunas viviendas, para lo cual el uso de la energía para el confort de viviendas bioclimatizadas es una necesidad que si se usara la energía convencional sería muy costosa, pero si usaríamos energía que se pueda renovar y gratis además de no contaminar a nuestro medio ambiente sería muy beneficioso para la ciudad de Juliaca y otras ciudades.

2.2 MARCO REFERENCIAL

2.2.1 Energías Renovables

Es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen o por ser capaces de regenerarse por medios naturales.

Hoy en día, la energía renovable tiene un papel controvertido en el desarrollo sostenible de los países. Por otra parte, un número creciente de países desarrollados y en desarrollo han establecido objetivos para este tipo de energía limpia con el fin de reducir los problemas ambientales de los recursos energéticos fósiles, tales como las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio climático y el calentamiento global. Muchas

fuentes de energía renovable, como la energía eólica, energía hidroeléctrica, energía solar, biomasa, biocombustibles, y energía geotérmica, que vienen ya sea directa o indirectamente del sol, son casi consideran ambientalmente amigable (Edalati et al., 2015).

En consideración su grado de desarrollo tecnológico y a su nivel de penetración en la matriz energética de los países, las Energías Renovables se clasifican en Energías Renovables Convencionales y Energías Renovables No Convencionales. Dentro de las primeras se considera a las grandes centrales hidroeléctricas; mientras que dentro de las segundas se ubica a las generadoras eólicas, solares fotovoltaicos, solares térmicas, geotérmicas, mareomotrices, de biomasa y las pequeñas hidroeléctricas.

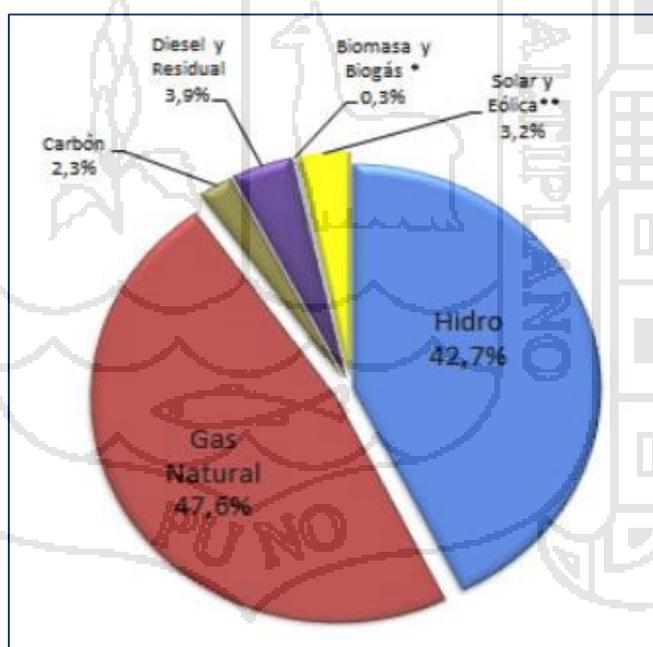


Figura 1. Estructura de despacho en el Perú.
Fuente: (COES-SINAC, 2017)

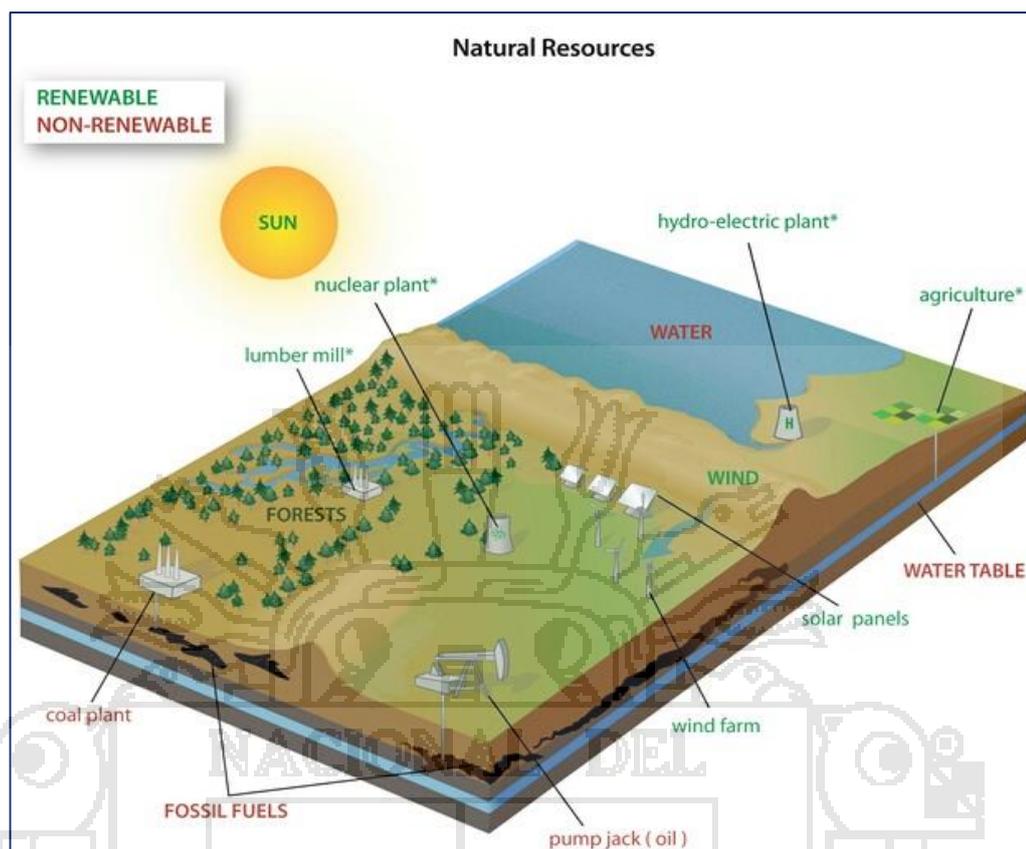


Figura 2. Recurso Renovable y no Renovable.

Fuente: (Plitnik, 2016)

2.2.2 Energía Solar

La energía solar es luz del sol que se ha convertido en energía de calor o electricidad. Los tres métodos de conversión más comunes son los sistemas pasivos, que recogen y almacenan la energía solar sin el uso de ninguna otra fuente de energía y utilizando pocas partes móviles; Sistemas activos que recogen y almacenan energía empleando energía eléctrica; Y los sistemas fotovoltaicos (PV), que convierten la luz solar en electricidad.

Tanto los sistemas pasivos como los activos utilizan el vidrio para admitir la luz solar y evitar que el calor se escape y la masa para almacenar el calor recogido. Los cuatro tipos de sistemas pasivos son ganancia directa, ganancia indirecta, ganancia adjunta y termosifón. Los sistemas activos recogen la luz solar directamente sobre superficies planas o usan

reflectores parabólicos para lograr altas temperaturas al enfocar la luz. Se puede utilizar aire o agua para transferir el calor del colector al almacenamiento (Plitnik, 2016).

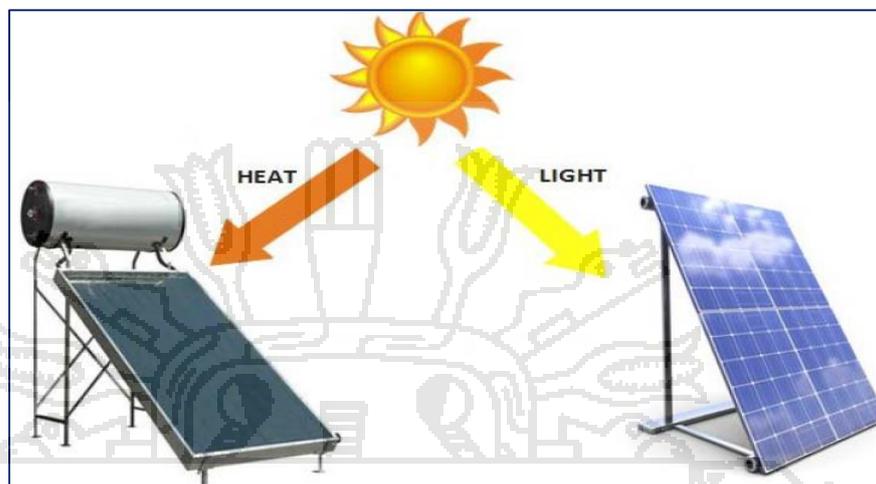


Figura 3. Calefacción Solar y Fotovoltaica.

Fuente: (Bulei et al., 2017)

2.2.2.1 Historia

La energía solar siempre ha proporcionado, directa o indirectamente, virtualmente toda la energía de la humanidad. Los hogares griegos antiguos estaban orientados hacia el sur, y la arquitectura china temprana incorporaba el diseño solar para calentar los espacios interiores. En el primer siglo antes de nuestra era, Roma había añadido ventanas de cristal a los diseños solares griegos para atrapar el calor, creando así el primer verdadero diseño solar pasivo. El sol también se utilizaba para calentar el agua que entraba en los inmensos baños públicos indígenas de la sociedad romana. Después de la caída de Roma, la arquitectura solar fue olvidada hasta el siglo XVI, cuando los invernaderos fueron utilizados para cultivar frutas exóticas y verduras en el norte

de Europa. En el siglo XVIII, las grandes ventanas de cristal permitieron la construcción de mejores invernaderos, que se convirtieron en el siglo XIX en conservatorios ostentosos para exhibir plantas exóticas (Shamshirband, Mohammadi, Piri, Petković, & Karim, 2016).

2.2.2.2 Principio de funcionamiento

Aunque menos de la mitad de la radiación solar que llega a la Tierra está disponible para el uso humano (algunos son absorbidos por la atmósfera, la tierra y los océanos, y algunos son irradiados de vuelta al espacio), esta cantidad es lo suficientemente prodigiosa para proveer toda la energía humana Necesidades si pudiera ser capturado eficientemente. Debido a que la radiación solar es diluida y no continua, son necesarias grandes áreas de colector, y los dispositivos de almacenamiento deben estar integrados. Los sistemas fotovoltaicos convierten la radiación directamente en electricidad, y las unidades solares térmicas recogen energía para espacios interiores o calentamiento de agua. Los sistemas pasivos convierten la luz solar directamente en calefacción de espacio interior, y los sistemas de calefacción activos requieren electricidad para alimentar bombas o ventiladores. Los sistemas activos se pueden subdividir en los que utilizan los colectores estacionarios del panel plano y los que enfocan los rayos solares entrantes para alcanzar temperaturas lo suficientemente altas como para crear vapor (Evola & Marletta, 2015).

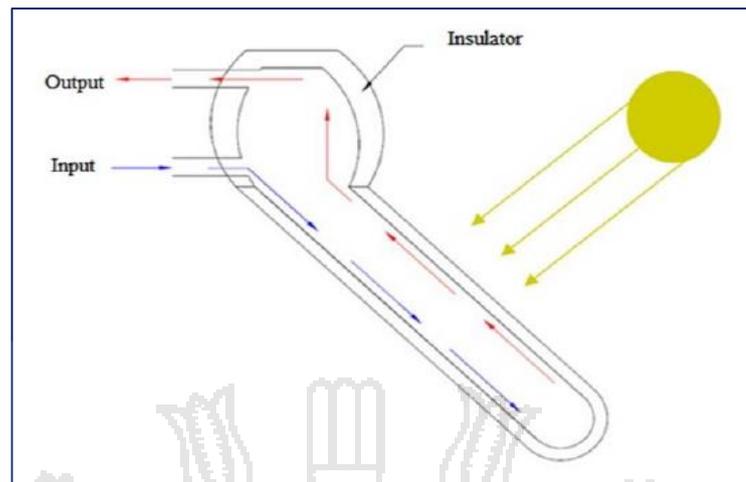


Figura 4. Principio de funcionamiento solar térmico.
Fuente: (Torshizi & Mighani, 2017)

2.2.2.3 Energía Solar Fotovoltaica

Hay dos formas de convertir la energía solar en energía eléctrica; un sistema que utiliza tecnología fotovoltaica y otro que utiliza sistemas de calentamiento por captura solar. En el sistema fotovoltaico, los semiconductores convierten directamente los rayos del sol en electricidad. Además, en el método de calentamiento, la energía eléctrica a través de los procesos termodinámicos, con ayuda de equipos de intercambio de calor, se puede convertir en energía mecánica. Estos dos métodos son centralizados y no centralizados. El método fotovoltaico conduce a más inversiones. Sin embargo, en los últimos años con los avances en el campo de la energía solar, los métodos térmicos se utilizan para el suministro de energía (Torshizi & Mighani, 2017).

2.2.2.4 Fotovoltaico (PV)

La fotovoltaica (PV), o células solares, son dispositivos semiconductores que convierten la energía solar en electricidad de

corriente continua (CC). Los grupos de células fotovoltaicas están configurados eléctricamente en módulos y matrices, que pueden utilizarse para cargar baterías o alimentar una variedad de cargas eléctricas. Con el equipo de conversión de potencia adecuado, los sistemas fotovoltaicos pueden producir corriente alterna (AC) compatible con aparatos convencionales y pueden funcionar en paralelo e interconectados con la red eléctrica. Esto ha hecho de la tecnología fotovoltaica una opción de energía renovable fuertemente promovida en todo el mundo (Wakulat, 2016).

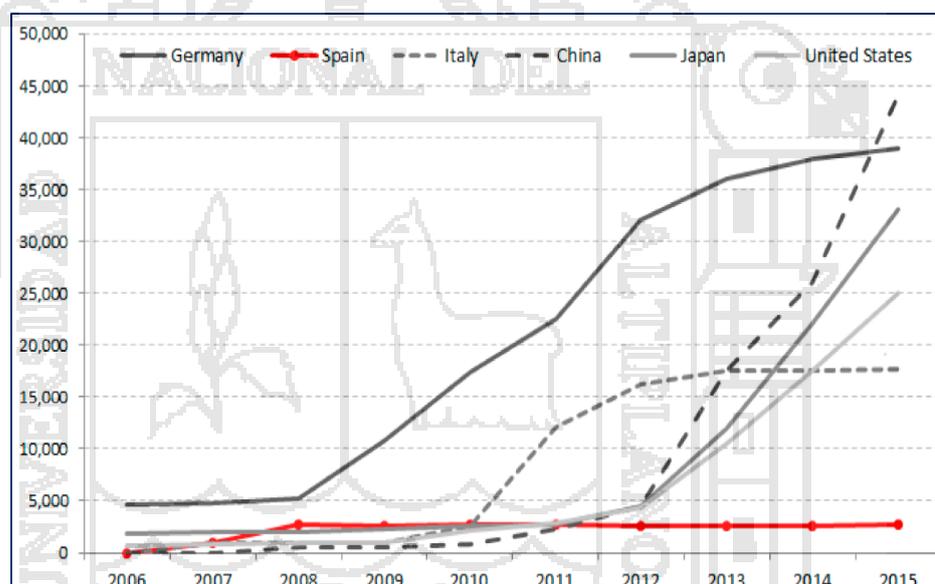


Figura 5. Potencial Fotovoltaico (PV) instalado en Europa MW.
Fuente: (Carreño-Ortega et al., 2017)

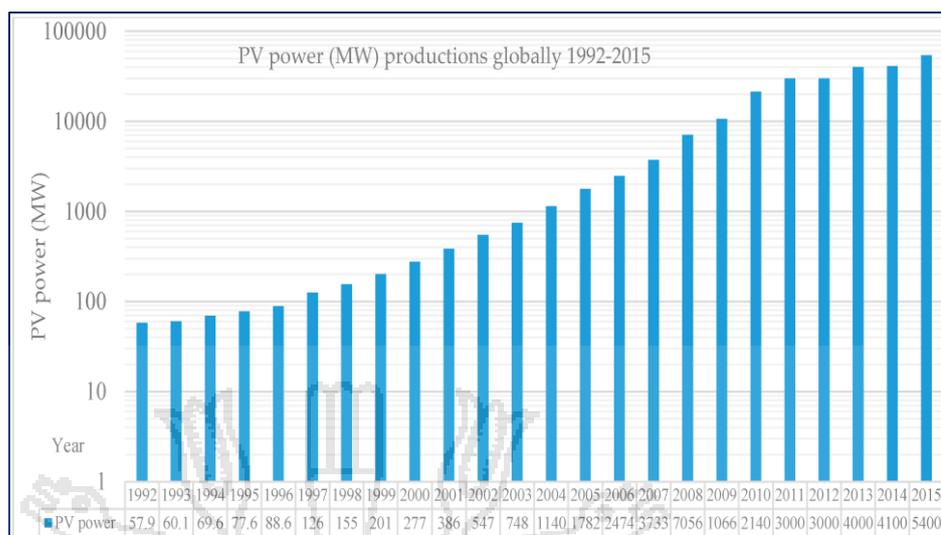


Figura 6. Potencial Fotovoltaico (PV) instalado en el Mundo MW.
Fuente: (Yousif, Kazem, & Boland, 2017)

2.2.2.5 Funcionamiento de un Sistema Fotovoltaico

Las células fotovoltaicas transforman la radiación solar directamente en electricidad. Las células consisten en dos tipos de cristales de silicio en los cuales los electrones unidos son energizados en un estado conductor cuando son irradiados por la luz. Los electrones liberados cruzan la unión entre los dos cristales más fácilmente en una dirección que la otra, creando así superficies negativas y positivas, la base de una batería. Esta foto batería proporciona electricidad de corriente continua (CC). Cuanto más brillante sea la luz irradiante, mayor será la corriente. Mediante la conexión de grandes matrices de tales células, se crea un módulo solar, que típicamente puede proporcionar 170W/m² de área superficial con una eficiencia del 14%.

2.2.2.6 Célula Fotovoltaica

Una célula solar, o célula fotovoltaica, es un dispositivo capaz de convertir la energía del Sol en electricidad (Rohland, 2017).

Fuller, Pearson y Chapin descubrieron que añadir ciertas impurezas, es decir, átomos de otros materiales al silicio puede hacer que se cargue positivamente (tipo P) o carga negativa (tipo-N). Silicio de tipo P carece de electrones, mientras que el silicio de tipo N tiene electrones extra. Una célula solar contiene ambos tipos. El punto donde se encuentran los dos tipos de silicio se llama la unión P-N. La adición de energía -en forma de luz del Sol- golpea a los electrones de repuesto sueltos del silicio de tipo N. Estos portadores libres tratan de moverse al silicio de tipo P para llenar las lagunas donde faltan electrones. El silicio de tipo P se carga entonces negativamente y el silicio de tipo N se carga positivamente. Como resultado, se forma un campo eléctrico. Este campo controla el movimiento de electrones dentro de la célula solar, lo que crea una corriente eléctrica capaz de alimentar un dispositivo.



Figura 7. Célula Solar convencional de Silicio Cristalino.
Fuente: (Rohland, 2017)

2.2.2.7 Curva de Operación de un Célula Fotovoltaica

El comportamiento eléctrico de un módulo fotovoltaico, es decir, su característica V-I, que es necesario conocer para la utilización de dicho módulo y el diseño de generadores fotovoltaicos, viene determinado por una serie de parámetros, obtenidos a partir de la información característica suministrada por el fabricante, habitualmente bajo unas condiciones estándares de medida, de uso universal, definidas en el grafico 8 (Higuera, 2017).

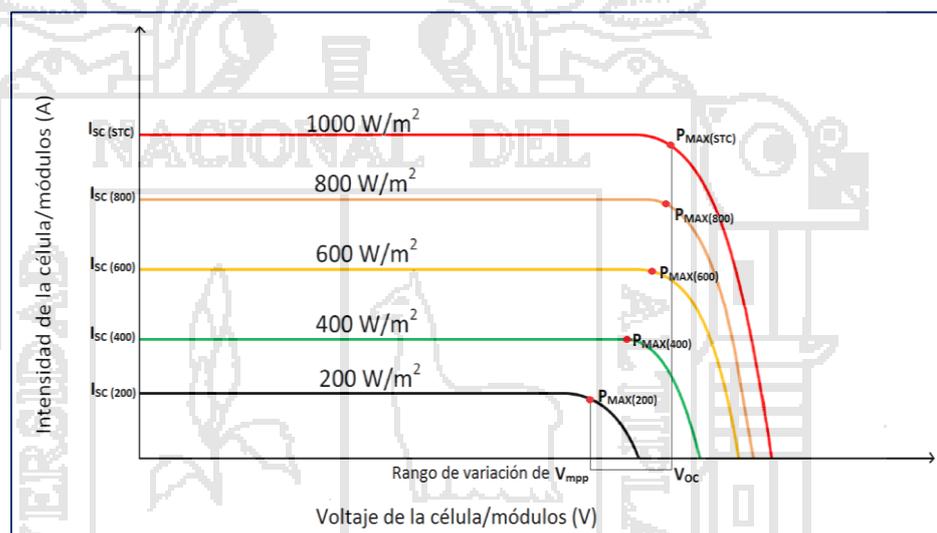


Figura 8. Curva de Operación de un sistema Fotovoltaico.
Fuente: (Higuera, 2017)

2.2.2.8 Paneles Solares Fotovoltaicos

Los paneles solares son conjuntos interconectados de células fotovoltaicas que recogen la energía solar como parte de un sistema de energía solar, ya sea en la Tierra o en el espacio. Normalmente, varios paneles solares se utilizan juntos en una matriz fotovoltaica, junto con un inversor y baterías para almacenar la energía recogida (Kte' pi, 2016).

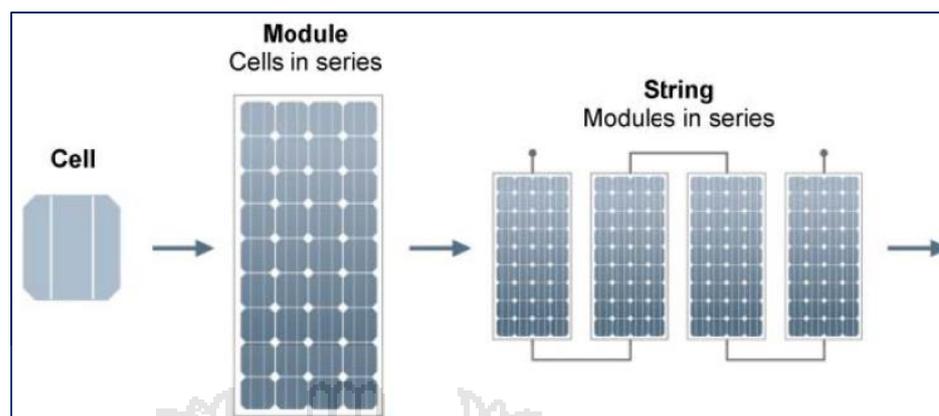


Figura 9. Célula, Módulo y Sting.
Fuente: (Bulei et al., 2017)

2.2.2.9 Matrices o Arrays

Una matriz de paneles solares puede ser fija, ajustable o de seguimiento. Cada método tiene ventajas y desventajas en el costo de instalación en comparación con la eficiencia y la energía durante la vida útil de la instalación, que pueden analizarse matemáticamente para optimizar una configuración individual. Los arrays fijos son paneles solares que permanecen en una posición. El posicionamiento óptimo de tales arrays implica normalmente el enfrentamiento con el ecuador (sur verdadero, no sur magnético, cuando en el hemisferio norte), con un ángulo de inclinación aproximadamente igual a su latitud. Utilizando un ángulo de inclinación ligeramente superior a la latitud se ha demostrado en algunos estudios para mejorar la recogida de energía en el invierno, lo que puede ayudar a equilibrar los días más cortos o el aumento de las necesidades de energía de calefacción. Ajustar la inclinación ligeramente menos que la latitud optimiza la colección para el verano. Los paneles ajustables pueden tener su inclinación ajustada manualmente durante todo el año. Los paneles de

seguimiento siguen la trayectoria del sol durante el día, ya sea en uno o dos ejes: un seguidor de un solo eje rastrea el sol de este a oeste solamente, mientras que un seguidor de doble eje también se ajusta al movimiento de declinación estacional del sol (Bulei et al., 2017).



Figura 10. Módulos Solares Fotovoltaicos.
Fuente: (Kte' pi, 2016)

2.2.2.10 Energía Solar Térmica

Es un sistema que convierte la energía del sol en calor en forma utilizable se llama un sistema solar térmico (Mehta, 2016).

La energía del sol puede ser aprovechada directamente para la creación de vapor de alta temperatura (superior a 100 grados centígrados), o calor de baja temperatura (menos de 100 grados centígrados) para diversas aplicaciones de calor y energía.

2.2.2.11 Sistema térmico solar de alta temperatura

Estos sistemas utilizan espejos u otras superficies reflectantes para concentrar la radiación solar. Hay tres tecnologías principales bajo sistemas de alta temperatura: receptor central, sistema parabólico

del plato, y colector solar de la línea-concentración. El calor solar a altas temperaturas, suficiente para generar electricidad, se recoge y la electricidad se genera utilizando un motor térmico (Ivan, 2017). En comparación con los sistemas solares fotovoltaicos (PV), los sistemas de energía solar térmica tienen los siguientes beneficios:

- La producción de electricidad no se limita a sólo horas de luz solar, a diferencia del PV solar.
- Utilización efectiva del espectro solar.
- La eficiencia de conversión es alta y las condiciones climáticas polvorrientas no afectan la generación de energía.
- No hay necesidad de almacenar grandes cantidades de electricidad para su uso fuera de las horas no soleadas a través de las baterías.

2.2.2.12 Sistema térmico solar de baja temperatura

Estos sistemas recogen la radiación solar para calentar el aire o el agua para propósitos domésticos e industriales. Los sistemas solares térmicos de baja temperatura son una tecnología probada y tienen una industria madura con una amplia gama de aplicaciones. Estas tecnologías pueden utilizarse como sistemas pasivos o activos. La energía se recoge en sistemas pasivos a través de la orientación, los materiales y la construcción del colector, y no requiere el uso de bombas o motores. Las propiedades del colector le permiten absorber, almacenar y utilizar la radiación solar. Los sistemas activos hacen uso de bombas o motores para hacer circular agua o algún otro fluido absorbente de

calor a través de colectores solares. Estos colectores se componen de tubos de cobre unidos a una placa de metal, pintado de negro, y encapsulado en una caja aislada cubierta por un vaso (Ivan, 2017).

2.2.3 Componentes básicos de la Energía Solar

2.2.3.1 Declinación Angular (δ)

Aunque menos La declinación es la distancia angular desde el sol hacia el norte o hacia el sur hasta el ecuador terrestre.

Como se ilustra esquemáticamente en la Figura 12, los valores máximos y mínimos de ángulo de declinación de la órbita terrestre producen temporadas. La declinación oscila entre 23.45° norte y 23.45° sur. El hemisferio norte está inclinado 23.45° lejos del sol alrededor del 21 de diciembre, que es el solsticio de verano para el hemisferio sur y el solsticio de invierno para el hemisferio norte. En el hemisferio norte y hasta el 21 de junio, a partir del 21 de junio, el hemisferio sur está posicionado de manera que es 23.45° lejos del Sol; mientras tanto, es el solsticio de invierno en el hemisferio norte. Durante los equinoccios de otoño y primavera, que comienzan el 21 de marzo y el 21 de septiembre respectivamente, el sol pasa directamente sobre el ecuador (Mousavi Maleki, Hizam, & Gomes, 2017).

Aquí, Γ es el ángulo del día en radianes y está representado por:

$$\Gamma = 2\pi \left(\frac{n - 1}{365} \right)$$

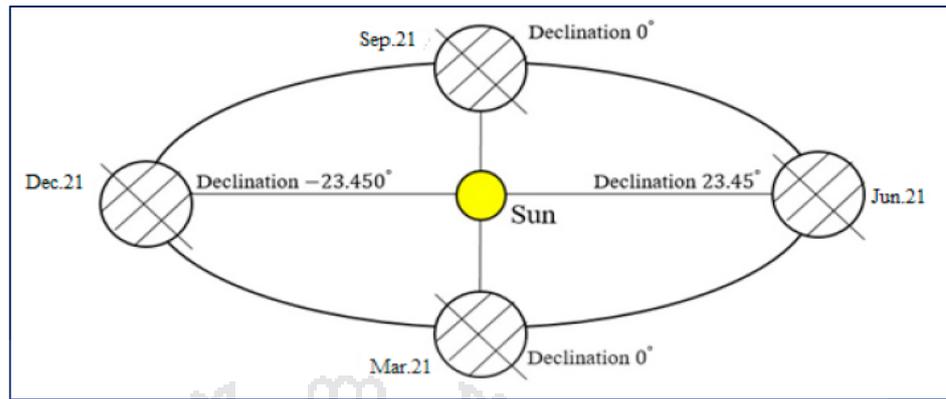


Figura 11. Max. Y min. Valor declinación angular.
Fuente: (Mousavi Maleki et al., 2017)

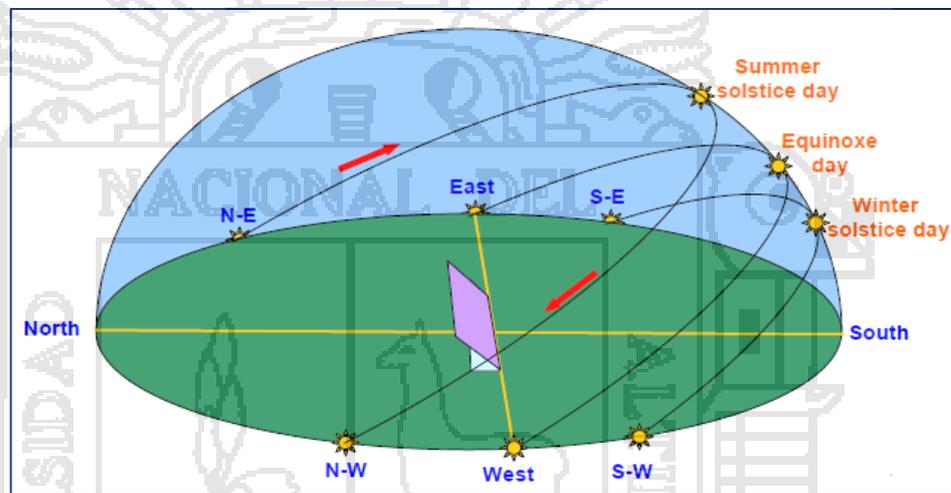


Figura 12. Ilustración de la ruta solar en periodo del año.
Fuente: (Notton, 2017)

2.2.3.2 Angulo Horario (ω)

El concepto de ángulo horario se utiliza para describir la rotación de la Tierra alrededor de su eje polar, que es equivalente a $+15^\circ$ por hora durante la mañana y -15° por la tarde. Es la distancia angular entre el meridiano del observador y el meridiano cuyo plano contiene el sol (Figura 14). La siguiente ecuación se puede usar para calcular el ángulo de la hora en grados. Debe observarse que al mediodía el ángulo de la hora ω es cero (Mousavi Maleki et al., 2017).

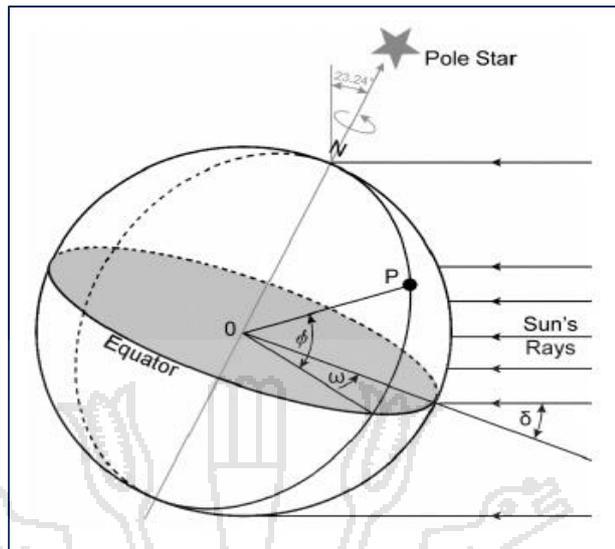


Figura 13. Angulo Horario en un punto.
Fuente: (Mousavi Maleki et al., 2017)

2.2.3.3 Angulo de Azimut Solar (γ)

El desplazamiento angular desde el sur de la proyección de radiación del haz sobre el plano horizontal se define como el ángulo de azimut solar (Mousavi Maleki et al., 2017). Esto se ilustra esquemáticamente en la figura 15.

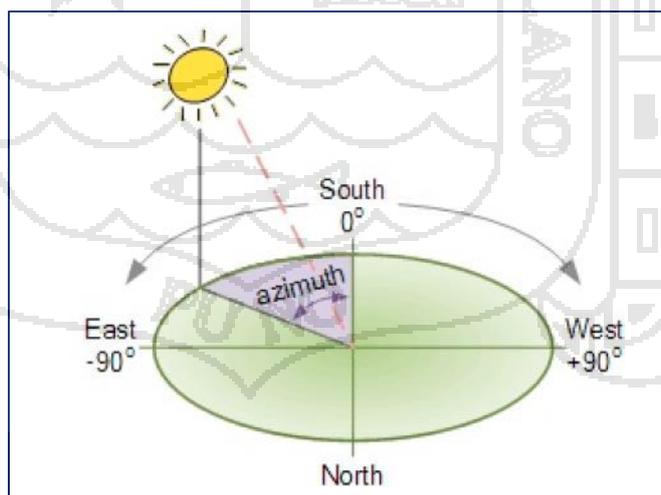


Figura 14. Definición del Angulo de Azimut del sol.
Fuente: (Mousavi Maleki et al., 2017)

2.2.3.4 Latitud (ϕ)

La latitud de un área es la posición con relevancia al norte o al sur del ecuador. La variación de la latitud es de 0° a $\pm 90^\circ$ (positiva para el norte y negativa para el hemisferio sur), 0° en el ecuador y $\pm 90^\circ$ en los polos (Mousavi Maleki et al., 2017).

2.2.4 Calefacción solar

La energía solar también puede ser aprovechada para la calefacción de la casa. Al contrario que en el caso de la producción de agua caliente, el sistema no está optimizado para cubrir el 100% de la demanda energética a lo largo del año, por diversas consideraciones técnicas. Una es el peligro de sobrecalentamiento en verano; la otra es un criterio de eficiencia energética; no es eficiente optimizar una instalación para un periodo tan corto del año, y desperdiciar la energía el resto del tiempo (Velmurugan, Christraj, Kulasekharan, & Elango, 2016).

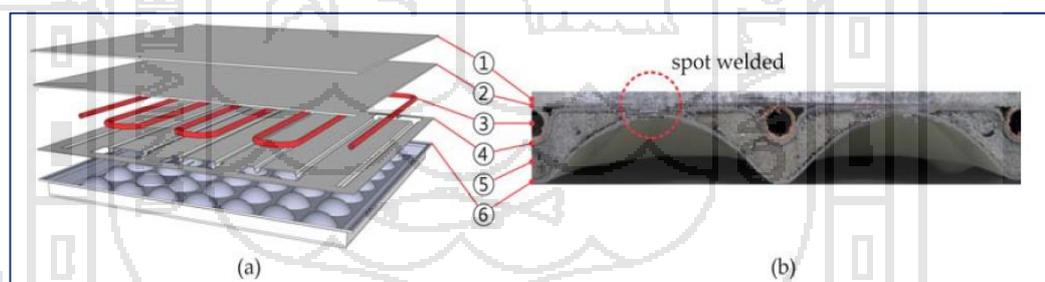


Figura 15. Suelo Radiante, (a) Capas (b) Sección Transversal.
Fuente: (Dong-Woo, Goo-Sang, Sang-Hoon, Myoung-Souk, & Kwang-Woo, 2017)

2.2.4.1 Sistema Solar Térmico

Los sistemas solares térmicos que se pueden utilizar para la conversión de energía térmica se pueden clasificar en tres categorías principales:

- De tipo concentrador.
- Colectores planos.
- Heliostáticos.

De éstos, los colectores de tipo concentrador se utilizan en aplicaciones de alta energía / alta temperatura donde la generación de energía eléctrica es de primordial importancia. Por otro lado, heliostáticos necesitan grandes áreas abiertas de tierra con una infraestructura pesada e inversiones. Para las aplicaciones domésticas y domésticas donde se prefieren los sistemas térmicos a baja temperatura, los colectores de placas planas son uno de los candidatos adecuados, donde se utilizó un conjunto de tubos. Es adecuado ya que el espacio ocupado por estos sistemas es más pequeño para que pueda alojarse en el techo de los edificios. Los colectores planos también son económicamente asequibles por familias individuales (Yilmaz, Riza Ozcalik, & Dincer, 2017).



Figura 16. Concentrador Solar.
Fuente: (Yilmaz et al., 2017)



Figura 17. Colector Solar Plano.
Fuente: (Velmurugan et al., 2016)

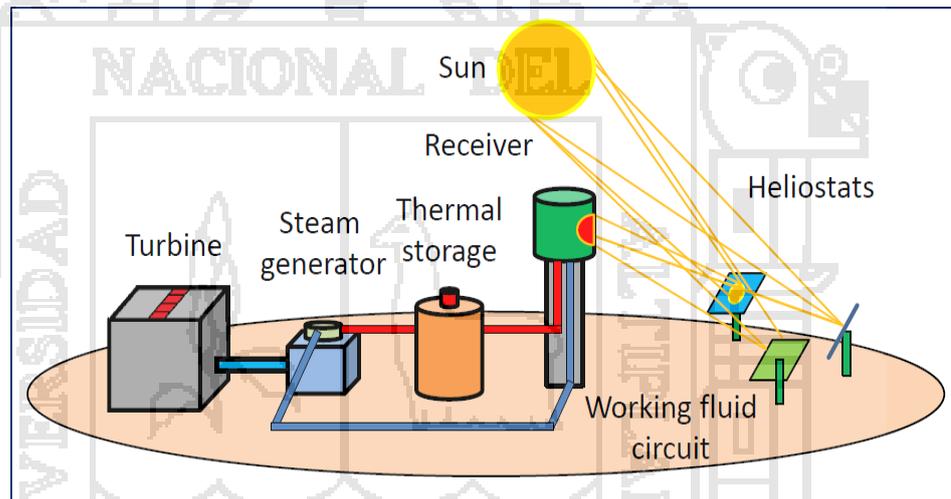


Figura 18. Potencial Fotovoltaico PV instalado en el Mundo Mw.
Fuente: (Cruz et al., 2017)

2.2.4.2 Sistema Solar Pasivo

Los sistemas de calefacción solar pasiva utilizan ventanas de vidrio orientadas al sur para recoger la energía solar y la masa interior de una sala para almacenar energía y regular los cambios de temperatura (Plitnik, 2016). Los tres tipos principales de sistemas pasivos son la ganancia:

- Directa

- Indirecta
- Adjunta

En sistemas de ganancia directa, la masa térmica, incorporada en un suelo o pared, es típicamente ladrillo, azulejo, o concreto. La masa debe ser dimensionada a la superficie total del vidrio orientado hacia el sur. Cuanto mayor sea el área de vidrio, mayor será la masa necesaria para evitar el sobrecalentamiento de la habitación.

Los sistemas de ganancia indirecta, utilizan una maciza pared de ladrillo o barriles de agua ubicados en la proximidad del cristal orientado hacia el sur. La superficie exterior de la masa está pintada de negro para efectuar la ganancia solar almacenada en la masa. El calor se libera a través de respiraderos en el espacio de vida interior por convección natural; Por la noche, los respiraderos están cerrados, evitando la pérdida de calor por convección, mientras que la masa irradia calor en el espacio interior.

Los sistemas conectados de ganancia, o invernadero, suelen ser enteramente de vidrio con hormigón o suelo que sirve como masa. Cuando está bien diseñado, un invernadero adjunto se puede utilizar para proporcionar alimentos, así como el calor durante el invierno. Una aplicación diferente de la energía solar pasiva es el sistema de ventilación de la chimenea térmica, que consiste en un eje vertical interior ventilado al exterior. Cuando la chimenea se calienta, el aire cerrado se calienta, provocando una corriente ascendente que atrae aire a través del edificio.

2.2.4.3 Colector Solar Plano

Un colector solar térmico es la parte de un sistema de calefacción solar que captura la radiación del sol y la convierte en energía. El calentamiento pasivo ocurre cuando los rayos del sol elevan naturalmente la temperatura de un artículo o de un espacio; Por ejemplo, la luz del sol que entra por las paredes de vidrio de un invernadero calienta el aire interior. La calefacción activa significa que la energía del sol es intencionalmente capturada usando un colector solar térmico y un fluido para mantener la energía como calor (Ungvarsky, 2016).

El efecto termo-sifón, utiliza colectores planos para calentar agua y un tanque de almacenamiento situado por encima de la parte superior del colector. El agua calentada se eleva por convección natural en el tanque de almacenamiento, creando un efecto de sifón que mantiene el fluido circulando.

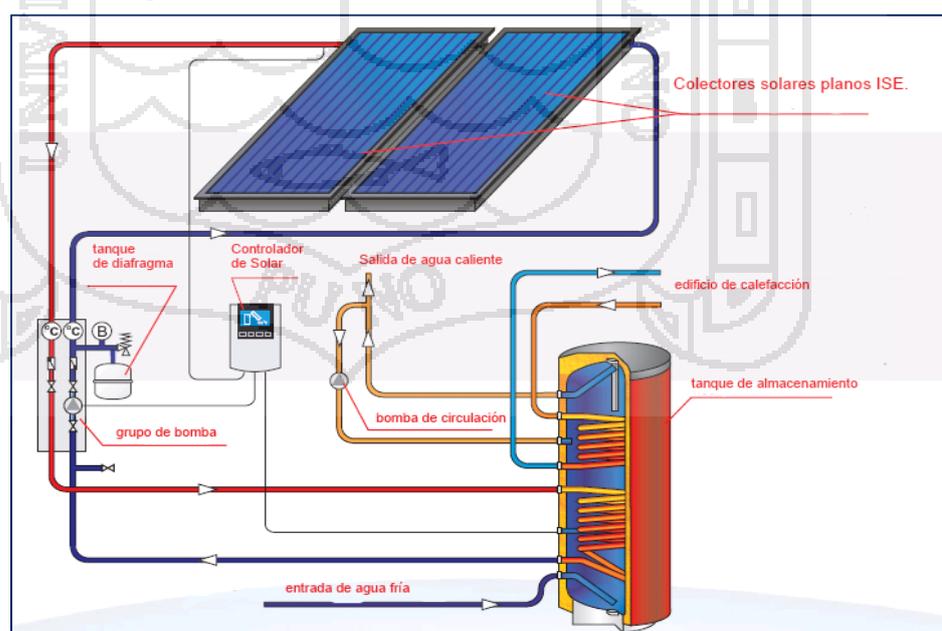


Figura 19. Colectores Planos.
Fuente: (Cruz et al., 2017)

2.2.5 Suelo Radiante

El suelo radiante consiste en unas tuberías que circulan bajo el suelo de la vivienda, y tiene múltiples ventajas frente al sistema convencional de radiadores (Simmonds, Triana, Gautrey, & Rui, 2014). Las principales están relacionadas con el ahorro energético y con el confort que proporciona este sistema de calefacción.

Ahorro energético: viene dado por dos factores principales. Los radiadores son focos puntuales que emiten el calor hacia todo el volumen de la habitación. El suelo radiante cubre todo el suelo; al ser la superficie de emisión más elevada, no es necesario que se caliente tanto, con el consiguiente ahorro de combustible. Otro factor que favorece el ahorro de combustible es que el radiador debe calefactar todo el volumen de la habitación para que el habitante note la calefacción. El suelo radiante, sin embargo, al estar siempre en contacto con el usuario, no necesita calentar todo el volumen.



Figura 20. Vivienda instalada con suelo radiante.
Fuente: (Willy Renan, 2017)

2.2.5.1 Características del Piso Radiante

Una de las características esenciales del sistema de calefacción por suelo radiante es el fenómeno de autorregulación. Las variables más importantes que definen la cantidad del calor transmitida por radiación son:

- La distancia entre emisor y receptor (suelo -persona)
- Salto térmico, es decir, la diferencia de temperatura entre ambos.

Si la temperatura del habitáculo aumenta a 21°C (lo que puede suceder por aumento del número de personas, chimenea, aportación solar, a través de la ventana, etc.), el salto térmico se reduce de 5 a 3°C , es decir de un 40% menos.

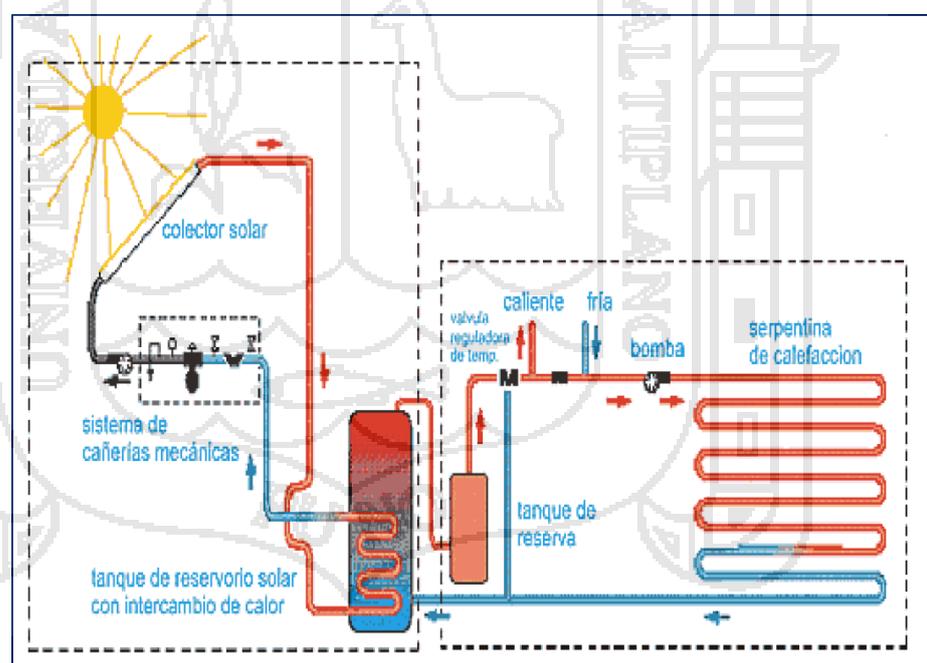


Figura 21. Instalación de un Sistema por Suelo Radiante.
Fuente: (Willy Renan, 2017)



Figura 22. Corte Transversal de un Suelo Radiante.
Fuente: (Willy Renan, 2017)

2.2.5.2 Ventajas del Suelo Radiante

- **Distribución ideal de temperaturas:** Este sistema mantiene una temperatura “caliente” en la zona de los pies y una temperatura “fría” en la zona de la cabeza.
- **Saludable:** No levanta polvo ni corrientes de aire. No reseca la garganta, al contrario que otros sistemas de calefacción, por lo que es recomendado para ser instalado en hospitales, residencias de ancianos y otras instalaciones colectivas.
- **Ahorra Combustible:** por lo tanto, disminuye los costes. Se trata de un sistema que trabaja a una temperatura más baja que los radiadores de metal por diversos motivos. Entre ellos, que, al ocupar mucha mayor superficie, no necesita calentar tanto el circuito hidráulico. Se trata de un sistema que combina muy bien con la energía solar, porque trabajan a temperaturas parecidas. La climatización más eficiente del mercado consiste en una bomba de calor integral combinado con un sistema de energía solar y un suelo radiante como sistema emisor.

- **Eficiente:** Calefacta o refrigera en la parte inferior de la habitación, donde nos movemos; al no tener que calentar todo el volumen de la habitación, como hacen los radiadores, no es necesario consumir tanta energía.
- **Invisible:** Al estar bajo el suelo, no se ve absolutamente nada.
- **Confortable:** Se trata del sistema emisor de calefacción que mejor reparte el calor por la habitación, ya que, al ser emitido desde el suelo, la emisión es mucho más homogénea y se encuentra siempre cerca de nuestro cuerpo.

2.2.5.3 Desventajas del Suelo Radiante:

- **Elevación del suelo:** Debido a que debajo del suelo debe de haber una placa aislante, las tuberías y además alrededor de 8cm del piso, esto hace que el sistema tenga unos 8 o 10cm adicionales que un suelo convencional.
- **Mayor costo de instalación:** Debido a que el sistema necesita de mucho más accesorios que los demás sistemas, este costo puede ser un 25% más en comparación con el suelo radiante de tubería PE-X, pero a su vez este sistema tiene una vida útil de alrededor de 50 años.

2.2.6 Radiación Solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta). La luz visible son las radiaciones comprendidas entre $0,4 \mu\text{m}$ y $0,7 \mu\text{m}$ pueden ser detectadas por el ojo humano. Existen radiaciones

situadas en la parte infrarroja del espectro de la cual una parte es ultravioleta (LoPresto, 2016).

La radiación solar se mide normalmente con un instrumento denominado Piranómetro. En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiaciones:

2.2.6.1 Radiación Directa

Llega directamente del sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.

2.2.6.2 Radiación Difusa

Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación se denomina difusa, va en todas las direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos.

2.2.6.3 Radiación Reflejada

Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie. Las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben.

2.2.6.4 Radiación Total

Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones.

Distribución Espectral de la Radiación Solar. El Sol emite un rango de 1500 Å hasta 40000 Å. (1 Å=10⁻¹⁰ m=10⁻⁶ micras). La luz visible se extiende desde 4000 Å a 7400 Å y la radiación infrarroja u ondas largas desde 0,74 micras a 4 micras.

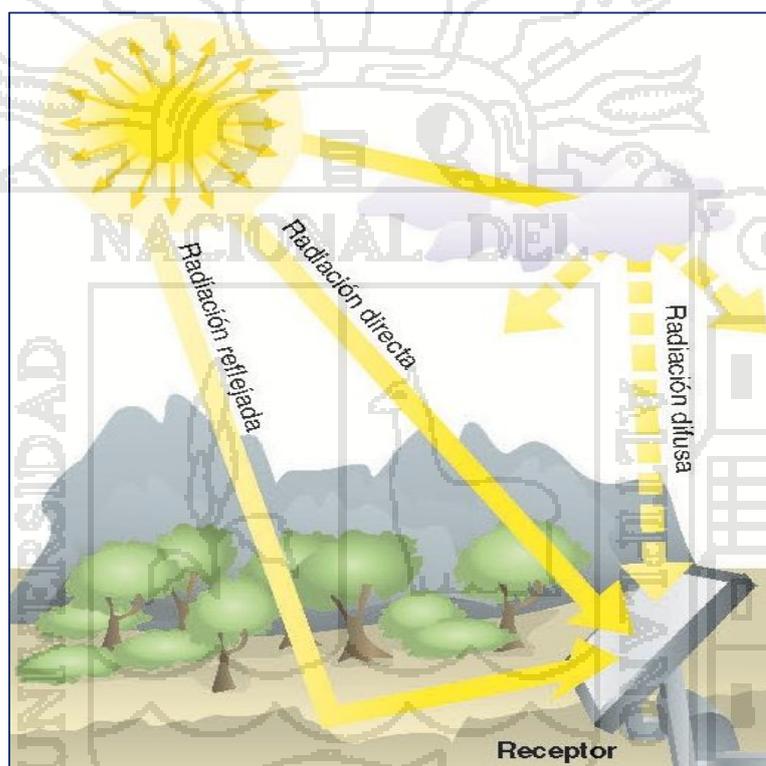


Figura 23. Componentes de la Radiación Solar.
Fuente: (Kiplangat Ronoh, 2017)

2.2.7 Irradiación solar

La irradiación es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

$$I = \frac{P_{Inc}}{A}$$

I = Irradiación Solar en W/m²

P_{Inc} = es la potencia incidente.

A = es el área de la superficie en que incide la onda.

La irradiancia sirve de base para la definición de magnitudes físicas similares, entre las que la radiancia (potencia emitida por unidad de superficie y por unidad de ángulo sólido) es la más utilizada (Kiplangat Ronoh, 2017).

También se utiliza para definir la constante solar, cantidad de energía solar que llega a la atmósfera superior de la Tierra por unidad de superficie y tiempo. Su valor es de 1367 W/m² según la escala del World Radiation Reference Centre (WRRC), de 1373 W/m² según la Organización Mundial de Meteorología (WMO de sus siglas en inglés) y de 1353 W/m² según la NASA.

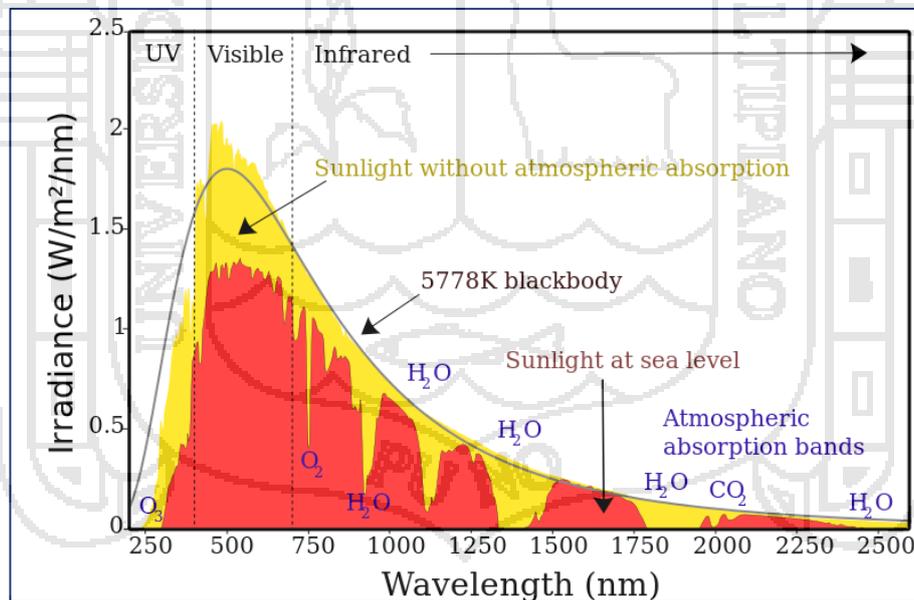


Figura 24. Espectro de irradiancia solar sobre la atmosfera.
Fuente: (Kiplangat Ronoh, 2017)

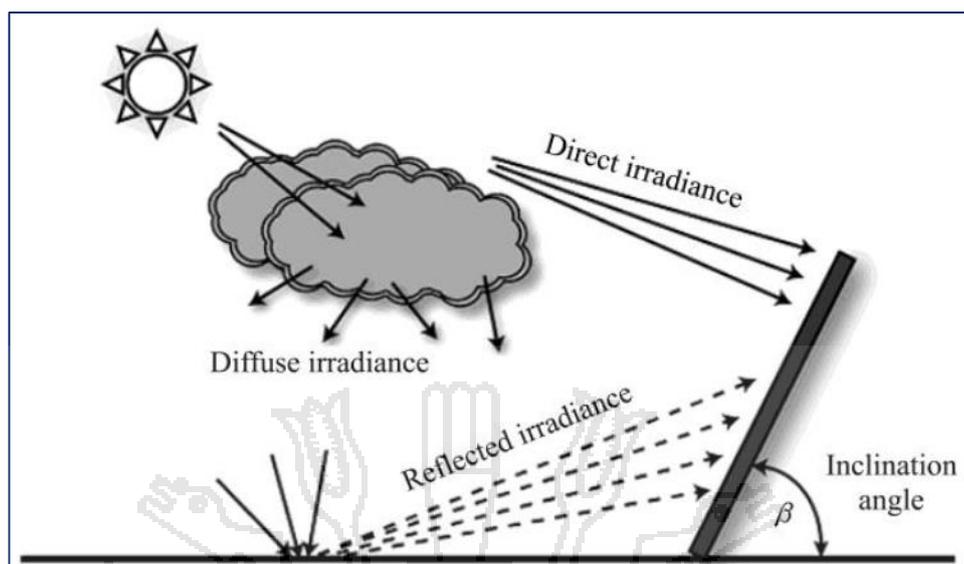


Figura 25. Componentes de la Irradiación Solar.
Fuente: (Kiplangat Ronoh, 2017)

2.2.8 Arquitectura Bioclimática

La arquitectura bioclimática consiste en el diseño de edificios teniendo en cuenta las condiciones climáticas, aprovechando los recursos disponibles (sol, vegetación, lluvia, vientos) para disminuir los impactos ambientales, intentando reducir los consumos de energía. La arquitectura bioclimática está íntimamente ligada a la construcción ecológica, que se refiere a las estructuras o procesos de construcción que sean responsables con el medioambiente y ocupan recursos de manera eficiente durante todo el tiempo de vida de una construcción. También tiene impacto en la salubridad de los edificios a través de un mejor confort térmico, el control de los niveles de CO₂ en los interiores, una mayor iluminación y la utilización de materiales de construcción no tóxicos avalados por declaraciones ambientales (Gutiérrez, Romero, & Sotelo, 2014).

2.2.8.1 Orientación

Con una orientación de las ventanas acristaladas al sur en el Hemisferio Norte, o al norte en el Hemisferio Sur, se capta más radiación solar en invierno y menos en verano, aunque para las zonas más cálidas (con temperaturas promedio superiores a los 25°C) es sustancialmente más conveniente colocar los acristalamientos en el sentido opuesto, esto es, dándole la espalda al ecuador; de esta forma en el verano, la cara acristalada sólo será irradiada por el Sol en los primeros instantes del alba y en los últimos momentos del ocaso, y en el invierno el Sol nunca bañará esta fachada, reduciendo el flujo calorífico al mínimo y permitiendo utilizar conceptos de diseño arquitectónico propios del uso del cristal (Ratanachotinun et al., 2016).

2.2.8.2 Aislamiento Térmico

Un buen aislamiento térmico evita, en el invierno, la pérdida de calor por su protección con el exterior, y en verano la entrada de calor. Uno de los materiales con mejores propiedades aislantes, es el aire. Debido a sus bajos valores de conductividad térmica, el uso de cámaras de aire se aprovecha para interrumpir el flujo térmico entre el interior o el exterior. Sin embargo, estas cámaras de aire son más eficaces cuando tienen dimensiones pequeñas, debido a que en estas se limita el movimiento convectivo del aire que puede transferir calor de una cara a otra (Zr & Mochtar, 2013).

2.2.8.3 Energía solar térmica y fotovoltaica en viviendas

El colector de calor solar y la fuente de calor de la fuente de aire de fuente térmica auxiliar proporcionan fuente de calor para los edificios de calefacción en invierno, mientras que la energía fotovoltaica suministra para el edificio de aparatos eléctricos, bomba de calor de aire y bomba de suministro de agua. Cuando la energía generada es más alta que la demanda de electricidad de todo el edificio, la electricidad excesiva será entregada a la red. Por el contrario, la red urbana suplirá el déficit (Si et al., 2016).

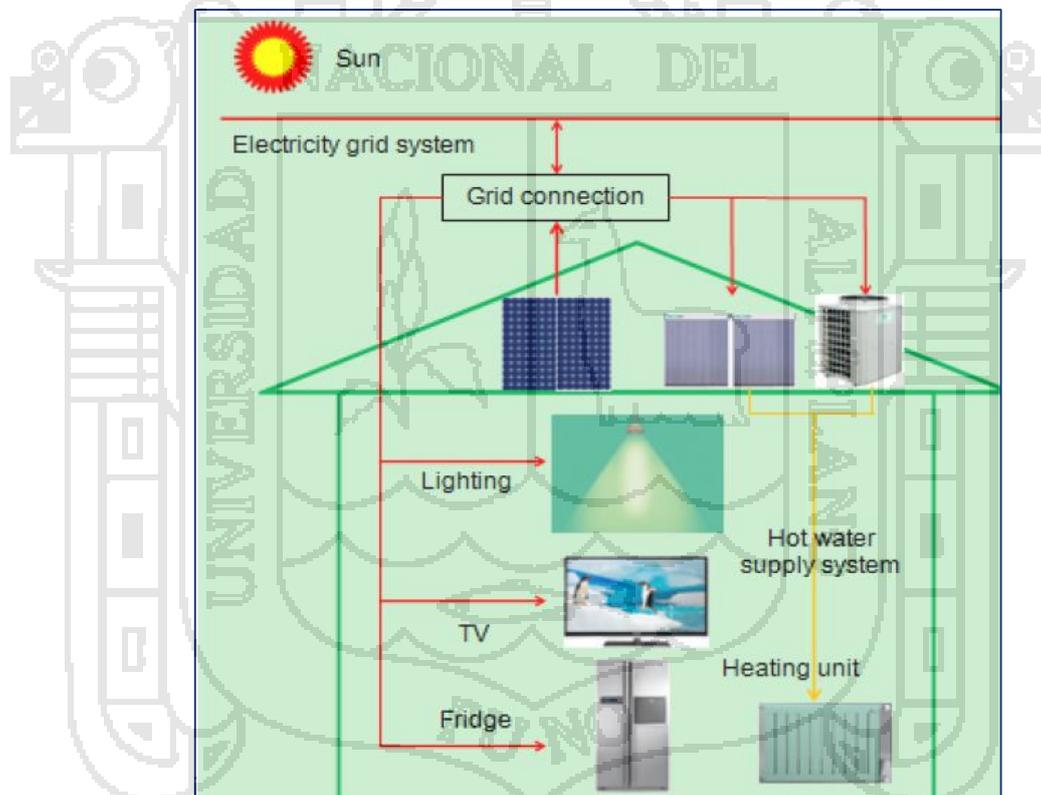


Figura 26. Modelo Físico del Sistema.

Fuente: (Si et al., 2016)

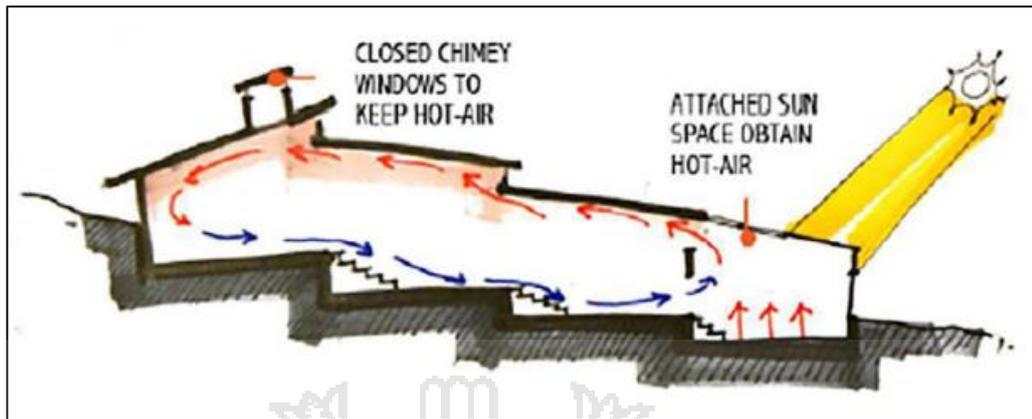


Figura 27. Ventilación Natural.
Fuente: (Zhang & Lian, 2015)

2.2.9 Sistema de Control

Un modelo matemático describe teóricamente un objeto que existe fuera del campo de las Matemáticas. Las previsiones del tiempo y los pronósticos económicos, por ejemplo, están basados en modelos matemáticos. Su éxito o fracaso depende de la precisión con la que se construya esta representación numérica, la fidelidad con la que se concreten hechos y situaciones naturales en forma de variables relacionadas entre sí (Bolton, 2001).

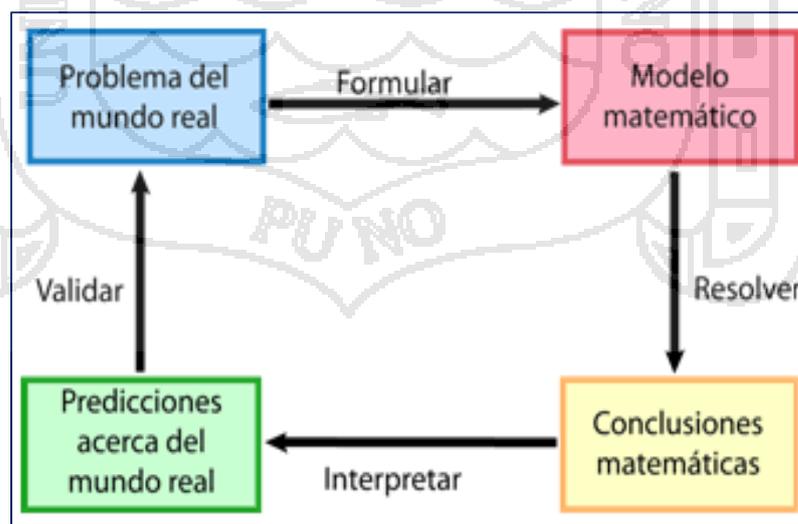


Figura 28. Modelado de Procesos.
Fuente: (TECSUP, 2014)

2.2.9.1 Variable Controlada y Variable Manipulada

La variable controlada es la cantidad o condición que se mide y controla. La, variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada. Por lo común, la variable controlada es la salida (el resultado) del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir de un valor deseado (Ogata, 2005).

a) Sistema de Control de lazo Abierto

La salida se realiza sin tener en cuenta si lo que se pide se hace bien o mal, normalmente el tiempo es la variable que controla el sistema.

- La salida no tiene efecto sobre el controlador
- No se compara la salida del sistema con la entrada de referencia.
- Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
- La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.



Figura 29. Sistema de Control de Lazo Abierto.
Fuente: (TECSUP, 2014)

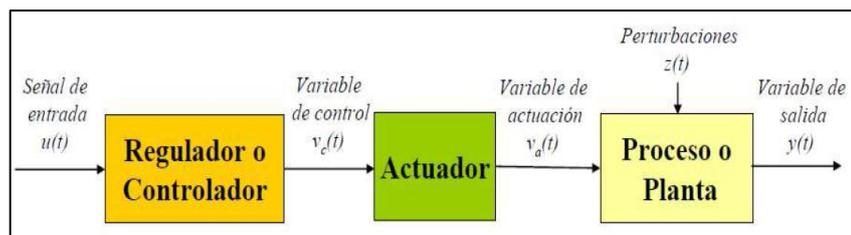


Figura 30. Sistema de Control de Lazo Abierto.
Fuente: (TECSUP, 2014)

b) Sistema de Control de lazo Cerrado

La salida se compara con la entrada de forma que se comprueba en todo momento que la salida es la esperada y si no es así el sistema se corrige. La salida del sistema se mide por medio de un Sensor, y se compara con el valor de la entrada de referencia $u(t)$ (TECSUP, 2014).

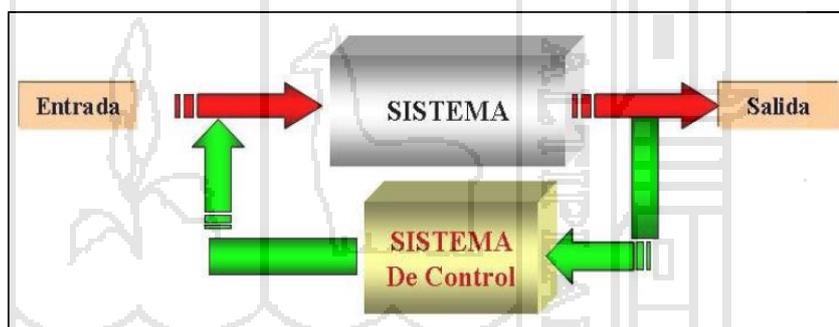


Figura 31. Sistema de Control de Lazo Cerrado.
Fuente: (TECSUP, 2014)

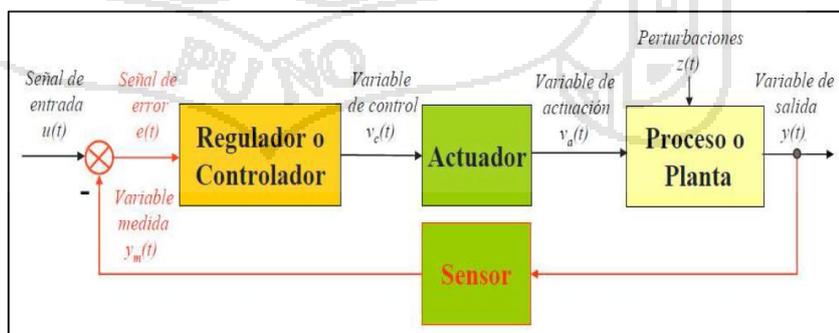


Figura 32. Sistema de Control de Lazo Cerrado.
Fuente: (TECSUP, 2014)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 CONTENIDO Y DESARROLLO

En este capítulo se va a describir la metodología desarrollada para realizar la tesis de maestría, especificando los materiales utilizados en cada fase metodológica y justificando su elección. El plan mostrado se puede resumir en el siguiente esquema mostrado de la figura 33.

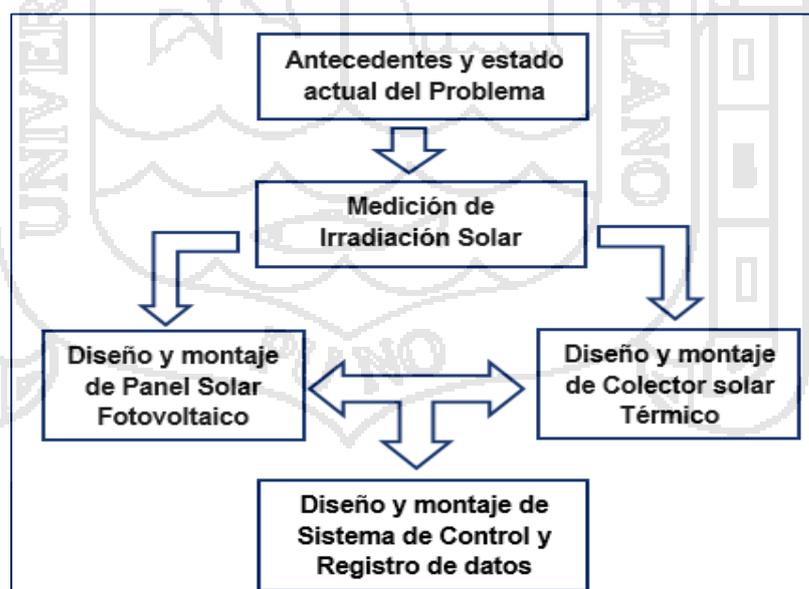


Figura 33. Esquema de Metodología Utilizada.
Fuente: Elaboración propia

3.2 CARACTERÍSTICA DE LA ZONA

3.2.1 Ámbito de Estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román, Departamento de Puno en el año 2017; los datos medidos in situ provienen de instrumentos de medición adquiridos por el investigador.

3.2.2 Ubicación Geográfica

La ciudad de Juliaca está ubicada en la parte norte de la provincia de San Román, departamento de Puno. Se Ubica en las coordenadas geográficas:

Latitud Sur : 15° 29' 27"

Longitud Oeste : 70° 07' 37"

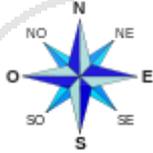
Altitud : 3824 msnm

3.2.3 Ubicación Política y Límites

La ciudad de Juliaca está ubicada en la parte norte de la provincia de San Román y al lado noroeste del Lago Titicaca y a 35 km de esta.

Los límites del distrito de Juliaca son:

Cuadro 1. Límites del distrito de Juliaca.

<i>Noroeste:</i> distrito de Calapuja	<i>Norte:</i> distrito de San Miguel	<i>Noreste:</i> distrito de Caminaca
<i>Oeste:</i> distrito de Lampa (prov. de Lampa) y distrito de cabanilla (prov. Lampa)		<i>Este:</i> distrito de Pusi (prov. de Huancané) y distrito de Samán (prov. de Azángaro)
<i>Suroeste</i> distrito de cabana	<i>Sur:</i> distrito de cabana y Caracoto	<i>Sureste:</i> distrito de Caracoto

Fuente: (Juliaca, 2015)

3.2.4 Características Climatológicas de la Zona

En lo referente al clima, la ciudad de Juliaca presenta una amplia oscilación entre el día y la noche; aunque predomina el frío, siendo éste más intenso en el invierno, principalmente en los meses de junio y julio, alcanzando valores inferiores a 0°C.

En cuanto a su temperatura media esta es de entre 4°C a 10°C, la temperatura máxima se mantiene uniforme a lo largo del año durante todos los meses con un promedio de 18.08°C, no de la misma manera la temperatura mínima que tiene como un promedio los -7.5°C en julio.

Generalmente el verano es la estación húmeda, incluye los meses de diciembre a marzo, en los cuales la precipitación media varía entre los valores de 85.9 mm a 183.3 mm, la mejor temporada para visitar Juliaca es la primavera, comprendida entre septiembre y diciembre, ya que es soleada y con poca humedad.

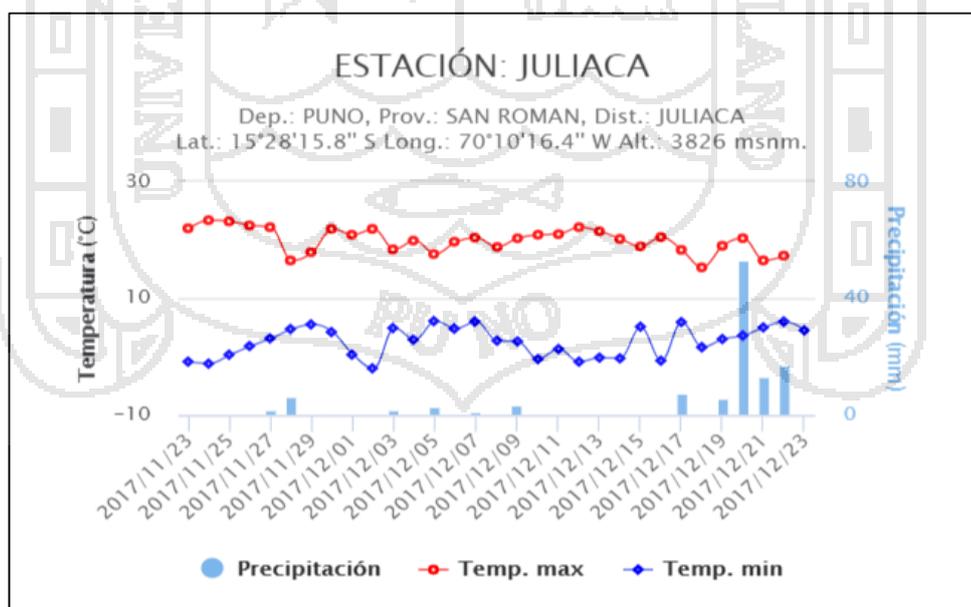


Figura 34. Temperatura anual de Juliaca, Estación Juliaca. Fuente: (SENAMHI, 2017)

3.3 MUESTRA Y POBLACIÓN

La muestra de estudio para el modelamiento de la energía solar se ha tomado con instrumentos de medición de: Irradiación Solar, Sensor de Temperatura (PT - 100). Equipos experimentales instalados: Panel solar Fotovoltaico, Colector solar Térmico, Controlador de Procesos y Suelo Radiante.

Dichos Instrumentos y equipos de medición de parámetros de energía solar son instalados y ubicados en la ciudad de Juliaca.

3.4 PROCEDIMIENTO INICIAL DEL PROCESO

Para el modelamiento de la energía solar en el diseño de viviendas bioclimáticas se sigue la siguiente metodología:

3.4.1 Información Básica

Se han recopilado las informaciones básicas de la investigación usando equipos e instrumentos de medición solar que nos permiten medir parámetros de la energía solar para su posterior modelamiento:

Cuadro 2. Equipos utilizados en el proceso de investigación.

ITEM	INSTRUMENTO Y/O EQUIPO	UNIDAD	PARÁMETRO
01	Radiómetro solar	W/m ²	Instrumento de medición de Irradiación Solar
02	PT-100	°C	Sensor de Temperatura de Platino, necesita un controlador.
03	Controlador Lógico Programable (PLC)	Procesamiento de Señales	Es el cerebro del proceso para evaluar indicadores y controlar procesos.
04	Variador de Frecuencia Solar	Control de Frecuencia	Es el encargado de controlar la velocidad de la electrobomba (Caudal).
05	Electrobomba Centrifuga de 0.5HP	Caudal	Es el encargado de realizar el trabajo con la impulsión de caudal
06	Panel solar Fotovoltaico de 100 Watt	Voltios	Es el equipo encargado de convertir la energía luminosa en electricidad.
07	Colector solar Térmico	°C	Es el equipo encargado de calentar el agua con energía solar térmica.
08	Pinza Amperimétrica	V, A, Ω	Es el equipo encargado de medir parámetros eléctricos

Fuente: Elaboración Propia

3.5 DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR

3.5.1 Método de Distribución

Datos Obtenidos de la medición de Irradiación Solar, durante 3 meses (julio, agosto y setiembre) en un intervalo de 30 min entre cada dato, mostrando en el cuadro 3 el promedio de la Irradiación Solar por mes y global.

Cuadro 3. Irradiación solar promedio de julio a setiembre del 2017 en Juliaca.

TIEMPO	MES 1 Julio	MES 2 Agosto	MES 3 Setiembre	MES GLOBAL CON (N-LL)	MES GLOBAL SIN (N-LL)
HORAS EN EL DÍA	IRRADIACIÓN SOLAR (W/m ²)				
6:00	191.58	254.35	393.10	279.68	292.34
6:30	461.58	528.77	795.63	595.33	628.61
7:00	621.58	654.42	849.50	708.50	735.54
7:30	807.58	749.19	910.50	822.42	859.04
8:00	876.58	792.77	991.23	886.86	933.91
8:30	912.58	878.61	1003.97	931.72	958.27
9:00	936.58	887.06	1025.97	949.87	981.27
9:30	961.58	945.94	1022.70	976.74	992.14
10:00	1010.58	888.58	1064.57	987.91	1037.57
10:30	1012.58	923.26	1097.50	1011.11	1055.04
11:00	1022.58	1006.19	1197.50	1075.42	1110.04
11:30	1020.58	1012.35	1087.97	1040.30	1054.27
12:00	1021.58	968.71	1091.40	1027.23	1056.49
12:30	1029.58	903.39	1103.63	1012.20	1066.61
13:00	1026.58	926.74	1064.10	1005.81	1045.34
13:30	1031.58	871.42	1062.23	988.41	1046.91
14:00	1021.58	845.90	1059.37	975.62	1040.47
14:30	1011.58	864.58	1040.83	972.33	1026.21
15:00	971.58	866.84	1035.90	958.11	1003.74
15:30	914.58	805.84	1000.50	906.97	957.54
16:00	797.58	762.06	979.63	846.43	888.61
16:30	751.58	558.68	799.43	703.23	775.51
17:00	451.58	309.16	404.57	388.44	428.07

Fuente: Elaboración Propia

Para aplicar este método de Distribución, primeramente, determinaremos si tiene una distribución Simétrica (Campana de Gauss) o Asimétrica:

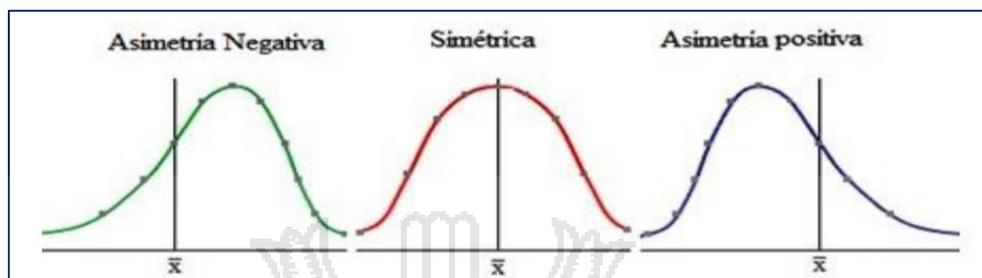


Figura 35. Distribución Simétrica y Asimétrica Negativa – Positiva. Fuente: (Canavos, 1998)

Para esto usaremos el método del Coeficiente de Karl Pearson:

$$A_s = \frac{3(\bar{x} - Md)}{S} \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

- \bar{x} = Media Aritmética
- Md = Moda
- S = Desviación Estándar

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \dots\dots\dots(2)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(3)$$

Donde el Coeficiente de Pearson es: $A_s = -1.1395$

Nota: El coeficiente de Pearson varía entre -3 y 3.

- Si $A_s < 0$ → La Distribución será Asimétrica Negativa.
- Si $A_s = 0$ → La Distribución será Simétrica.
- Si $A_s > 0$ → La Distribución será Asimétrica Positiva.

Entonces la Distribución es **Asimétrica Negativa**, en el cuadro 4.

Cuadro 4. Funciones estadísticas a utilizar.

FUNCIONES ESTADÍSTICAS	
Min	292.340
Max	1110.040
Media	911.893
Tamaño	23.000
Est. Clases	4.796
Clases	5.000
Incremento	163.540
Desv. Stand.	211.265
Incremento2	35.552

Fuente: Elaboración propia

$$Est.Clase = \sqrt{Tamaño} \dots\dots\dots(4)$$

$$Incremento = \frac{Max - Min}{Clase} \dots\dots\dots(5)$$

$$Incremento2 = \frac{Max - Min}{Tamaño} \dots\dots\dots(6)$$

Generamos el cuadro 5 para determinar la Frecuencia Optima, en la que la Irradiación Solar sea igual o mayor que 1000 W/m2.

Cuadro 5. Frecuencia de la irradiación solar en la ciudad de Juliaca.

Clases	Corte (W/m2)	Frecuencia
1	455.88	2
2	619.42	0
3	782.96	3
4	946.5	3
5	1110.04	15

Fuente: Elaboración propia

$$Corte = Min + Clase \times Incremento \dots\dots\dots(7)$$

$$Frec. = \frac{\bar{x}}{Corte} \dots\dots\dots(8)$$

$$Interv. = Frec - 1 \dots\dots\dots(9)$$

Del cuadro 5, de la clase 5 con una Irradiación Solar dentro del Corte de 1110.04 W/m² se encuentran 15 valores parecidos, representado en el tiempo 14 intervalos de media hora sumando 7 horas de Irradiación Solar constante mayor a 1000 W/m². Mostrando la frecuencia en la figura 36, el cual se parece a la distribución Asimétrica Negativa.



Figura 36. Frecuencia de la Irradiación Solar en Juliaca.

Fuente: Elaboración propia

Tomando como base la distribución Asimétrica Negativa, Utilizaremos en programa Excel para determinar dicha distribución:

$$ISP = Min + n_i \times Incremento2 \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

- IPS = Irradiación Solar Promedio
- n_i = Datos

Cuadro 6. DAN de la irradiación solar en Juliaca.

Puntos	Valores	DAN
1	327.892	0.00000017
2	363.445	0.00000031
3	398.997	0.00000056
4	434.549	0.00000098
5	470.101	0.00000168
6	505.653	0.00000283
7	541.206	0.00000468
8	576.758	0.00000757
9	612.31	0.00001202
10	647.862	0.00001869
11	683.414	0.00002848
12	718.966	0.00004253
13	754.519	0.00006226
14	790.071	0.00008932
15	825.623	0.00012558
16	861.175	0.00017303
17	896.727	0.00023365
18	932.279	0.00030922
19	967.832	0.00040106
20	1003.38	0.00050979
21	1038.94	0.00063505
22	1074.49	0.00077531
23	1110.04	0.00092765

Fuente: Elaboración propia

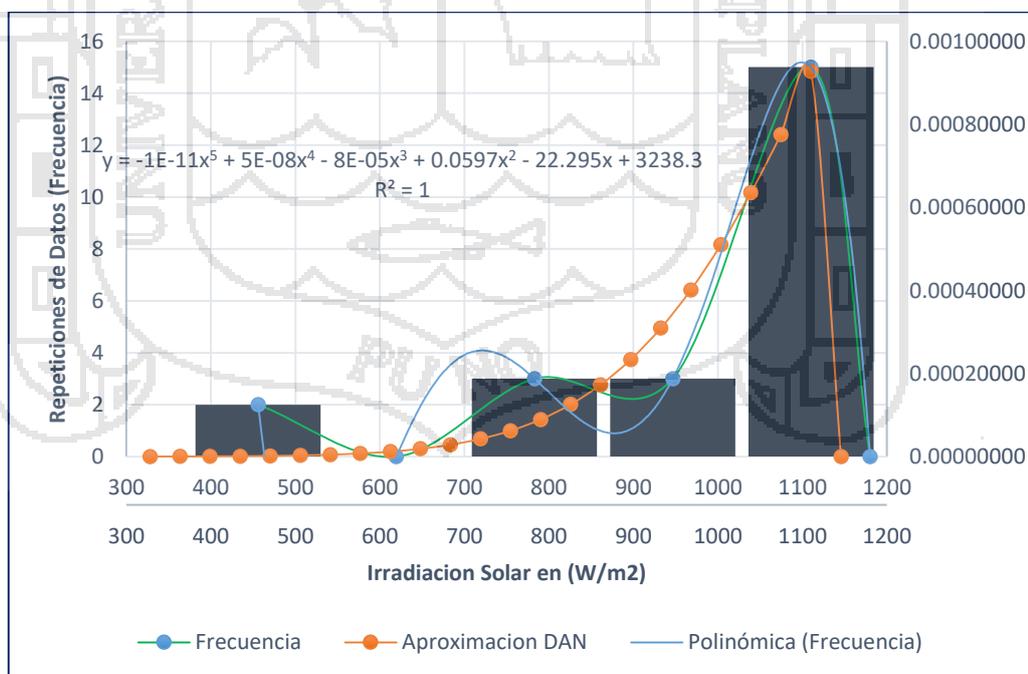


Figura 37. Aproximación por distribución Asimétrica Negativa y Polinómica.

Fuente: Elaboración propia

Comparando la figura 36 de Frecuencia con la figura 37 de Distribución Asimétrica Negativa, tiene un parecido similar con el cual este método se aproxima con la Distribución Asimétrica Negativa.

Usando la Interpolación Polinómica se obtiene un modelo matemático de 5º Grado con un alto valor de confianza de $R^2 = 99.29\%$, mostrado en la ecuación N° 12.

$$P_n(x_0) = a_0 + a_1x_0 + a_2x_0^2 + \dots + a_nx_0^n = y_0$$

$$P_n(x_1) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_1^2 + \dots + a_nx_1^n = y_1$$

$$P_n(x_2) = a_0 + a_1x_2 + a_2x_2^2 + \dots + a_nx_2^n = y_2$$

⋮

$$P_n(x_n) = a_0 + a_1x_n + a_2x_n^2 + \dots + a_nx_n^n = y_n$$

$$\begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \dots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(11)$$

$$I_R = -9606 + 3190.6t_{Hr} - 304.15t_{Hr}^2 + 4.9487t_{Hr}^3 + 0.6893t_{Hr}^4 - 0.0269t_{Hr}^5 \dots\dots\dots(12)$$

Donde:

- I_R = Irradiación Solar Aproximada en Juliaca en W/m2.
- t_{Hr} = Tiempo expresado en Horas.

Del resultado de la Distribución Asimétrica Negativa de la figura 37, con la figura 36 de frecuencias, 15 datos se aproximan a la Irradiación Solar de 1110.04 W/m2 (15 puntos con intervalos de tiempo de 30 min). Para determinar las Horas Sol Pico promedio global por día (HSP), de los 15

datos tendrían 14 intervalos lo que equivale a 7 horas, donde consideramos 6.5 (HSP), mostrado en la figura 38.

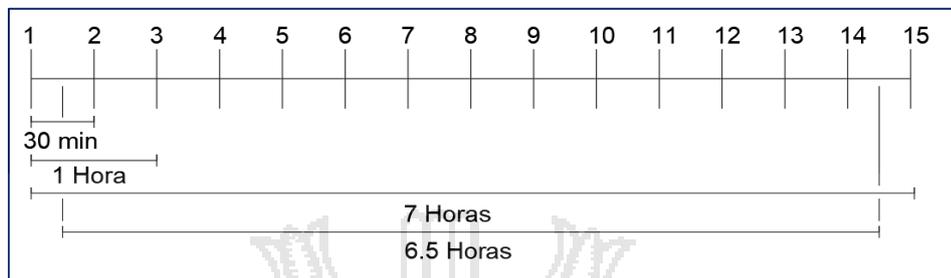


Figura 38. Intervalo de tiempo de Horas Sol Pico (HSP).
Fuente: Elaboración propia

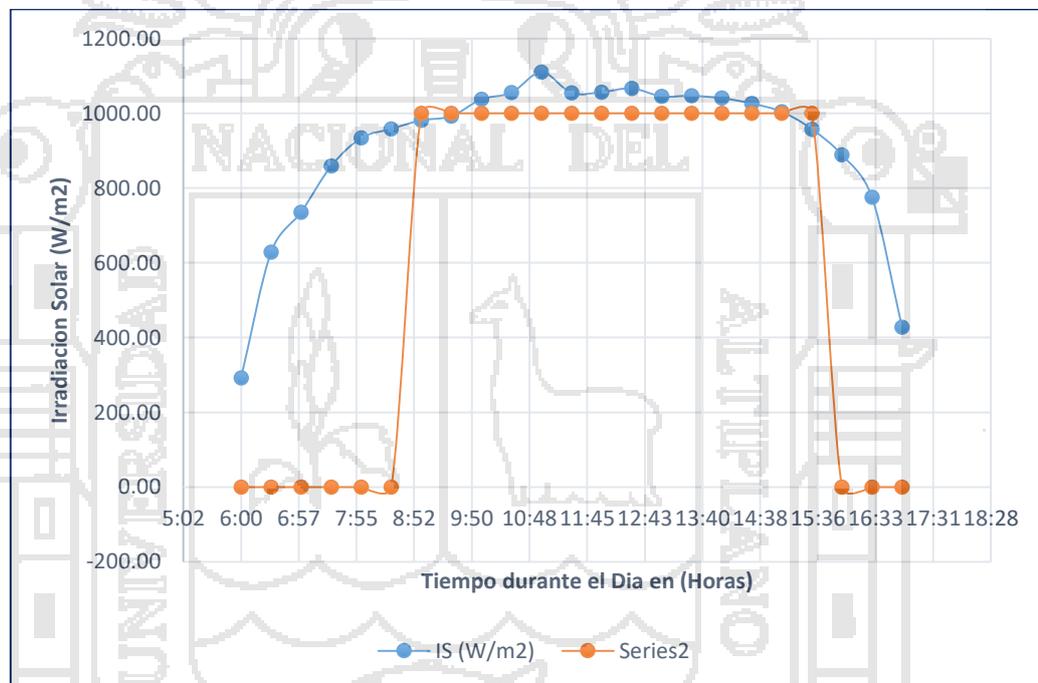


Figura 39. Horas Sol Pico promedio en Juliaca.
Fuente: Elaboración propia

En la figura 39 se muestra la Irradiación Solar promedio Global en HSP que se da en día, tomando como intervalo de trabajo el tiempo desde las 9:00 hasta la 13:00 horas como se observa en el grafico; además en el grafico 40 realizado en MATLAB se puede observar la simulación de comportamiento de la energía solar (Irradiación Solar) expresado del

gráfico de resultados que es la línea de color rojo y la aproximación matemática que es la línea de color verde.

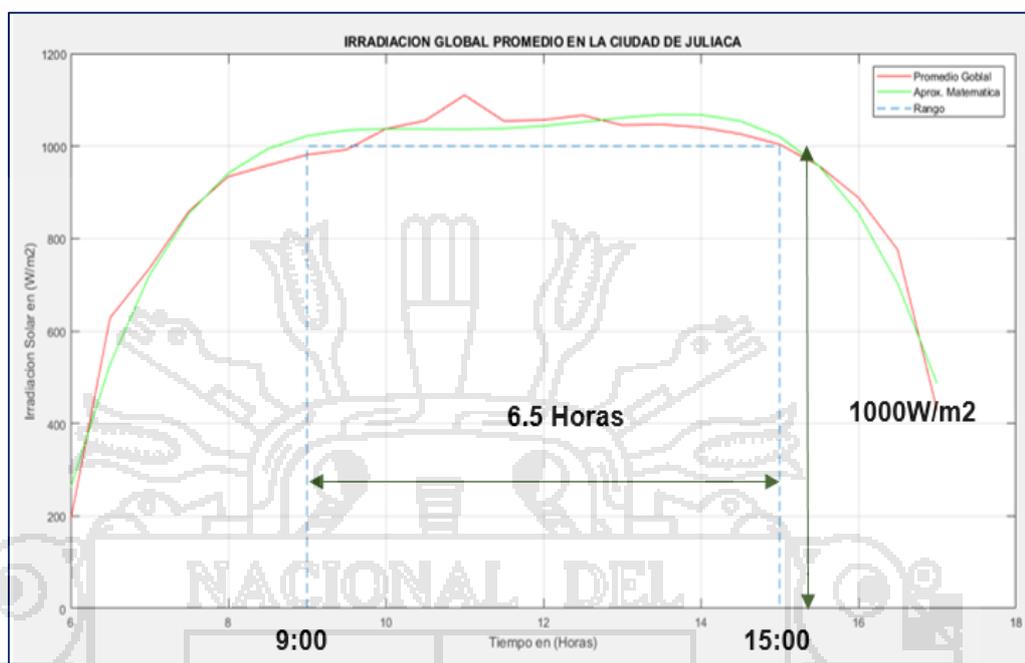


Figura 40. Hora Sol Pico promedio en Juliaca, MATLAB.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 7. (HSP) por semanas y global en la ciudad de Juliaca.

MES	SEMANAS	IRRADIACIÓN PROMEDIO (W/m2)	HSP en (W/m2), 9:00-15:00	HSP por Semana (kWH/m2/d)	HSP por Semana (kWH/m2/d)
JULIO	SEM. 1	853.63	1006.04	6.539	6.650
	SEM. 2	858.27	1017.89	6.616	
	SEM. 3	856.99	1016.61	6.608	
	SEM. 4	867.99	1027.61	6.679	
	SEM. 5	872.27	1031.89	6.707	
	SEM. 6	879.13	1038.75	6.752	
AGOSTO	SEM. 7	887.43	1031.29	6.703	6.108
	SEM. 8	842.26	1014.96	6.597	
	SEM. 9	675.27	802.70	5.218	
	SEM. 10	734.61	863.71	5.614	
	SEM. 11	861.84	985.56	6.406	
SEPTIEMBRE	SEM. 12	948.48	1073.75	6.979	7.105
	SEM. 13	946.32	1071.89	6.967	
	SEM. 14	970.96	1096.82	7.129	
	SEM. 15	992.36	1126.09	7.320	
	SEM. 16	931.56	1096.50	7.127	
GLOBAL		873.71	1110.04	6.623	

Fuente: Elaboración Propia

Del cuadro 7 tenemos la Irradiación Solar semanal, mensual y Global para poder diseñar los sistemas solares Fotovoltaicos y Térmicos.

Para lo cual usaremos las Horas Sol Pico **HSP = 6.623 kWh/m2/día**, para el diseño de sistema fotovoltaicos y térmicos como **Línea Base**.

3.5.2 Análisis de Distribución por la Metodología Weibull.

Para determinar si nuestros datos obtenidos tienen comportamiento lineal y son fiables usaremos el análisis de la Distribución de Weibull, Analizaremos los datos de la siguiente manera:

Cuadro 8. Análisis por la Metodología WEIBULL.

Puntos	Irradiación Solar (Ira) (W/m2)	Acumulado (%)	Distr. X	Distr. Y
1	327.892	2.99%	5.7926858	-3.49426385
2	363.445	7.26%	5.895627072	-2.58463291
3	398.997	11.54%	5.988953508	-2.09880932
4	434.549	15.81%	6.074308754	-1.75957855
5	470.101	20.09%	6.152947974	-1.49516102
6	505.653	24.36%	6.225851387	-1.27592941
7	541.206	28.63%	6.293799133	-1.08670159
8	576.758	32.91%	6.357422272	-0.91860513
9	612.31	37.18%	6.417238507	-0.76595763
10	647.862	41.45%	6.473677806	-0.62485287
11	683.414	45.73%	6.52710117	-0.49243898
12	718.966	50.00%	6.577814638	-0.36651292
13	754.519	54.27%	6.626079908	-0.24527122
14	790.071	58.55%	6.672122508	-0.12714027
15	825.623	62.82%	6.71613817	-0.01064344
16	861.175	67.09%	6.758297858	0.105724574
17	896.727	71.37%	6.798751779	0.223646222
18	932.279	75.64%	6.837632612	0.345198231
19	967.832	79.91%	6.875058133	0.473231859
20	1003.38	84.19%	6.911133368	0.612155758
21	1038.94	88.46%	6.945952367	0.76986942
22	1074.49	92.74%	6.979599686	0.963978487
23	1110.04	97.01%	7.01215162	1.255448208

Fuente: Elaboración propia

Considerando la Distribución Asimétrica Negativa, calculamos el Acumulado en forma porcentual y la distribución X – Y en forma de Logaritmo Natural de la siguiente manera:

$$Acumulado = \frac{Punto_i - 0.3}{n + 0.4} \dots\dots\dots(13)$$

$$Distr_x = \ln(I_{ra}) \dots\dots\dots(14)$$

$$Distr_y = \ln(-\ln(1 - Acumulado)) \dots\dots\dots(15)$$

Donde:

- $Distr_x$ = Distribución en el eje X.
- $Distr_y$ = Distribución en el eje Y.
- I_{ra} = Irradiación Solar acumulada en (W/m2).
- $Punto_i$ = Puntos tomados en la distribución.

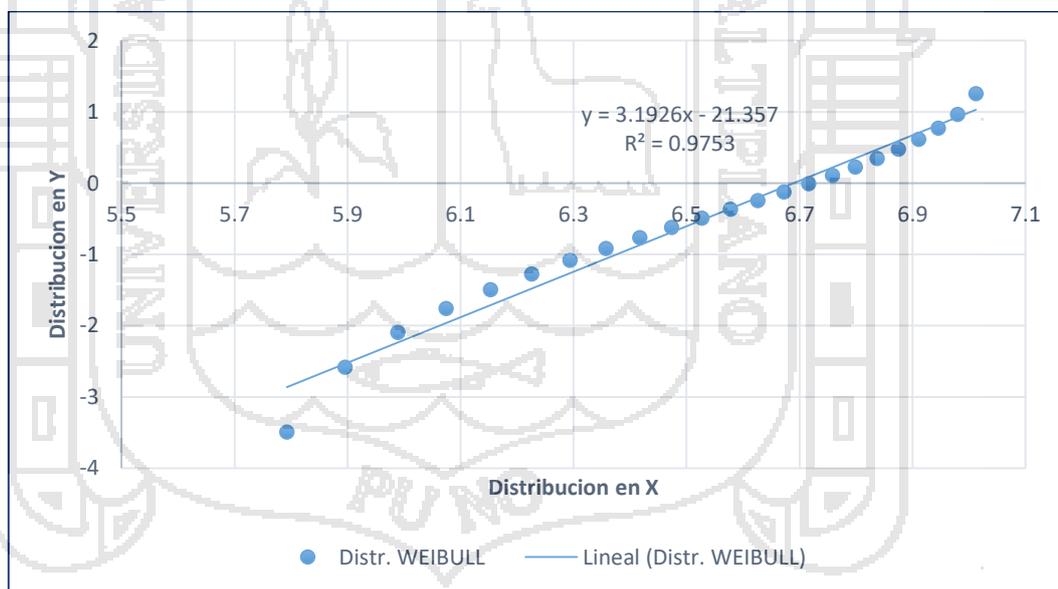


Figura 41. Aproximación por distribución WEIBULL.

Fuente: Elaboración propia

Con esta metodología comprobamos que los datos acumulativos de la distribución anterior tienen una tendencia lineal con un nivel de confianza de $R^2 = 97.53\%$.

Usando en Software WEIBULL SOFT, donde se introduce los datos acumulados de la Distribución Asimétrica Negativa, observamos la figura 42 que es similar a la figura 41, corroborando así la distribución anterior.

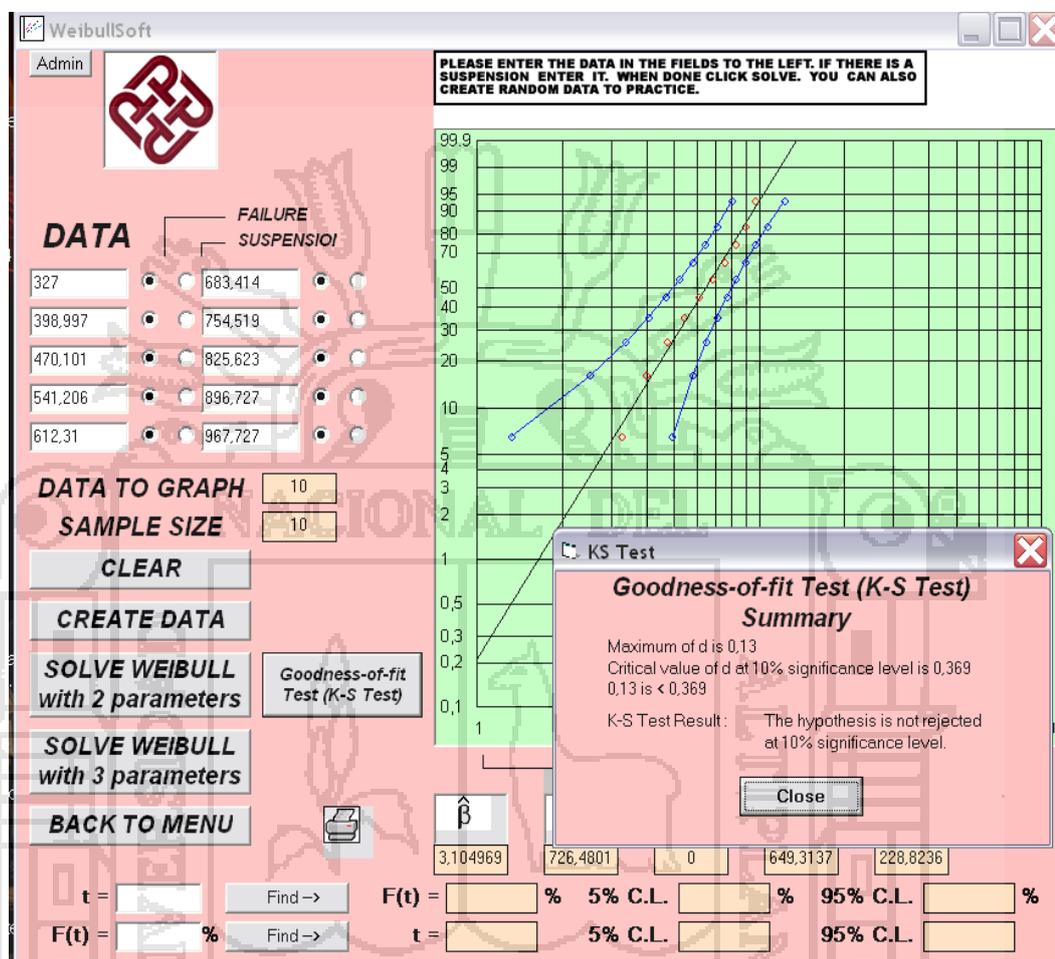


Figura 42. Aproximación por distribución WEIBULL SOFT.
Fuente: (Tsang, 2015)

3.5.3 Utilizando el software SPSS STADISTIC

Es un software estadístico para el análisis profundo de investigaciones cuantitativas y cualitativas; en esta investigación usaremos este software para ratificar la metodología usada anteriormente.

Para ello ingresaremos los datos y la Irradiación Solar promedio global por día, en días no nublados, mostrado en la figura 43.

	Irradiacion_Solar	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	1,00	279,68										
2	2,00	595,33										
3	3,00	708,50										
4	4,00	822,42										
5	5,00	886,86										
6	6,00	931,72										
7	7,00	949,87										
8	8,00	976,74										
9	9,00	987,91										
10	10,00	1011,11										
11	11,00	1075,42										
12	12,00	1040,30										
13	13,00	1027,23										
14	14,00	1012,20										
15	15,00	1005,81										
16	16,00	988,41										
17	17,00	975,62										
18	18,00	972,33										
19	19,00	958,11										
20	20,00	906,97										
21	21,00	846,43										
22	22,00	703,23										
23	23,00	388,44										

Figura 43. Análisis estadístico, SPSS.

Fuente: Elaboración propia

Considerando la prueba de Kolmogorov-Smirnov, si el nivel de significancia es: $P > 0.05$ entonces se acepta la hipótesis nula y los datos se distribuyen de manera Normal, si $P < 0.05$ entonces se acepta la hipótesis alterna y los datos se distribuyen de manera Asimétrica; mostrado en la figura 44 se observa un nivel de significancia de $P = 0.004$.

		Irradiacion_Solar
N		23
Parámetros normales ^{a, b}	Media	871,7670
	Desviación estándar	207,52968
Máximas diferencias extremas	Absoluta	,225
	Positivo	,165
	Negativo	-,225
Estadístico de prueba		,225
Sig. asintótica (bilateral)		,004 ^c

a. La distribución de prueba es normal.
 b. Se calcula a partir de datos.
 c. Corrección de significación de Lilliefors.

Figura 44. Prueba de Komogorov-Smirnov.

Fuente: Elaboración propia

Para verificar si tiene una distribución Asimétrica Positiva o Negativa, observamos en la figura 45 donde dice asimetría si el valor esta entre (0 – 3) entonces se considera distribución asimétrica positiva y si el valor es negativo hasta -3 como se ve en el grafico -1.772 entonces se considera una **Distribución Asimétrica Negativa**.

→ **Frecuencias**

Estadísticos

Irradiacion_Solar		
N	Válido	23
	Perdidos	0
Media		871,7670
Desviación estándar		207,52968
Asimetría		-1,772
Error estándar de asimetría		,481
Curtosis		2,657
Error estándar de curtosis		,935
Mínimo		279,68
Máximo		1075,42

Figura 45. Prueba de Asimetría Negativa o Positiva.
Fuente: Elaboración propia

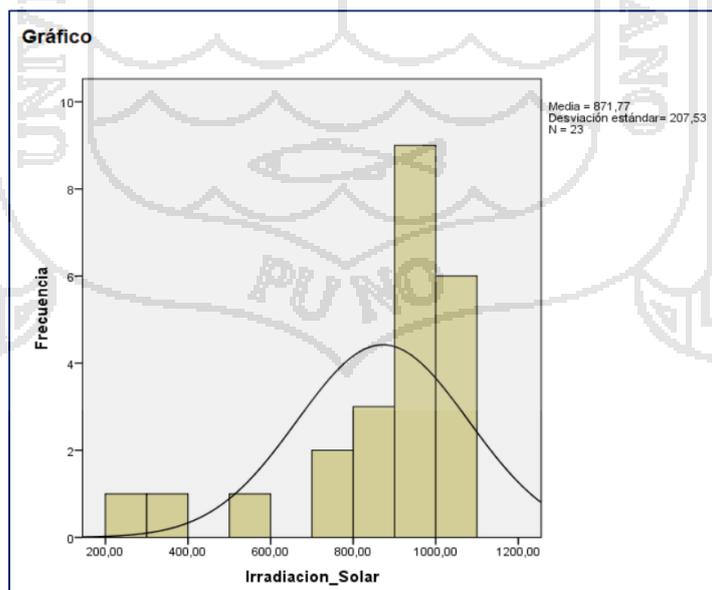


Figura 46. Histograma de frecuencia de Irradiación Solar.
Fuente: Elaboración propia

3.6 DISEÑO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO, TÉRMICO PARA LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA

3.6.1 Diseño y Montaje del Módulo Solar Fotovoltaico

El sistema Fotovoltaico está constituido por un Panel solar Fotovoltaico de 100W de potencia máxima entregada a una irradiación solar de 1000 W/m², posee una armazón o estructura metálica diseñada y construida con dos grados de libertad por ser un sistema que cuenta con un seguidor solar.

Las características de los elementos constituyentes del módulo solar fotovoltaico son los siguientes:

3.6.1.1 Panel Solar Fotovoltaico

El Panel Solar Fotovoltaico tiene las siguientes características:

- Tipo : Mono cristalino
- Potencia : 100 W
- Irradiación Solar : 1000 W/m²
- Tensión en Vacío : 22.7 V
- Tensión Nominal : 18.8 V
- Corriente Máximo : 6.85 A
- Corriente en c.c. : 5.32 A
- Rango de Temp. : -40°C a 80 °C
- Dimensiones : 1010x660x35 mm

3.6.1.2 Regulador de Carga

Se tiene un regulador de carga de 15A para el control de sobrecarga del panel solar fotovoltaico cuando se carga la batería seca y cuando se suministra energía al inversor (Carga).

3.6.1.3 Batería Solar

El sistema solar Fotovoltaico tiene una batería seca para paneles solares fotovoltaicos de 90 Ah (Amperios por Hora), trabaja a una tensión nominal de 12v.

3.6.1.4 Inversor

El inversor es el encargado de transformar la energía de Corriente Directa a Corriente Alterna para poder utilizar la energía en el sector residencial a una tensión de 220v, posee una potencia de 300W.

3.6.1.5 Estructura Metálica

El Panel Solar Fotovoltaico está sujeto a una estructura construido con acero ASTM, diseñado con dos grados de libertad (Movimiento horizontal y vertical) para que pueda aprovechar mejor la irradiación de la energía solar. La estructura solar está pintada con pintura Martillada para una mayor duración, resistencia a la corrosión y ambiente externo brusco.

El Modulo Solar Fotovoltaico, construido en su totalidad y mostrado en la figura 47.



Figura 47. Modulo Solar Fotovoltaico instalado en Juliaca.
Fuente: Elaboración propia

3.6.2 Diseño y Montaje del Colector Solar Térmico

Para el sistema de agua caliente, se utilizó un Colector Solar Térmico de tubos de vacío por efecto termosifón (diferencia de presiones) para poder calentar agua usando energía renovable limpia.

Las características de los elementos constituyentes del colector solar térmico son los siguientes:

3.6.2.1 Tubos de Vacío

El Colector Solar Térmico, consta con 8 tubos de vacío de cristal oscuro gris en el cual cada tubo de vacío consta de dos tubos en su interior, que por diferencia de presiones (densidad alta y baja), conocida por el efecto termosifón calienta el agua aprovechando la energía solar.

3.6.2.2 Reservorio

Se tiene un reservorio de 200 Litros de almacenamiento, que está recubierto con material aislante para evitar las pérdidas de calor sobre todo en la noche.

3.6.2.3 Estructura Metálica

La estructura de la terma solar está constituida de acero pintada con secado al horno para una mayor duración y resistencia a la corrosión durante el tiempo.



Figura 48. Colector Solar Térmico instalado en Juliaca.
Fuente: Elaboración propia

3.6.3 Sistema de Control y Accionamiento del Proceso

Para este proceso se cuenta con los siguientes dispositivos:

3.6.3.1 Controlador Lógico Programable (PLC) Modicon TM241

El Modulo de energía solar; cuenta con un Controlador Lógico Programable (PLC) modelo: Modicon TM241, con la finalidad controlar el flujo de caudal y monitorear en tiempo real el proceso

de medición de temperatura del Panel solar Fotovoltaico, Terma Solar y el suelo radiante; mostrado en la figura 49.

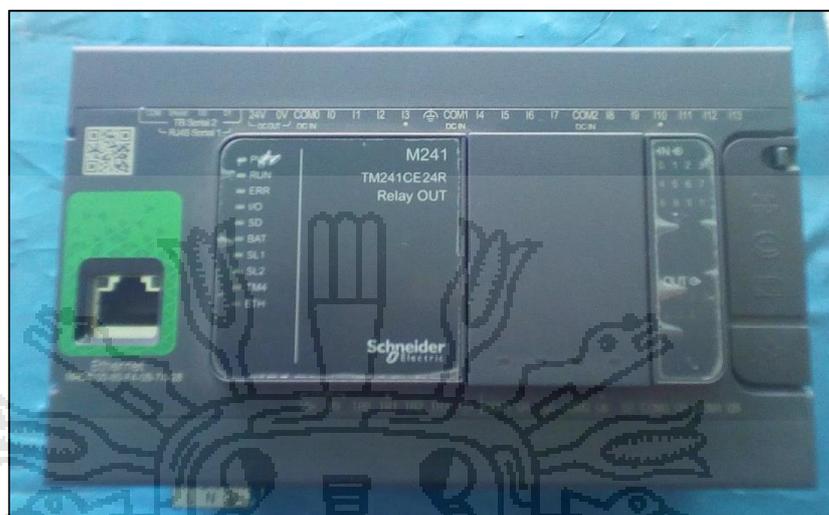


Figura 49. Controlador Lógico programable, Modicon TM241.
Fuente: Elaboración propia

3.6.3.2 Sensor de Temperatura Analógico PT-100

PT-100; es un sensor de temperatura de Platino pertenece a la familia de los RTD (Detector de Temperatura resistivo) también llamado Sonda de Temperatura, tiene una resistencia, cuando la temperatura está a 0°C la resistencia es igual a 100 Ohm. Tiene un rango de (-50 °C a 250 °C) muy usado en aplicaciones industriales, la Sonda de Temperatura se muestra en la figura 50.



Figura 50. Sonda de Temperatura PT-100.
Fuente: Elaboración propia

3.6.3.3 Variador de Frecuencia Solar

Es un actuador y controlador; que se encarga de transformar la energía de corriente continua a energía trifásica que requiere la electrobomba centrífuga para impulsar agua caliente, tiene una potencia de 0.25 HP, mostrado en la figura 51.



Figura 51. Variador de Frecuencia Solar.
Fuente: Elaboración propia

3.6.3.4 Electrobomba Centrífuga Trifásica

Tiene la función principal de transportar el agua caliente que es suministrada por el colector solar térmico y enviarla a la vivienda bioclimática, tiene una potencia de 0.25 HP y una tensión de 220v.



Figura 52. Electrobomba Centrífuga Trifásica.
Fuente: Elaboración propia

3.7 METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDAS

Para modelar el comportamiento de la Energía Solar en el diseño de Bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca se sigue la siguiente metodología:

3.7.1 Metodología de cálculo del Módulo Solar Fotovoltaico

3.7.1.1 Cálculo de Inclinación del Panel Solar Fotovoltaico

Para determinar el Angulo de inclinación tomando la metodología de (Richard Perez, 1993), se llevara a cabo el cálculo de inclinación del módulo Solar Fotovoltaico con la latitud y longitud de la ciudad de Juliaca de: Latitud = 15.490833; Longitud = 70.126944.

La Declinación del sol D se puede calcular de la siguiente manera:

$$D = 23.5^\circ \operatorname{sen}\left(\frac{T}{365.25} \times 360^\circ\right) \dots\dots\dots(16)$$

Donde T es el número de días transcurridos a partir del equinoccio de la primavera. El Angulo del panel A esta dado por:

$$A = L - D \dots\dots\dots(17)$$

Donde L es la latitud del sitio. Sustituyendo (1) en (2) se tiene que el ángulo del panel es:

$$A = L - 23.5^\circ \operatorname{sen}\left(\frac{T}{365.25} \times 360^\circ\right) \dots\dots\dots(18)$$

Para determinar el ángulo de inclinación de los paneles, para las cuatro épocas se recomienda utilizar la figura 53:

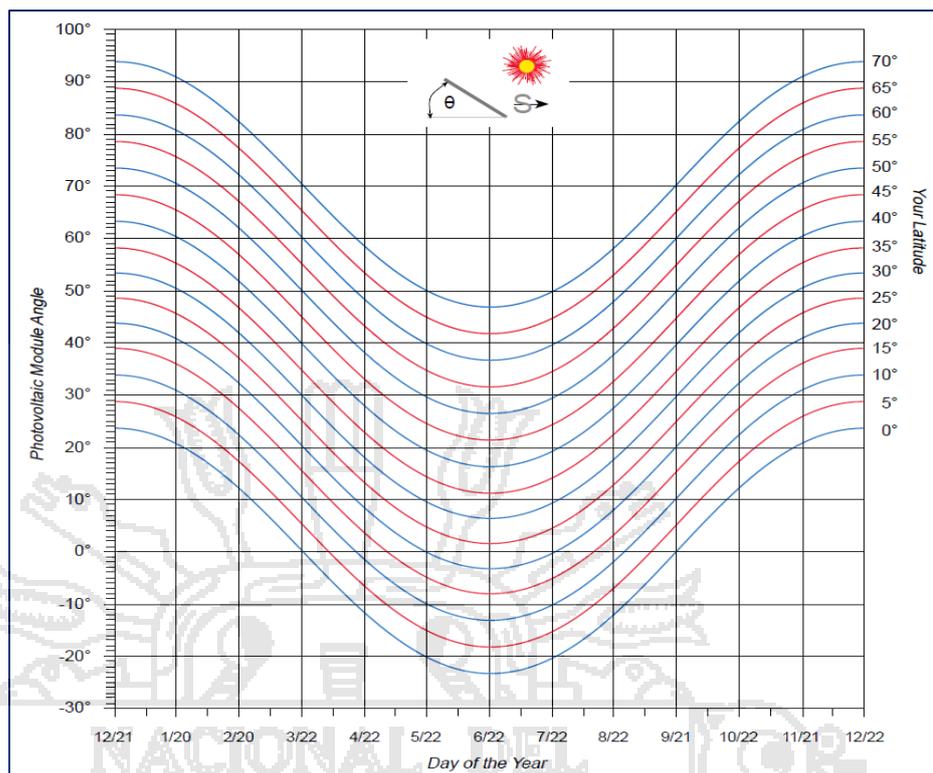


Figura 53. Ángulos de Inclinación del panel solar para diferentes latitudes.

Fuente: (Richard Perez, 1993)

Según esta metodología propuesta por (Richard Perez, 1993), el ajuste del ángulo se debe de realizar al menos cuatro veces al año y la estrategia consiste en calcular el ángulo para una fecha intermedia entre esos ajustes. Se menciona que las fechas recomendadas para realizar los ajustes son a mediados de febrero, abril, agosto y octubre. Por tanto, las fechas con las que se realiza el cálculo corresponden a los equinoccios y solsticios. Los solsticios son los días 21 de junio y 21 de diciembre, mientras que los equinoccios son los días 21 de marzo y 21 de setiembre.

$$A_1 = 15.490833^\circ - 23.5^\circ \operatorname{sen}\left(\frac{0}{365.25} \times 360^\circ\right) = 15.490833^\circ \dots (21 - \text{marzo})$$

$$A_2 = 15.490833^\circ - 23.5^\circ \operatorname{sen}\left(\frac{92}{365.25} \times 360^\circ\right) = -8.007523^\circ \dots (21 - \text{junio})$$

$$A_3 = 15.490833^\circ - 23.5^\circ \operatorname{sen}\left(\frac{184}{365.25} \times 360^\circ\right) = 16.046634^\circ \dots (21 - \text{set.})$$

$$A_4 = 15.490833^\circ - 23.5^\circ \operatorname{sen}\left(\frac{275}{365.25} \times 360^\circ\right) = 38.986907^\circ \dots (21 - \text{dic.})$$

Como se puede observar en los resultados, este método se puede utilizar muy bien de manera práctica, sin embargo, al aplicar esta metodología se gana más exactitud, para las cuatro estaciones, los resultados se muestran en la figura 54.

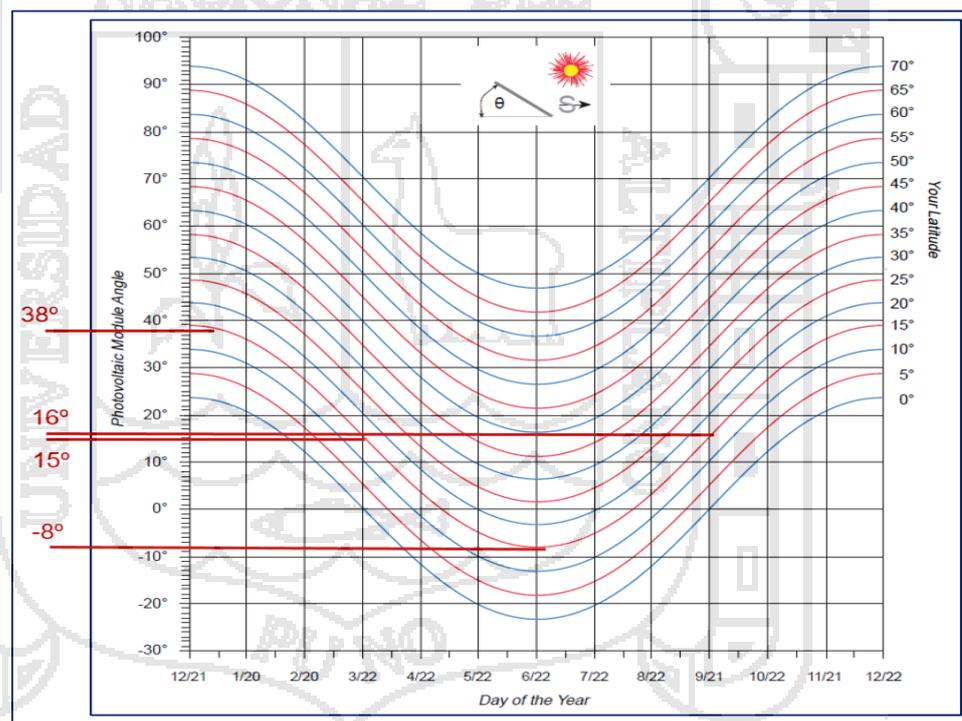


Figura 54. Ángulos de inclinación de paneles solares en las 4 estaciones.

Fuente: (Richard Perez, 1993)

La orientación de los paneles respecto a la horizontal se muestra en la figura 55.

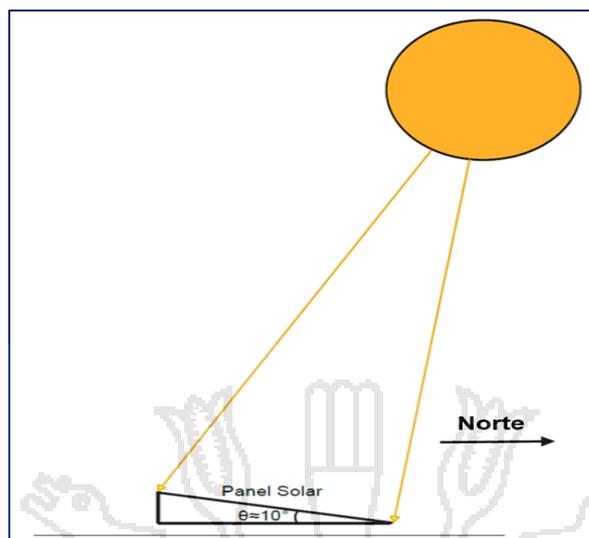


Figura 55. Orientación de los Módulos para los equinoccios.
Fuente: (Hassboun, El Bahir, Aite Driss, & El Adnani, 2016)

3.7.1.2 Cálculo de Potencia del Panel Solar Fotovoltaico

Para calcular la potencia del panel solar fotovoltaico para el diseño bioclimático de viviendas en la ciudad de Juliaca, debemos tener como base el consumo doméstico.

Cuadro 9. Consumo eléctrico doméstico ecológico.

ÍTEM	EQUIPO	TIPO	POTENCIA (W)	USO (Horas/día)	POTENCIA (WH/Día)
01	Dispositivos de Iluminación.	Led	8x4 W	3	96
02	Televisor	Led	80 W	3	240
03	Radio	Hogar	12 W	2	24
04	Reproductor DVD - BR	Hogar	25 W	1	25
05	Electrobomba Centrifuga	Motor	0.25 HP	0.75	139.875
06	Laptop	PC	90 W	1	90
TOTAL			425.5 W		614.875W H/Día

Fuente: Elaboración Propia

El consumo de energía eléctrica promedio en una vivienda Bioclimática, se aproxima a 614.875 Wh/d.

Considerando el rendimiento de los dispositivos a usarse en el sistema Solar Fotovoltaico:

- Rendimiento del Regulador de Carga ($n_{Reg.}$) : 95%
- Rendimiento de las Baterías ($n_{Bat.}$) : 94%
- Rendimiento del Inversor ($n_{Inv.}$) : 96%

Teniendo los rendimientos considerados para la potencia consumida por hora sería (P_{CH}) :

$$P_{CH} = \frac{P_T}{(\text{rendimiento})} \dots\dots\dots(19)$$

$$P_{CH} = \frac{614.875}{0.95 \times 0.94 \times 0.96} = 717.239 \text{Wh} / d$$

Considerando la Irradiación Solar Promedio Global (I_G) es 1000 W/m², según a la Hora Solar Pico (HSP) Ideal tenemos que:

$$HSP_{Ideal} = 24 \text{kWh} / m^2 / d = 1000 \text{W} / m^2 \dots\dots\dots(20)$$

Considerando la Irradiación Solar Promedio de la ciudad de Juliaca (I_J) es 1010.04W/m², considerando en la figura 56 el rango de Hora Solar Pico (HSP) promedio en la ciudad de Juliaca es:

$$HSP_{Real} = 6.623 \text{kWh} / m^2 / d \rightarrow 1010.04 \text{Wh} / m^2 \dots\dots\dots(21)$$



Figura 56. Hora Sol Pico promedio en Juliaca.
Fuente: Elaboración propia

Calculando la Potencia del Panel solar Fotovoltaico; que hay en el mercado son los Mono cristalinos con una Tensión de Trabajo max. (E_{pm}) de 18.8v, y Corriente pico max. (I_{pm}) de 5.32A, para una Potencia pico (P_{Pico_panel}) de 100W, considerando un Factor de Seguridad (F_s) del rango (1.2 – 1.5) y una eficiencia de 95%.

$$P_{panel} = \frac{P_{CH} \times F_s}{HSP_{Real} \times eficiencia_{Panel}} \dots\dots\dots(22)$$

$$P_{panel} = \frac{717.239 \times 1.2}{6.623 \times 0.95} = 136.79Watt$$

Calculando el Numero de Paneles Solares Fotovoltaicos (N):

$$N = \frac{P_{Panel}}{P_{Pico_panel}} \dots\dots\dots(23)$$

$$N = \frac{136.79}{100} = 1.3679 = 2Paneles$$

3.7.1.3 Regulador de Carga, Batería, Inversor y Variador

Para dimensionar el Regulador de Carga, sabiendo que el sistema contara con dos módulos solares fotovoltaicos conectados en paralelo, que entregan una Corriente Máxima de 5.32 A cada uno, entonces la intensidad del regulador de carga será el inmediato superior el cual es de 15 A, teniendo la siguiente formula.

$$I_{Regulador} = I_{max_modulo} \dots\dots\dots(24)$$

$$I_{Regulador} = 5.32 \times 2 = 10.64A$$

La capacidad de acumulación de las baterías, se establece según a la autonomía deseada en expresada en días (vida útil de la batería), con una Profundidad de Descarga ($P_{Descarga}$) de 60%.

$$C_{Bateria} = \frac{P_{CH} \times Autonomia}{Tension \times P_{Descarga}} \dots\dots\dots(25)$$

$$C_{Bateria} = \frac{717.239 \times 1}{12 \times 0.6} = 99.6165Ah$$

Calculando la capacidad del Inversor, se tiene que considerar el Coeficiente de Simultaneidad ($C_{Simul.}$) entre los valores de (0.5 – 0.7), la Potencia Instantánea (P), para así determinar la Potencia del Inversor ($P_{Inv.}$).

$$P_{Inv.} = P \times C_{Sim.} \dots\dots\dots(26)$$

$$P_{Inv.} = 425.5 \times 0.7 = 297.85W , \text{ el cual equivale a } 300W.$$

Usaremos un Variador de Frecuencia Solar de 0.25HP, 220v, para el control de la Electrobomba Centrífuga.

3.7.2 Dimensionamiento del Colector Solar de Tubos de Vacío

Tomando como referencia el Cuadro 10, del consumo de agua caliente usado por diferentes sectores se tiene:

Cuadro 10. Consumo de agua caliente promedio en litros/persona (l/p).

Uso Domestico	<ul style="list-style-type: none"> • Baños. • Cocina y lavado. 	25L/P 5L/P
Hoteles	<ul style="list-style-type: none"> • Por cama personal. 	30L/P
Hospitales	<ul style="list-style-type: none"> • Por cama personal. 	35L/P
Cafeterías	<ul style="list-style-type: none"> • Por Turno 	5L/P

Fuente: Elaboración Propia

Para dimensionar el uso diario de agua caliente por persona, si en la vivienda bioclimática hay (3 – 4) personas que consumen promedio de 120 Litros de agua caliente diario, dimensionaremos la capacidad del Colector de Tubos de Vacío, donde: $m = \text{masa}$, $\delta = \text{Densidad}_{\text{agua}}$, $V = \text{Volumen}$.

$$m = \delta \times V \dots\dots\dots(27)$$

$$\delta = 994 \text{kg} / \text{m}^3$$

$$m_1 = 994 \times 0.12 = 119.18 \text{kg}$$

Calculando el Calor útil que necesita el Colector Solar térmico:

$$Q_u = \frac{m \times C_p \times (T_{\text{tanque}} - T_{\text{ent}})}{\Delta t} \dots\dots\dots(28)$$

$$m = \text{masa}$$

$$C_p = \text{Calor}_{\text{Especifico}}_{\text{del}}_{\text{agua}} = 4.18 \text{kJ} / \text{kg}^{\circ} \text{K}$$

$$T_{\text{tanque}} = \text{Temperatura}_{\text{Final}} = 70^{\circ} \text{C}$$

$$T_{\text{ent}} = \text{Temperatura}_{\text{Entrada}} = 20^{\circ} \text{C}$$

$$\Delta t = \text{Intervalo}_{\text{tiempo}}_{\text{absorción}}_{\text{agua}} = 3600 \text{seg.}$$

$$Q_u = \frac{119.28 \times 4180 \times (70 - 20)}{3600} = 6924.86WH = 6.92486kWh$$

Calculando el Área de la Superficie del Colector Solar térmico:

$$A_c = \frac{Q_u}{HSP \times n_{colector}} \dots\dots\dots(29)$$

$A_c = Area_Colector$

$n_{colector} = Eficiencia_Colector = 75\%$

$$A_c = \frac{6.92486}{6.623 \times 0.75} = 1.3941m^2$$

Calculando el Numero de Tubos de vacío (N_{tubos}) del Colector Solar:

$$N_{tubo} = \frac{2 \times A_c}{\pi \times D_e \times L} \dots\dots\dots(30)$$

$D_e = Diametro_Exterior$

$L = Longitud_Tubo$

$$N_{tubo} = \frac{2 \times 1.3941}{\pi \times 0.058 \times 1.750} = 8.7439 = 9_Tubos$$

Finalmente, el Colector Solar Térmico de tubos de vacío a seleccionar en el mercado es de 130 litros con 10 tubos de vacío.

3.7.3 Diseño Bioclimático de da Vivienda Doméstica en la Ciudad de Juliaca

Primero, buscamos la orientación de la vivienda bioclimática en dirección del Norte Magnético como se muestra en la figura 57.

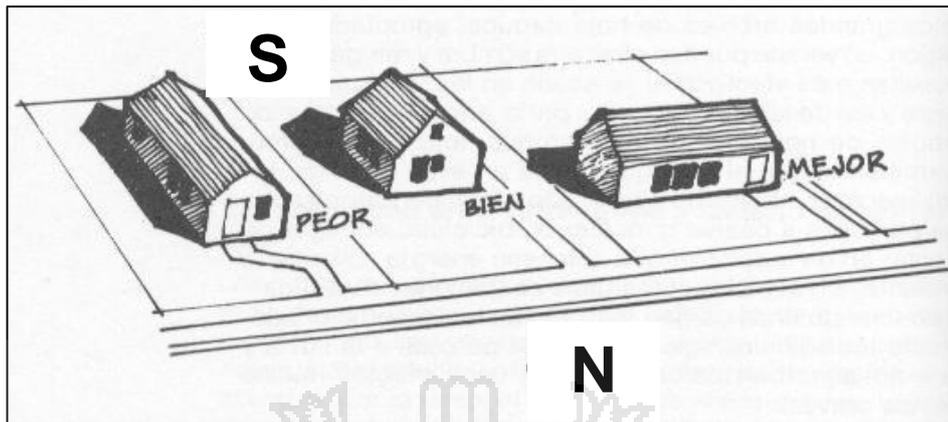


Figura 57. Orientación de la vivienda Bioclimática.
Fuente: Elaboración propia

Diseñamos la captación solar pasiva generando un efecto invernadero, según el cual la radiación penetra el vidrio, calentando los materiales dispuestos detrás suyo; el vidrio no deja escapar la radiación infrarroja emitida por estos materiales, por lo que queda confinada entonces en el recinto interior. Los materiales, calentados por la energía solar, guardan este calor y lo liberan, posteriormente, atendiendo a un retardo que depende de su inercia térmica.

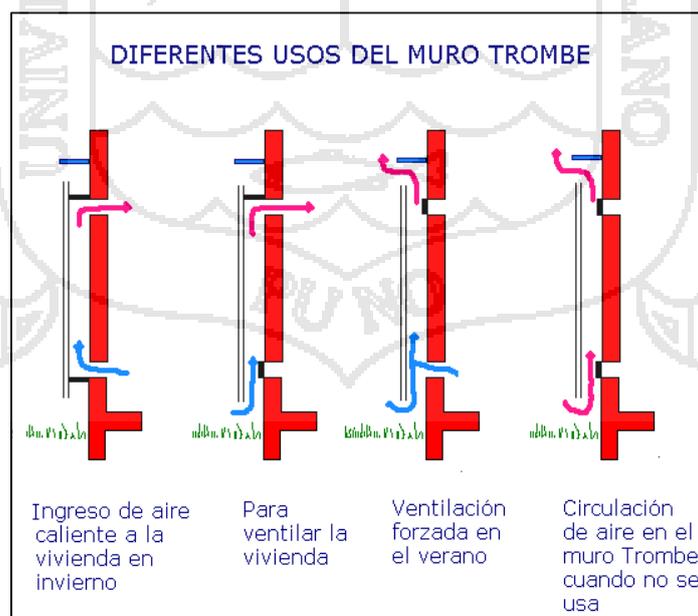


Figura 58. Muro Trombe en el diseño Bioclimático.
Fuente: Elaboración propia

Como la ciudad de Juliaca es una zona donde hace mucho frío y tiene un clima que no es templado, es muy recomendable usar el muro de Invernadero Adosado, considerando lo siguiente:

Climas fríos: de 0.25 a 0.5 m³ de grava 60 a 80 mm por m² de vidrio.

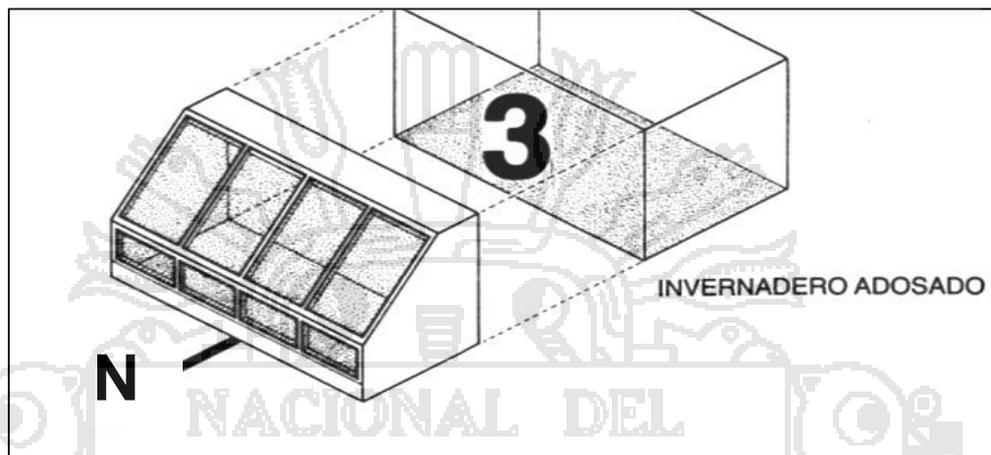


Figura 59. Invernadero Adosado.

Fuente: Elaboración propia

Para obtener una calefacción solar óptima durante el día, se tiene el siguiente sistema de funcionamiento mostrado en la figura 60, además de tener un sistema de ventilación como la chimenea solar.

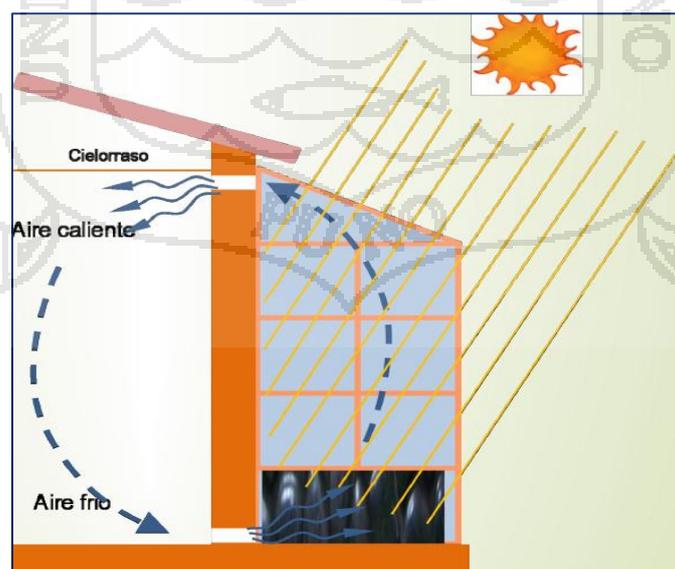


Figura 60. Sistema de Calefacción Solar.

Fuente: (Montes, 2015)

3.7.3.1 Dimensionamiento del Suelo Radiante

a) **Tubería de Cobre**; la composición del piso radiante será tubería de cobre para el prototipo experimental por metro cuadrado es:

Tipo de tubería: Tubo Flexible Tipo Usos Generales y Automotrices. Longitud del Tubo 3/8": 12 m, espesor ($e=0,6\text{mm}$).

Aplicaciones: Instalaciones de gas, automotrices y redes de agua en tendidos subterráneos.



Figura 61. Suelo Radiante con tuberías de Cu 3/8".

Fuente: Elaboración propia

b) **Aislamiento térmico**; los aislamientos térmicos que se utilizaran en el piso radiante de 1m^2 son:

- Lana de Vidrio: $1\text{m}^2 \times 0.03 \text{ m}$.
- Poliestireno Expandido: $0.5\text{m}^2 \times 0.02 \text{ m}$.
- Polietileno: $1\text{m}^2 \times 0.0001 \text{ m}$.
- Madera Machihembrado: $2.24\text{m}^2 \times 0.015 \text{ m}$.



Figura 62. Aislante de Suelo Radiante.

Fuente: Elaboración propia

Para evitar las pérdidas por el suelo, colocamos aislante en la parte inferior de plástico (polietileno), seguido de una capa de poliestireno expandido (tecnopor) y finalmente lana de fibra de vidrio para luego ser tapado con madera cubriendo 2.24m²; mostrado en la figura 63.



Figura 63. Colocando el Machihembrado.

Fuente: Elaboración propia

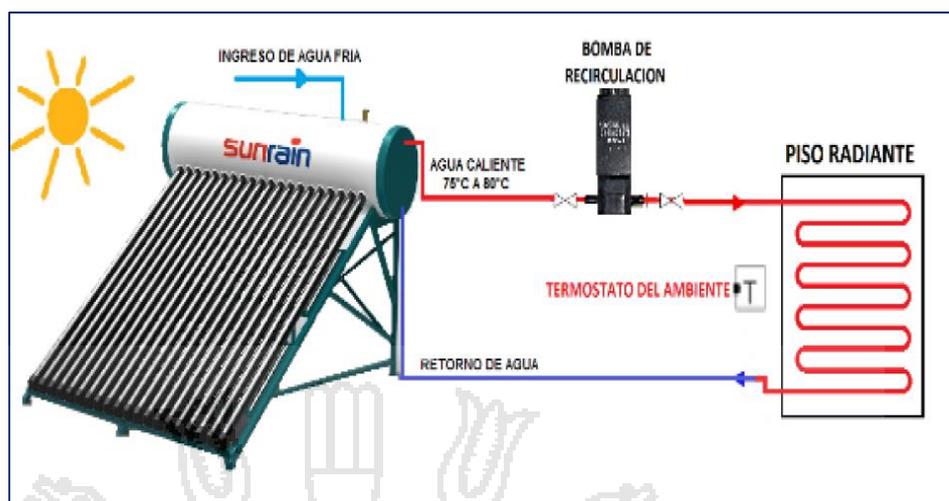


Figura 64. Instalación Hidráulica del sistema radiante.
Fuente: Elaboración propia



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desarrollando la metodología anterior de la determinación de la energía solar para el diseño de viviendas bioclimáticas, tenemos los siguientes resultados:

4.1 LA ENERGÍA SOLAR EN LA CIUDAD DE JULIACA

4.1.1 Variables de la Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en la ciudad de Juliaca

Se determinó las variables de la energía solar en la ciudad de Juliaca; observando en el Mapa Mundial de Irradiación Solar de la figura 65 la zona de color rosado registrada en Perú en la región Puno, registrándose valores muy altos mayores a 2300 Wh/m².

Además, tomando como base el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI; la energía solar incidente diaria promedio anual de los años (1975 - 1990), observados en la ciudad de Juliaca mostrándose la zona de color amarillo oscuro en la figura 66 con valores entre (6 - 6.5) kWh/m²/d; siendo la irradiación solar superior a este valor en la ciudad de Juliaca.

Utilizando un instrumento de medición de Irradiación Solar (Radiómetro MAC - SOLAR); donde se observó una irradiación solar máxima de 1291 W/m² siendo las 11:45 am en la ciudad de Juliaca en el mes de setiembre del año 2017 y una irradiación solar promedio de 1010.04 W/m² entre las 9:00 hasta las 15:00 horas, el cual es suficiente para que un panel solar Fotovoltaico funcione eficientemente porque las celdas fotovoltaicas necesitan una irradiación solar de 1000 W/m²; los colectores solares fotovoltaicos necesitan la misma irradiación solar para un óptimo funcionamiento además de aprovechar la radiación difusa y reflectante.

Además, se determinó las Horas Sol Pico promedio Global (HSP) en la ciudad de Juliaca de 6.623 kWh/m²/d.

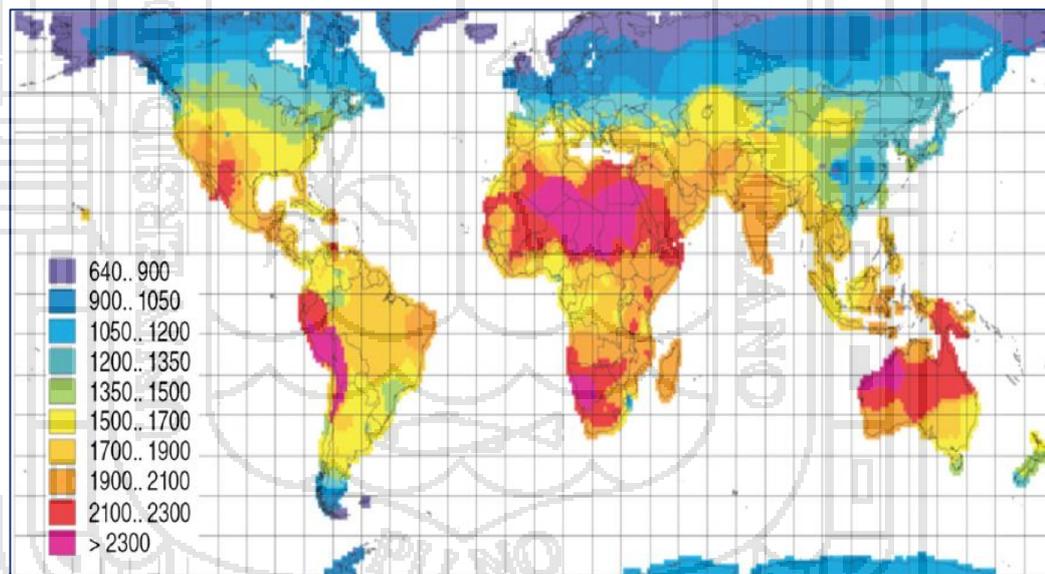


Figura 65. Irradiación Solar anual global Wh/m².
Fuente:(Rezk, Tyukhov, & Raupov, 2015)



Figura 66. Energía Solar Incidente diaria promedio anual.
Fuente: (SENAMHI, 2017)

Los factores que influyen en el modelamiento de la energía solar Fotovoltaica y Térmica para su aprovechamiento y utilización como energía renovable limpia en el diseño de viviendas bioclimáticas; es la Irradiación Solar y la Temperatura, tomados durante todo el día cada media hora con las siguientes características:

- Utilizando el instrumento de medición para medir la Irradiación Solar llamado Radiómetro, Modelo MAC-SOLAR SLM018C-2, durante todo el día. Tomando datos desde las 6:00 hasta las 15:00 horas durante los meses de Julio hasta Setiembre del año 2017. La medición de los datos se hizo de perpendicular a la dirección solar considerando el cambio de estación.
- También se utilizó una sonda de temperatura perteneciente a la familia de los RTD (Detector de Temperatura Resistivo) Industrial, que es controlado por un PLC Modicon TM241 la cual es instalada a un módulo analógico de control de temperatura y programado por un software

SOMACHINE CENTRAL para poder monitorear el proceso en tiempo real con la finalidad de detectar la temperatura del medio ambiente en la ciudad de Juliaca.

4.2 COMPORTAMIENTO DE LA IRRADIACIÓN SOLAR PROMEDIO

4.2.1 Comportamiento de la Irradiación Solar Promedio Global/día



Figura 67. Irradiación Solar global, realizado en los meses de julio a setiembre considerando la medición desde las 6:00 hasta las 17:00 horas. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 67, se realizó la medición de la Irradiación Solar durante 3 meses con un intervalo de media hora, el grafico muestra la tendencia promedio de cada día desde las 6:00 hasta las 17:00 horas; donde se puede observar que la Irradiación Solar es aproximadamente 873.71 W/m², el cual sería aprovechable en el Colector Solar y el efecto invernadero de las viviendas bioclimáticas.

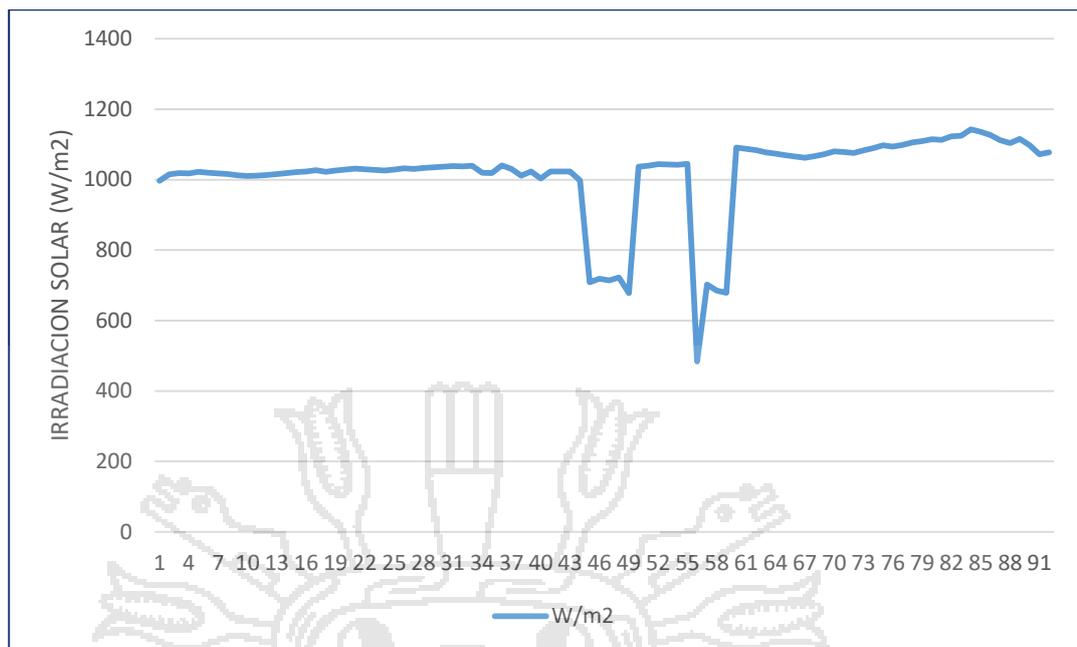


Figura 68. Irradiación Solar promedio global, realizado en los meses de julio a setiembre medidos desde las 6:00 hasta las 15:00 horas.
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 68, se realizó la medición de la Irradiación Solar durante 3 meses con un intervalo de media hora, el grafico muestra la tendencia promedio de cada día desde las 6:00 hasta las 17:00 horas; donde se puede observar que la Irradiación Solar es aproximadamente 1110.04 W/m², el cual sería aprovechable eficientemente en Paneles Solares Fotovoltaicos.

4.2.2 Comportamiento de La Irradiación Solar Promedio por semana

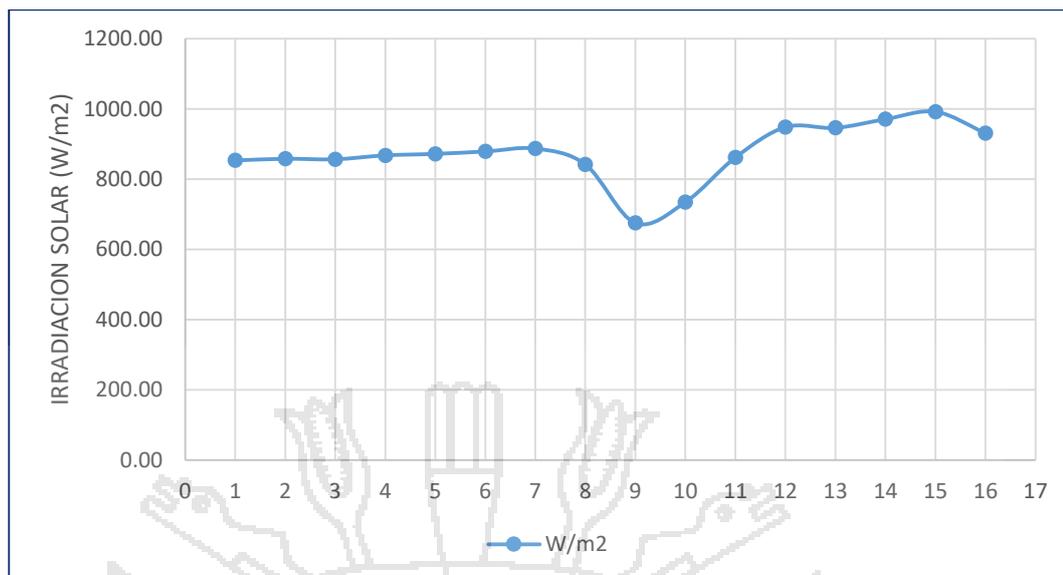


Figura 69. Irradiación Solar global por semana realizado en los meses de julio, agosto y setiembre medidos desde las 6:00 hasta las 17:00 horas.
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 69, se observa la Irradiación Solar por cada semana considerando un valor de 873.71 W/m2.

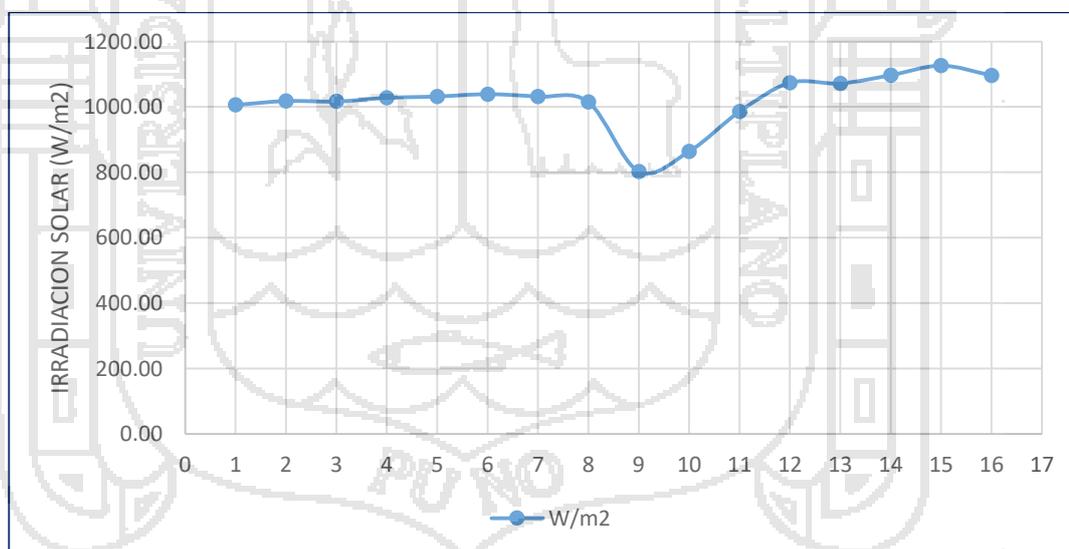


Figura 70. Irradiación Solar global por semana, realizado en los meses de julio, agosto y setiembre medido desde las 6:00 hasta las 15:00 horas.
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 70, se observa la Irradiación Solar por cada semana considerando un valor promedio pico de 1110.04 W/m2.

4.2.3 Comportamiento de la irradiación solar considerando las horas sol pico (hsp) por mes.

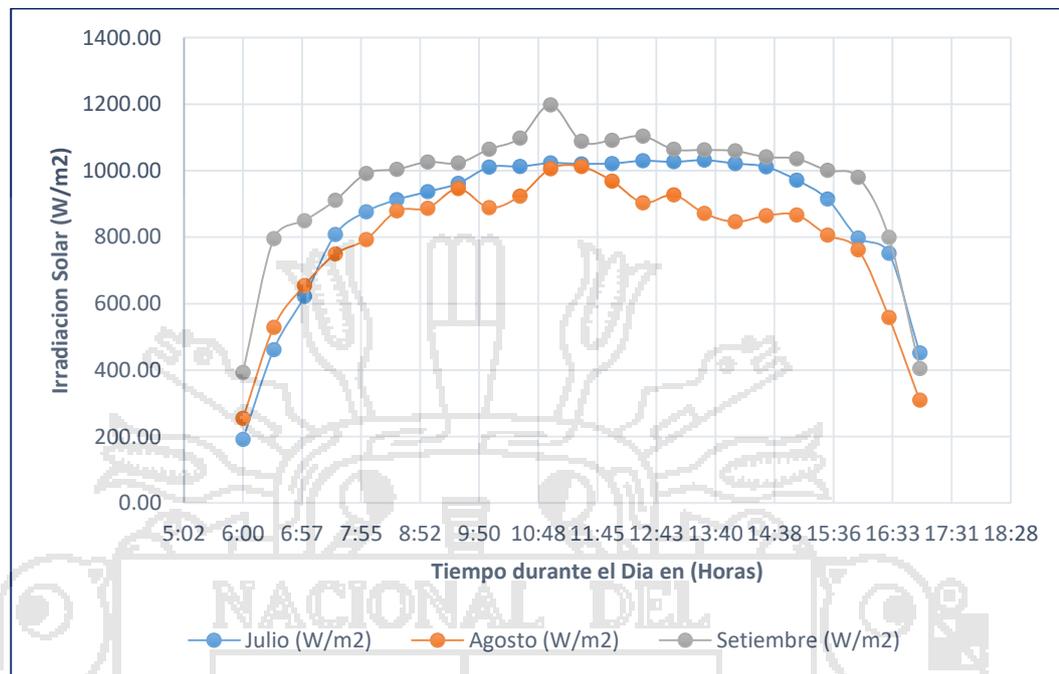


Figura 71. Irradiación Solar promedio mensual por día.
Fuente: Elaboración propia

Observando en la figura 71; se puede observar que la irradiación solar aumenta mientras pasa el día manteniéndose constante aproximadamente 6 horas por encima de 1000 W/m² en los meses de julio y setiembre, observándose una caída por debajo de 1000 W/m² en el mes de agosto por las lluvias que se presentaron.

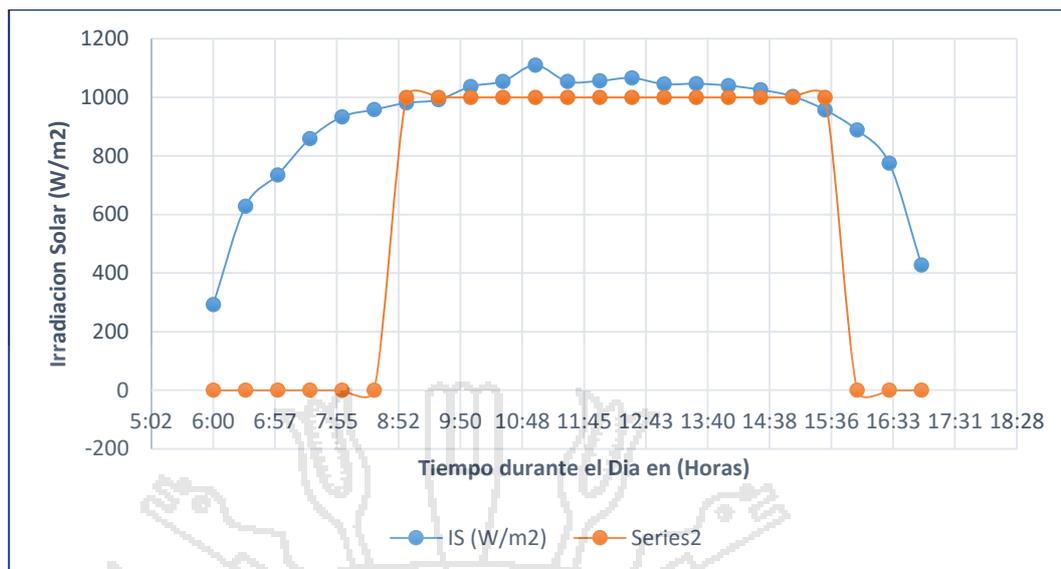


Figura 72. Irradiación Solar promedio mensual por día en (W/m2).
Fuente: Elaboración propia

En la figura 72; nos muestra la irradiación promedio de los tres meses expresado por día, considerando la irradiación aprovechable a partir de las 9:00 hasta las 15:00 horas para fines de obtener la HSP de la energía solar y poder dimensionar los paneles y colectores solares.

4.2.4 Irradiación Solar en (HSP) por semana en kWh/M2/d

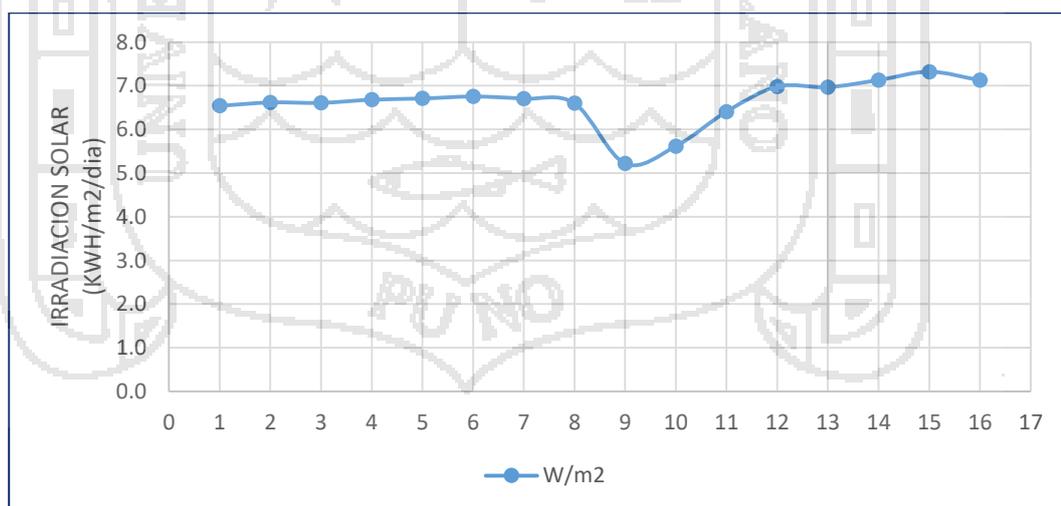


Figura 73. Irradiación Solar en HSP por semana desde las 9:00 - 15:00 horas.
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura 73, considerando las Horas Sol Pico de Irradiación Solar, se observa un promedio de 6.623 kWh/m²/d. Observando el grafico 67 donde se traza un intervalo de aprovechamiento de energía solar de 6.5 horas de uso eficiente para Paneles Solares Fotovoltaicos. Este valor en HSP nos permitirá dimensionar la potencia a utilizar en sistemas Fotovoltaicos y sistemas Térmicos solares, además del diseño de la arquitectura bioclimática de viviendas en la ciudad de Juliaca.

4.2.5 Comportamiento de la Irradiación Solar promedio Global/día

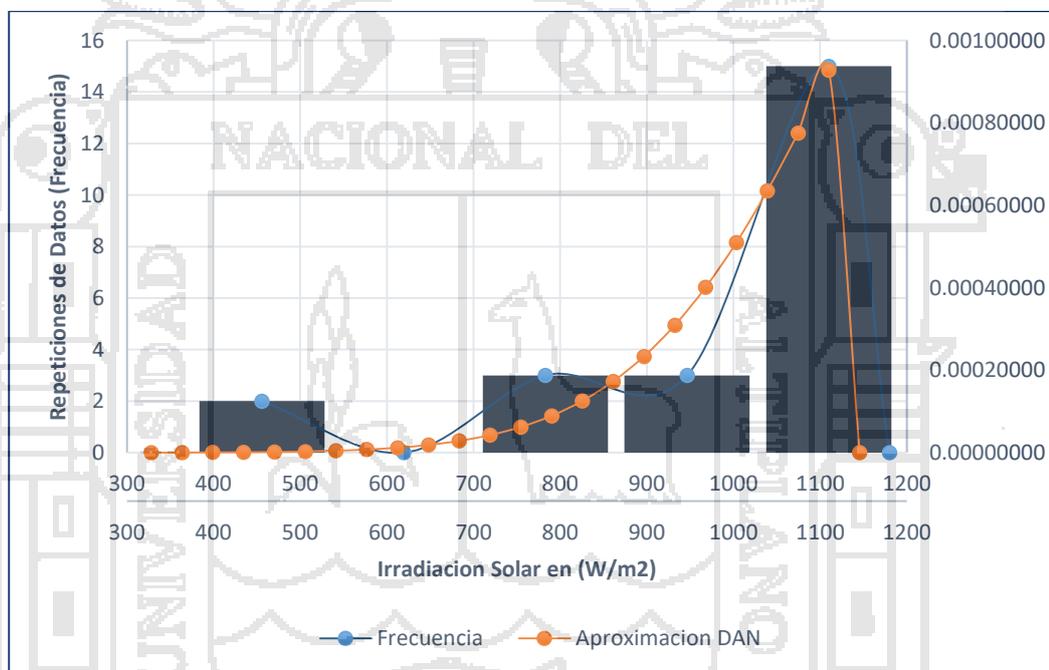


Figura 74. Distribución Asimétrica Negativa para las HSP.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 74, se puede observar que los datos se repiten con mayor frecuencia cuando la Irradiación Solar está por encima de 1000 W/m², además que la Distribución Asimétrica Negativa se adapta mejor a la tendencia de datos.

4.2.6 Horas Sol Pico (HSP) en la ciudad de Juliaca

La ciudad de Juliaca presenta las HSP = 6,632 kWh/m²/d.

4.3 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DURANTE EL DÍA

4.3.1 Comportamiento de la temperatura en el día durante el mes

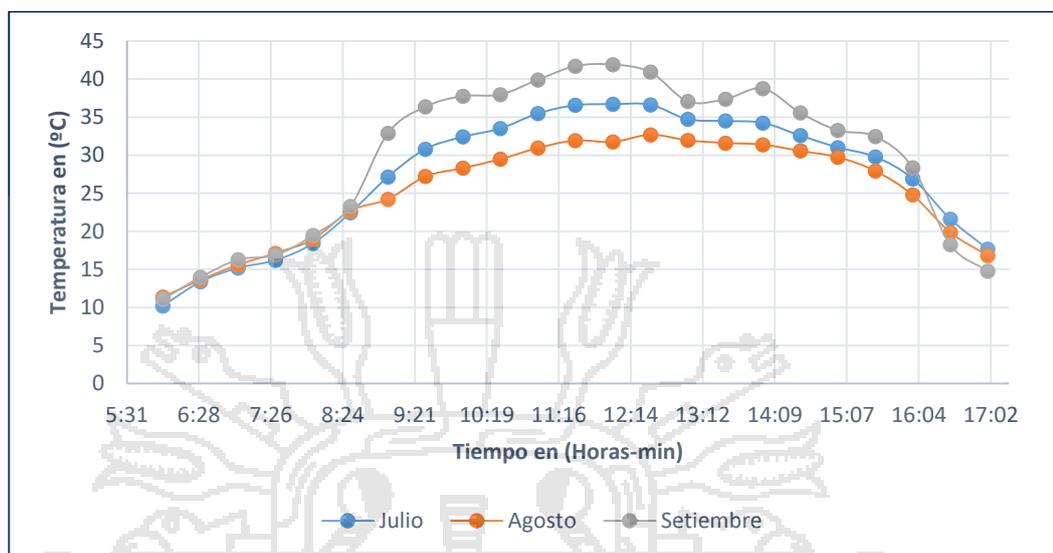


Figura 75. Temperatura por día en los meses julio, agosto y setiembre. Fuente: Elaboración propia

En la figura 75 se puede observar el comportamiento de la curva de temperatura durante el mes de julio es más baja, en el mes de setiembre incrementa en aproximadamente 8°C con un valor pico de 42.3°C.

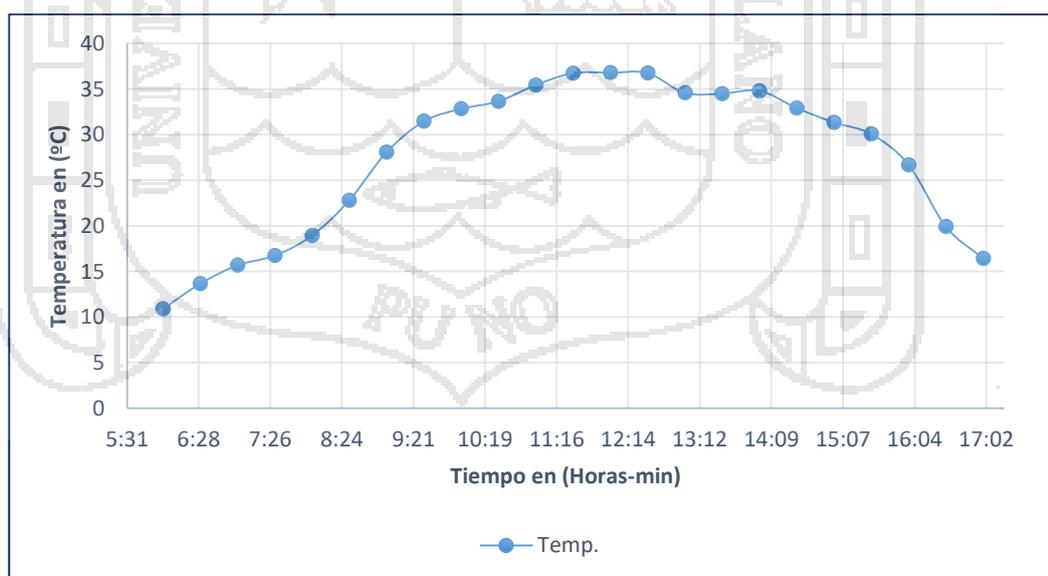


Figura 76. Temperatura promedio por día, promedio global. Fuente: Elaboración propia

En la figura 76, se puede observar el comportamiento de la curva de temperatura diaria, verificándose su similitud con la curva de (HSP).

4.4 COMPORTAMIENTO DEL PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO FRENTE A LA IRRADIACIÓN SOLAR DE UN DÍA

Considerando el cuadro 11, donde se realizó las mediciones en un día soleado y nublado de la Irradiación Solar en el mes de setiembre, la Tensión y la Intensidad del Módulo Solar Fotovoltaico de 100W de Potencia mono cristalino, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 11. Irradiación solar vs intensidad generada en Juliaca.

ITEM	IRRADIACIÓN SOLAR (W/m ²)	CORRIENTE (A)	TENSIÓN (V)
1	313	1.5	12.41
2	359	2.1	12.52
3	389	2.3	12.50
4	420	2.5	12.60
5	487	3	12.60
6	658	4	12.70
7	777	4.7	12.80
8	828	5.1	12.90
9	930	5.7	13.00
10	998	6.1	13.10
11	1036	6.4	13.20
12	1118	6.9	13.40
13	1175	7.4	13.50
14	1208	7.5	13.60
15	1214	7.6	13.70
16	1226	7.7	13.80
17	1291	7.8	13.90
18	1299	7.9	14.00

Fuente: Elaboración propia

Realizando las pruebas del sistema Solar Fotovoltaico, instalado:

- Panel Solar Fotovoltaico de 100W.
- Regulador de carga de 10A.

- Batería Solar Semi Seca SOLITE de 90Ah.
- Inversor de Tensión de: 12VDC a 220VAC de 600W.
- Carga de 150W (Iluminación).

Realizando la conexión eléctrica de la figura 77.

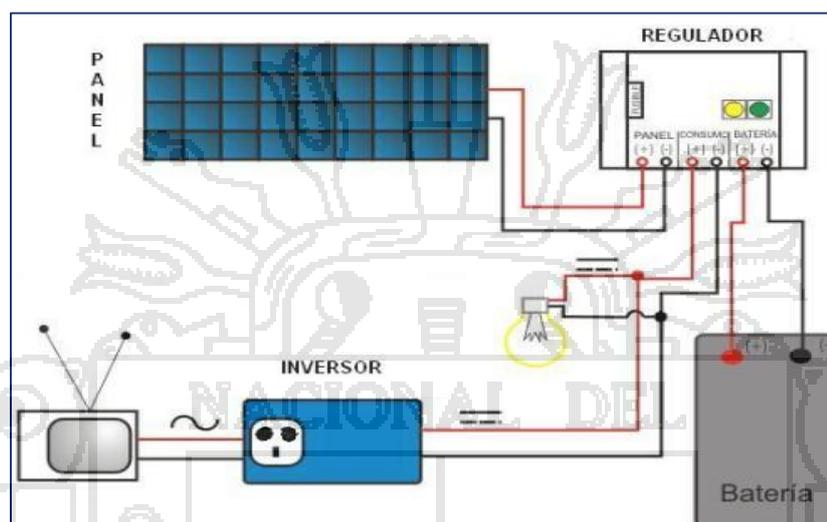


Figura 77. Esquema de conexión de un sistema solar Fotovoltaico.
Fuente: (Kte' pi, 2016)

Se determinó que cuando la Irradiación Solar la corriente de generación eléctrica también baja en forma proporcional, si la Irradiación Solar sube también aumenta la corriente de generación de manera directa viéndose en la figura 78; el cual manifiesta un comportamiento lineal con un $R^2 = 99.77\%$.

Además; viendo la placa característica del Panel Solar Fotovoltaico, menciona la corriente máxima es de 5.32A a una Irradiación Solar de 1000 W/m², donde se observó con la Pinza Amperimétrica FLUKE una corriente máxima entregada de 7.9A cuando la Irradiación Solar marcaba en el instrumento de 1299 W/m². Demostrando que la Irradiación Solar en la ciudad de Juliaca puede hacer que los sistemas Fotovoltaicos trabajen a una capacidad superior a la establecida porque tenemos una Irradiación Solar por encima de 1000 W/m².

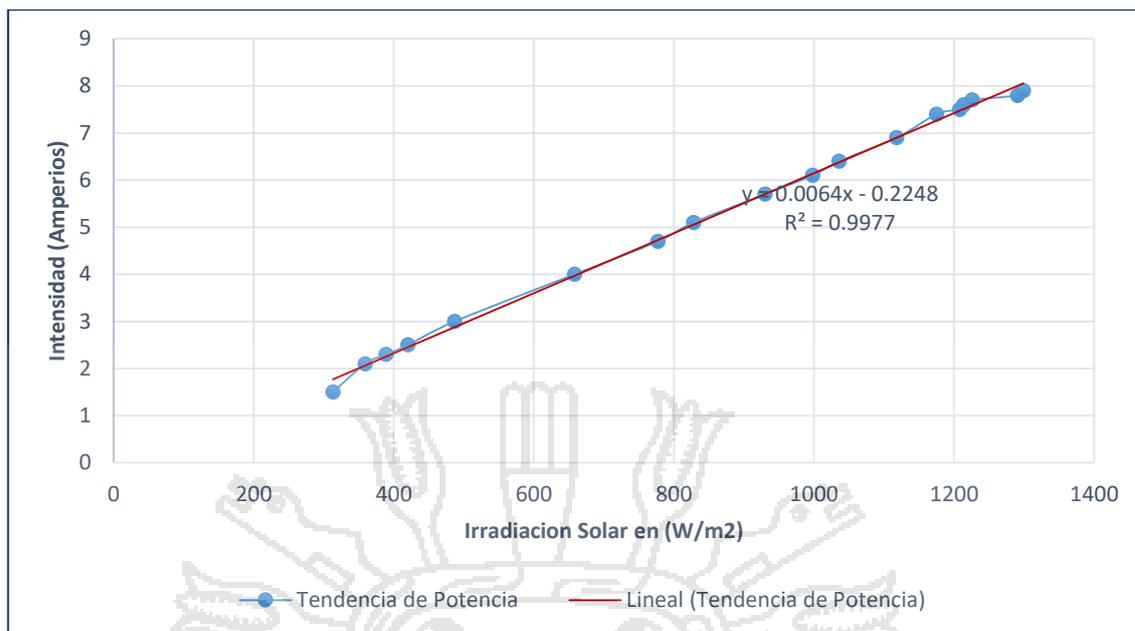


Figura 78. Intensidad vs Irradiación Solar de un módulo Fotovoltaico de 100W.
Fuente: Elaboración propia

El comportamiento de la temperatura en ese día de prueba se muestra en la figura 79, la medición se realizó con la sonda de temperatura (PT-100) conectada a un PLC, el cual muestra en Software SOMACHINE CENTRAL el histograma de la medición, era un día soleado y nublado.

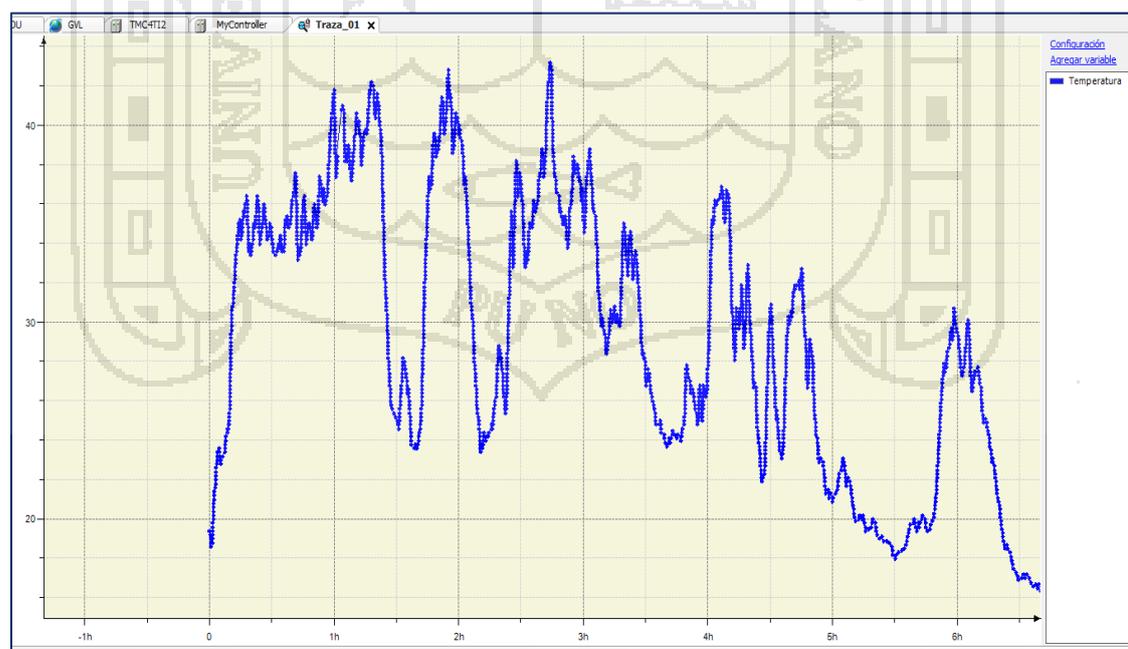


Figura 79. Histograma de Temperatura en un día soleado y nublado.
Fuente: Elaboración propia

4.5 COMPORTAMIENTO DEL SUELO RADIANTE DEL MODULO EXPERIMENTAL DE LA VIVIENDA BIOCLIMÁTICA

Realizando la evaluación del comportamiento de la temperatura, utilizando un instrumento de medición (PT - 100) conectado a un controlador de temperatura ubicado a 0.6m de la altura del piso se hizo un ensayo del módulo experimental de la vivienda bioclimática durante seis días en un intervalo de tiempo desde las 6:00 hasta las 21:00, que tiene un área total de 6.25m² y un área de suelo radiante de 2.56m² con una altura de 2m; obteniendo los siguientes resultados en la figura 80.

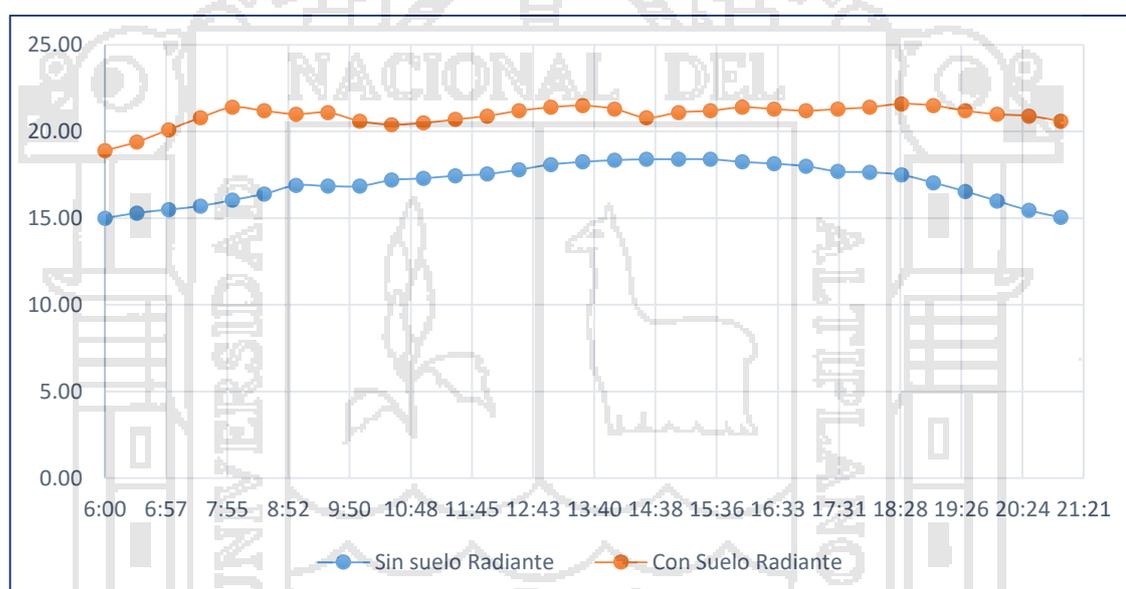


Figura 80. Comportamiento de la Temperatura con y sin Suelo Radiante.
Fuente: Elaboración propia

La figura 80 muestra el comportamiento de la temperatura en la línea de color azul sin usar un suelo radiante durante tres días teniendo un promedio de 17.07°C durante el día. Además de puede observar la línea de color naranja donde se observa el comportamiento de la temperatura usando suelo radiante que es más elevada en aproximadamente (4 - 5)°C obteniéndose un promedio de **20.93°C**.

Según la (Norma Técnica Peruana) NTP N° 501 de Ambientes Térmicos, establece la zona de confort térmico desde (17 - 27)°C, en el módulo experimental se llegó hasta un promedio de 20.93°C encontrándose dentro de la NTP.

Según el diagrama de Givoni mostrado en el grafico 81, se estima una zona de confort de temperatura entre (20 – 27)°C, donde en el módulo experimental se obtuvo un promedio de 20.93°C de temperatura encontrándose dentro de la zona de confort para una persona.

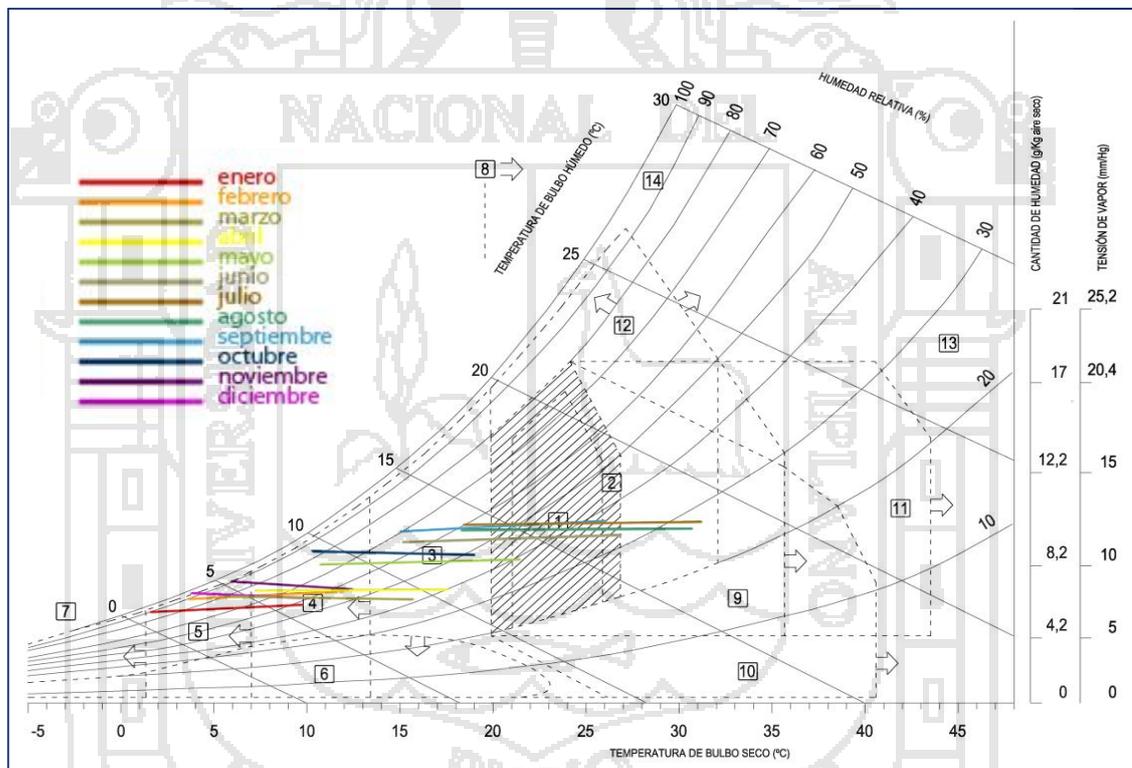


Figura 81. Diagrama de Givoni, Zona de Confort.
Fuente: (Givoni, 1969)

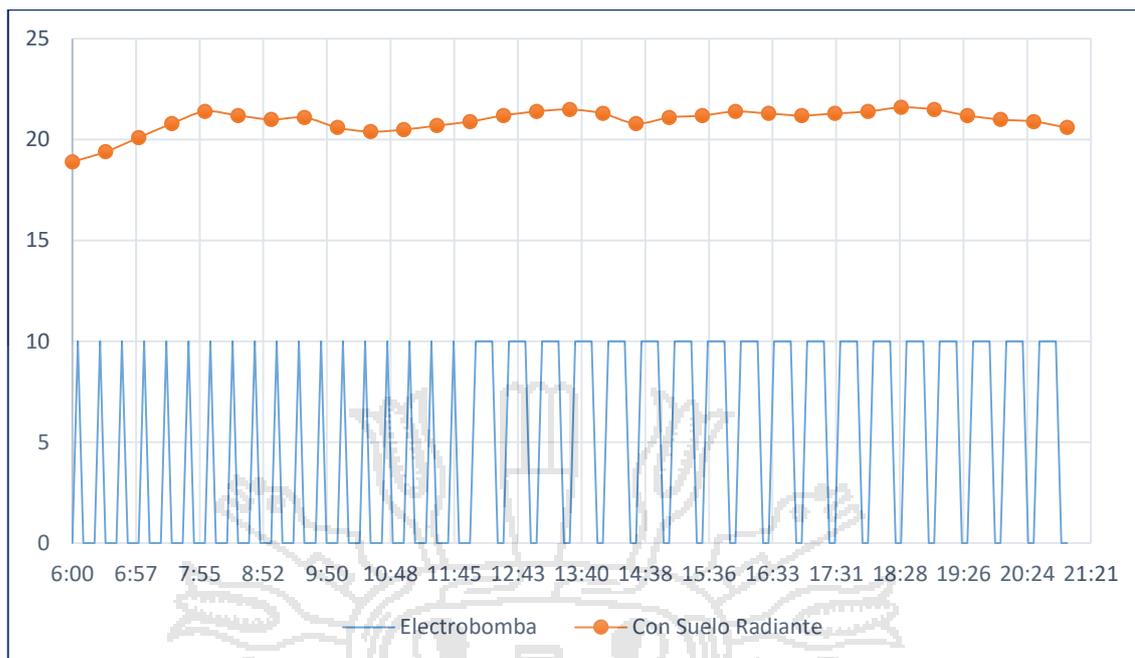


Figura 82. Comportamiento de la electrobomba usando Suelo Radiante.
Fuente: Elaboración propia

La figura 82 podemos observar el accionamiento de la electrobomba trabajando a 500 rpm (10 Hz) y consumiendo una potencia de 50.84W; que hace recircular el agua usado por el suelo radiante en el colector térmico para su reutilización, desde las 6:00 hasta las 12:00 horas con una frecuencia de 5min de encendido y 10min de apagado acumulando 2 horas de servicio, desde las 12:00 hasta las 21:00 horas con una frecuencia de 20 min de encendido y 10min de apagado acumulando 6 horas de servicio. Sumando las horas de servicio total de 8 horas diarias equivalente a 406.67 Wh/d y expresándolo en todo el año 148.45 kWh/Año.

Usando la metodología de cálculo de la Estrategia Aragonesa de Cambio Climático y Energías Limpias se tiene una equivalencia del consumo de energía eléctrica anual de 148.45 kWh/año es equivalente a **57.15 kg de CO2 al año**, que se podría reducir usando energías renovables y limpias.

El suministro eléctrico usado para el consumo de la Electrobomba y energización del sistema de monitoreo de temperatura es obtenido por el modulo solar fotovoltaico de 100W la cual carga a una batería solar semi seca de 90 Ah, consumiendo 33 Ah durante el día donde se tiene una autonomía de 63.3 % y un consumo de 36.67 % de carga total de la batería.

4.6 COSTO DE INVERSIÓN

Evaluando el costo de inversión para implementar esta tecnología aprovechando la energía solar limpia evitando la contaminación ambiental, se tiene el cuadro 12 de costos.

Cuadro 12. Costo presupuestado en el mes de diciembre del 2017 en Juliaca.

ITEM	DESCRIPCIÓN	METRADO UNID.	CANT.	COSTO UNITARIO	PARCIAL
1,00	MODULO SOLAR FOTOVOLTAICO.				
1,01	Panel Solar Mono cristalino de 100W, 12VDC	unid	1,00	620,00	620,00
1,02	Regulador de carga	unid	1,00	45,00	45,00
1,03	Inversor de 300W	unid	1,00	145,00	145,00
1,04	Batería Solar Semi Seca SOLITE de 70AH	unid	1,00	260,00	260,00
1,05	Estructura Fija de Modulo Solar Fotovoltaico	unid	1,00	60,00	60,00
	SUB TOTAL				1.130,00
2,00	COLECTOR SOLAR DE TUBOS DE VACÍO DE 130 LITROS.				
2,01	Colector Solar Tecsol de 10 Tubos de Vacío, Capacidad 130 Litros	unid	1,00	1030,00	1.030,00
	SUB TOTAL				1.030,00
3,00	SUELO RADIANTE				
3,01	Tubería de Cu de 3/8"	m	12,00	15,00	180,00
3,02	Aislante térmico fibra de vidrio	unid	1,00	35,00	35,00
3,03	Lana de Oveja	unid	1,00	25,00	25,00
3,04	Madera Machihembrado 15x300cm	unid	9,00	8,00	72,00
3,05	Tubería PVC de agua Caliente y otros accesorios de Gasfitería	unid	1,00	70,00	70,00
3,06	Electrobomba de 1/2HP	unid	1,00	150,00	150,00
3,07	Variador de Velocidad para Electrobomba de 1/2HP	unid	1,00	250,00	250,00
3,08	Instalación y transporte	unid	1,00	200,00	200,00
	SUB TOTAL				982,00
	A.- SUMINISTRO DE MATERIALES				3.142,00
			TOTAL	S/.	3.142,00

Fuente: Elaboración propia

La implementación de esta tecnología tiene un costo inicial de 3142 Nuevos Soles para el aprovechamiento de la energía solar, pero durante su

funcionamiento es muy rentable porque no consume energía convencional siendo esta energía utilizada completamente gratis.

Esta tecnología tiene un costo inicial ligeramente elevado, pero si comparamos con la compra de una laptop que oscila sobre ese costo, sería rentable pensando en el confort y calidad de vida además de evitar la contaminación ambiental.

4.7 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.7.1 Irradiación Solar y Horas Sol Pico en la ciudad de Juliaca

En el estudio titulado “Performance Study of a Dual-Function Thermosyphon Solar Heating System”, realizado por (Velmurugan et al., 2016) para diseñar termas solares, el autor considera en una evaluación de 3 días una Irradiación Solar pico máxima de 830 W/m² mostrado en la figura 83, lo cual en la ciudad de Juliaca se observa una Irradiación Solar promedio pico de 1110.04 W/m² medidos en 3 meses; además el autor en su investigación con el diseño del Colector Solar de Tubos de vacío logra una eficiencia de 73.68%.

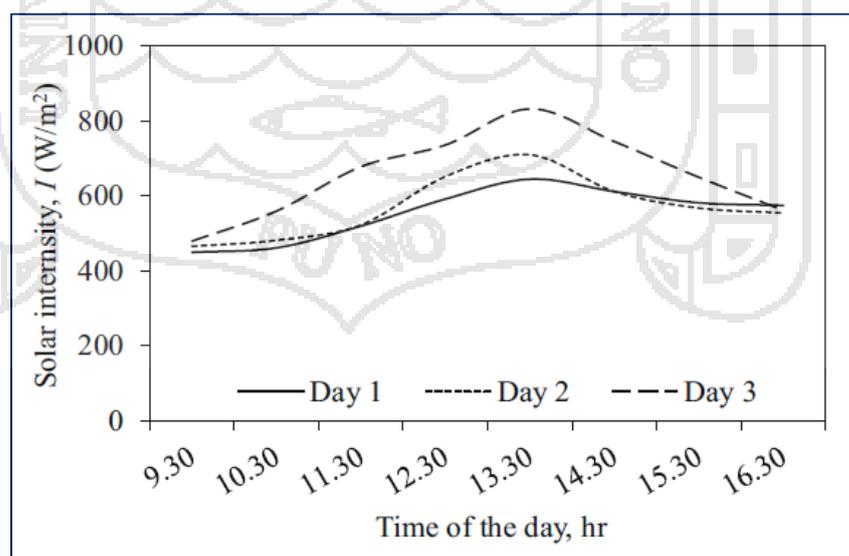


Figura 83. Variación de la Incidencia Solar diaria.
Fuente: (Velmurugan et al., 2016)

Comparando otra investigación hecha en Mumbai titulado “Impact of Solar Panel Orientation on Large Scale Rooftop Solar Photovoltaic Scenario for Mumbai”, realizado por (Singh & Banerjee, 2016) hace un estudio de la Irradiación Solar en el mes de febrero del 2015 observando que insolación solar empieza desde las 8:00 y termina a las 18:30 horas llegando al punto máximo de 978 W/m², considerando la zona de HSP desde las 10:30 hasta las 13:30 horas donde se muestra en el grafico 84 teniendo un rango de trabajo de 3 Horas; en la ciudad de Juliaca se muestra un rango de trabajo promedio de 6.5 Horas mostrando más del doble, demostrando que se puede aprovechar más la energía solar en días no nublados.

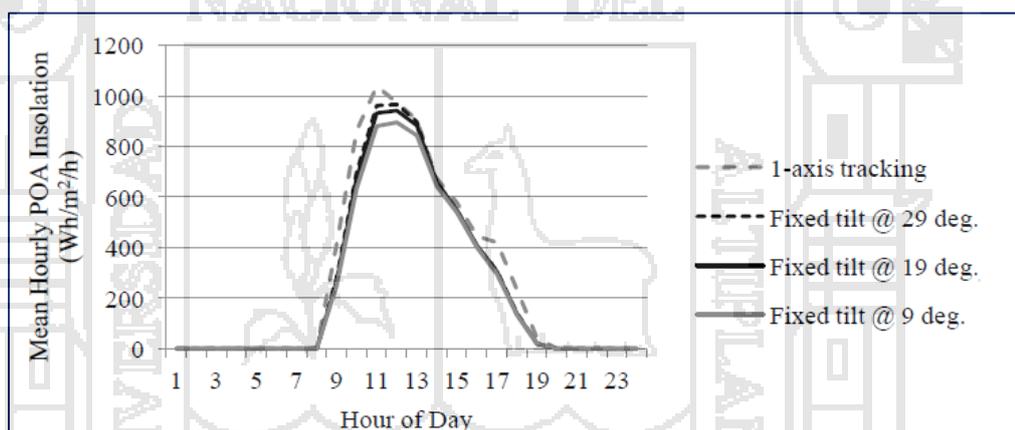


Figura 84. Insolación diaria en el mes de febrero.
Fuente: (Singh & Banerjee, 2016)

En la investigación titulada “Experimental implementation of meteorological data and photovoltaic solar radiation monitoring system” hecha por el autor (Rezk et al., 2015) donde realizó un estudio de la incidencia solar potencial de Rusia evaluando la Irradiación Solar pico promedio por día de 812 W/m² el cual no llega a 1000 W/m² ni tiene intervalos de HSP observándose en la figura 85, en la ciudad de Juliaca

se sobrepasa los 1000 W/m² en un intervalo de tiempo de 6.5 Horas siendo una zona potencial para el aprovechamiento de la energía solar.

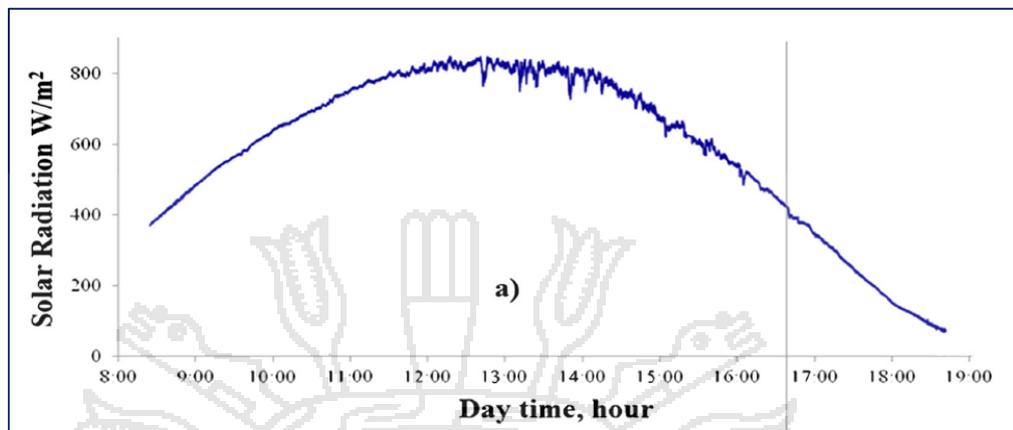


Figura 85. Incidente Radiación Solar por el Satélite NOAA.

Fuente: (Rezk et al., 2015)

Un estudio realizado por (Notton, 2017) en su obra titulada "Building integrated solar thermal systems presentation and zoom on the solar potential", realizado en BIST (Barcelona Institute of Science and Technology) de Barcelona en un edificio bioclimático con energía solar demuestra que la Irradiación Solar pico en el mes de agosto es de 955 W/m² con una variación simétrica durante el día, pero en el mes de diciembre hay un incremento hasta 1098 W/m² pico con un promedio de 1047 W/m² en un intervalo de tiempo muy corto de 30 min de (HSP) mostrado en la figura 86, lo cual es muy poco para tener un buen rendimiento con equipos que trabajan con energía solar; lo que mencionamos anteriormente de la ciudad de Juliaca tiene un promedio pico de 1110.04 W/m² y un intervalo de tiempo 6.5 Horas de HSP.

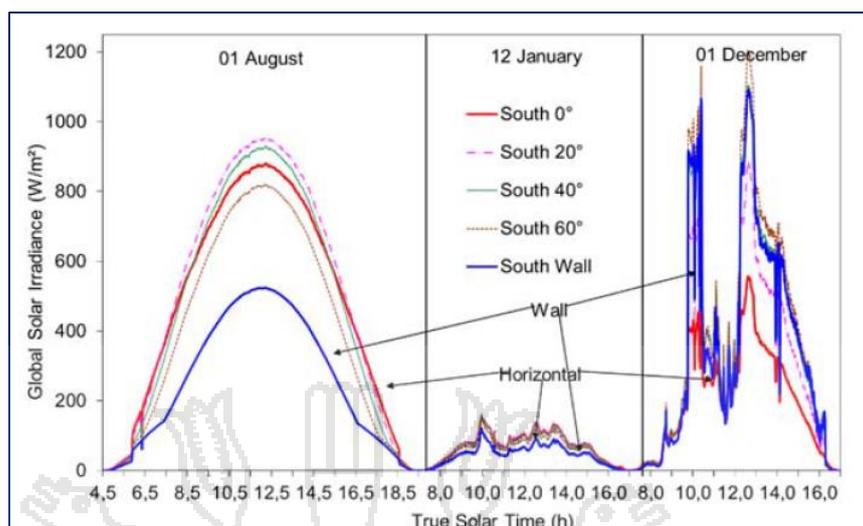


Figura 86. Influencia por la inclinación por tres días en Ajjacio.
Fuente: (Notton, 2017)

En el proyecto de investigación titulado: “Irradiación solar global en el norte de la ciudad de México y algunas comparaciones con el sur” realizado por el autor (Matsumoto et al., 2014). En el norte de la ciudad de México se midieron la radiación solar global-horizontal en el 2012. Se describen las radiaciones promedio para cada uno de los meses con la desviación estándar correspondiente. Los datos de irradiancia solar fueron recolectados durante 4 meses consecutivos en el intervalo de un minuto, es de 18.01 MJ/m²/d, lo que equivale a aproximadamente 5 kWh/m²/d. Si comparamos con las (HSP) de Juliaca que es de 6.623 kWh/m²/d siendo un valor más alto.

En el artículo científico titulado “Evaluación de corrientes descendentes de edificios de muros cortina de vidrio con un sistema de calefacción de piso radiante” (Goosang Joe et al., 2017), para esta evaluación, se aplicó un sistema de calefacción por suelo radiante a las zonas perimetrales con diferentes tipos de ventana modelados utilizando una simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) con una temperatura inicial

entre (10-16) $^{\circ}$ C durante 24 horas. La relación entre el sistema de calefacción por suelo radiante y las ventanas se examinó a través de una evaluación de la corriente descendente resultante al considerar el efecto de intercambio de calor radiante entre la ventana y el suelo. Los resultados de la simulación muestran la variación de temperatura entre (18-20) $^{\circ}$ C mostrado en la figura 87, comparando con la investigación realizada en la habitación experimental se alcanza una temperatura promedio de 20.93 $^{\circ}$ C demostrando el aumento de temperatura.

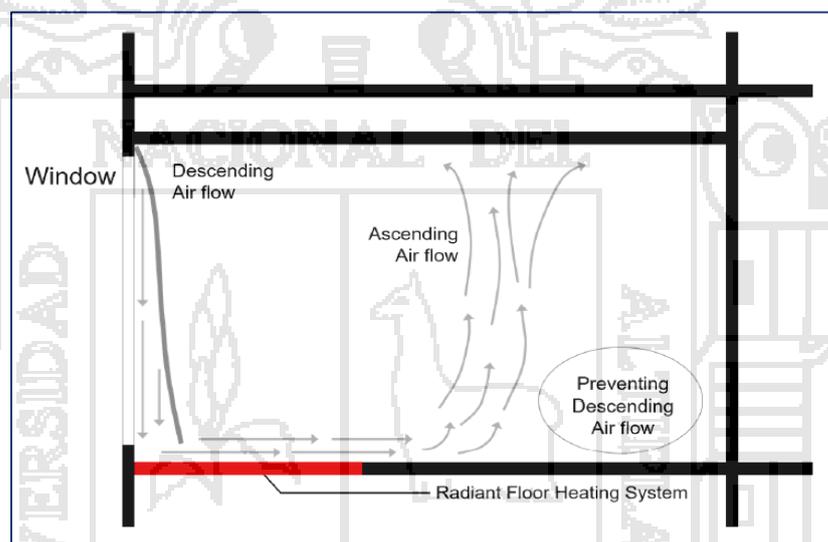


Figura 87. Flujo de aire por aplicación de RFHS.
Fuente: (Goosang Joe et al., 2017)

En la investigación titulada “Evaluación experimental del rendimiento térmico de los paneles de calefacción radiante integrados en suelo levantado” (Dong-Woo et al., 2017), donde comparan tres tipos de calefacción de piso radiante integrados a pisos elevados de diferentes materiales de relleno para el aislamiento inferior del panel obteniendo durante cinco horas temperaturas entre (20-29) $^{\circ}$ C mostrado en la figura 88, con lo que el suelo radiante de este proyecto llegó a valores de (18.9-21.6) $^{\circ}$ C la cual se encontraría dentro de la zona de confort de Givoni.

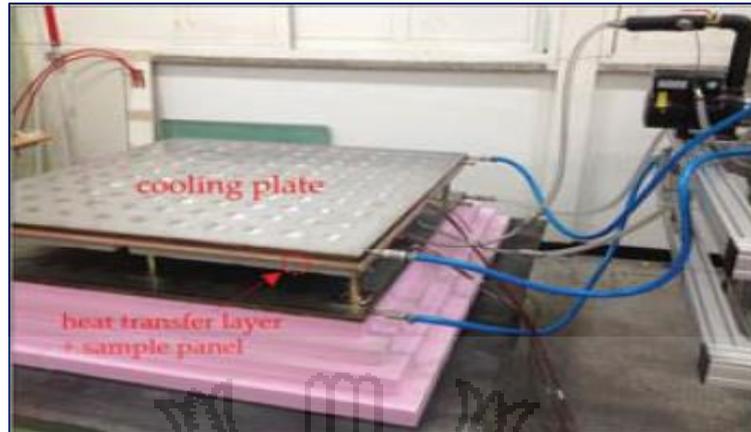


Figura 88. Modulo experimental del Suelo Radiante.
Fuente: (Dong-Woo et al., 2017)

En investigación realizada por el autor (Candanedo, Allard, & Athienitis, 2011), titulada: “Calefacción por suelo radiante asistida por energía solar en un edificio residencial con energía neta cero.”, en la reconstrucción de una casa solar en Montreal específicamente en el dormitorio instalando un suelo radiante, tomando datos de la temperatura sin usar suelo radiante con un promedio de 11.2°C, pero cuando se instala el suelo radiante se observa un incremento de temperatura llegando a un promedio de 23°C; comparando con nuestros resultados que alcanzan un promedio de 20.93°C.

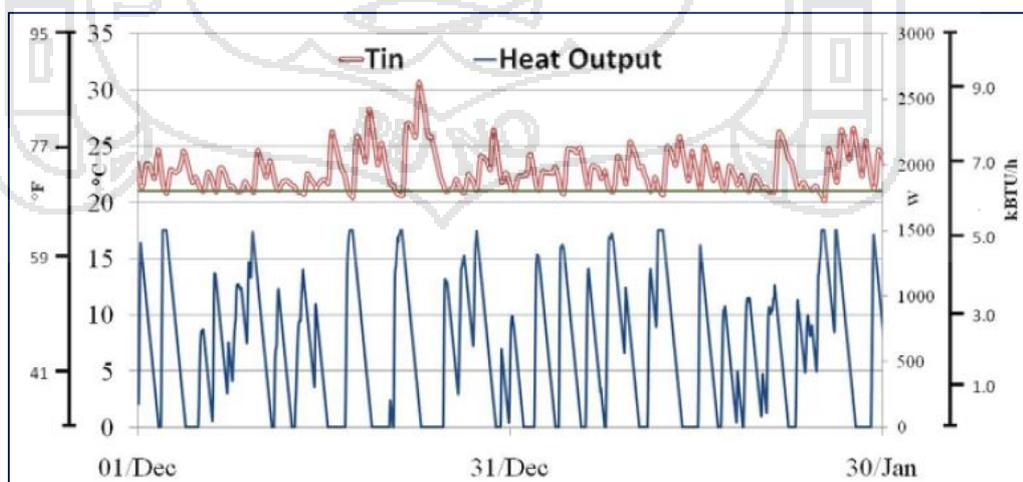


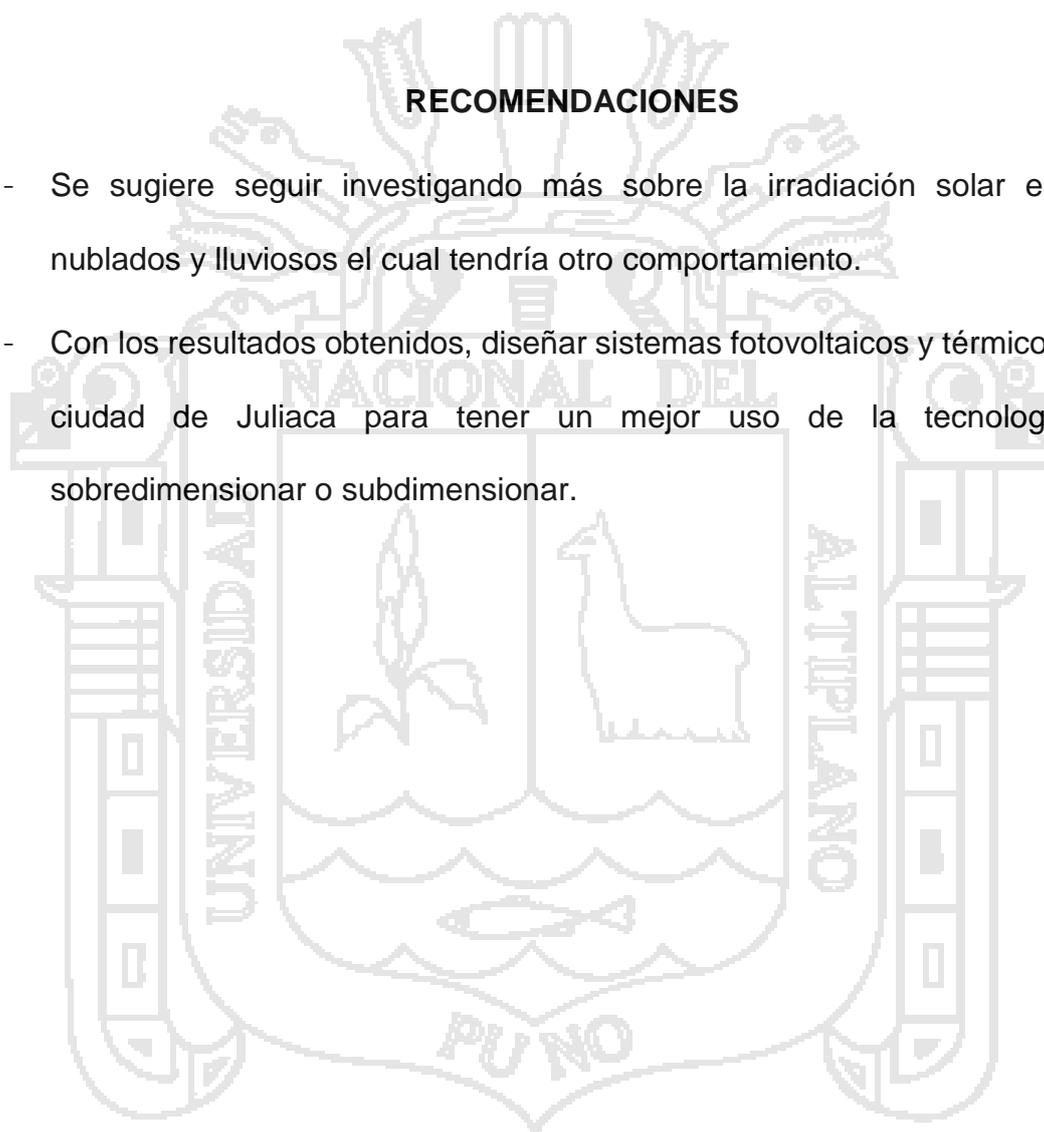
Figura 89. Temperatura interior y exterior con modelo TF.
Fuente: (Candanedo et al., 2011)

CONCLUSIONES

- Se determinó las variables de la energía solar, observándose una Irradiación Solar promedio global de 1110.04 W/m² durante las 9:00 hasta 17:00 horas, el cual es mayor que las Condiciones Estándares de Medida (CEM) de 1000 W/m² y las (HSP) en la ciudad de Juliaca.
- Con los datos obtenidos de la Irradiación Solar se logró determinar el comportamiento de la energía solar expresado en (HSP) de 6.623 kWh/m²/d, con este resultado se diseñó el sistema fotovoltaico y térmico en la ciudad de Juliaca para implementar un módulo experimental en una habitación usando el suelo radiante como medio bioclimático para obtener el confort adecuado.
- En el módulo experimental bioclimático analizando los resultados con el sensor de temperatura instalado a 60 cm de altura desde las 6:00 hasta las 21:00 horas, sin usar el suelo radiante la temperatura en el ambiente está en el rango de (15 – 18.40)°C con un promedio de 17.07°C y cuando usamos el suelo radiante está en el rango de (18.90 – 21.60)°C con un promedio de 20.93°C estando dentro de la zona de confort por la NTP N° 501 y del Diagrama Psicométrico de Givoni. El costo de esta tecnología al inicio tiene un costo elevado, pero se auto sostiene con energía solar gratis.

RECOMENDACIONES

- Se sugiere seguir investigando más sobre la irradiación solar en días nublados y lluviosos el cual tendría otro comportamiento.
- Con los resultados obtenidos, diseñar sistemas fotovoltaicos y térmicos en la ciudad de Juliaca para tener un mejor uso de la tecnología sin sobredimensionar o subdimensionar.



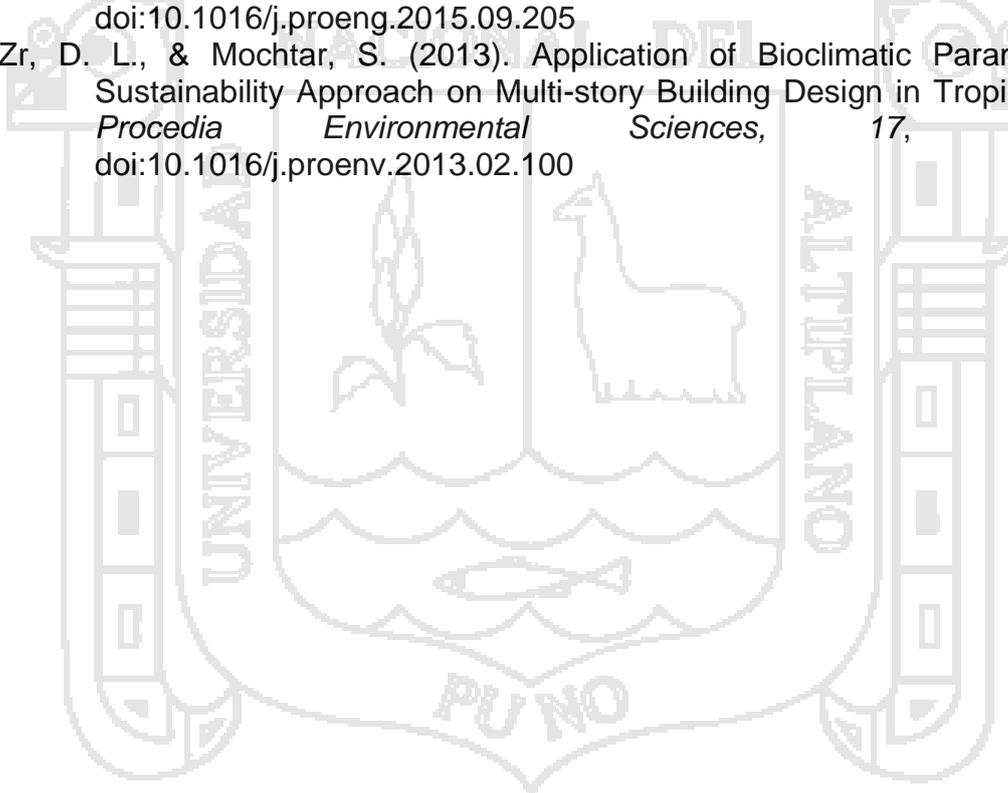
BIBLIOGRAFÍA

- Affandi, R., Ghani, M. R. A., Ghan, C. K., & Pheng, L. G. (2015). The Impact of the Solar Irradiation, Collector and the Receiver to the Receiver Losses in Parabolic Dish System. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2382-2390. doi:10.1016/j.sbspro.2015.06.220
- Bolton, W. (2001). *Ingeniería de Control* (AlfaOmega Ed. 2 ed.).
- Bulei, C., Todor, M.-P., Cornea, D. D., & Kiss, I. (2017). Solar Air Heating Collectors in two Modular Solar Panels Build Into A Do-It-Yourself Type Project using Photovoltaic Cells and Recycled Aluminum Cans. *Acta Technica Corvininensis - Bulletin of Engineering*, 10(1), 44-49. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=121771782&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Canavos, G. C. (1998). *Probabilidad y Estadística* (McGRAW-HILL Ed.): McGRAW-HILL.
- Candanedo, J. A., Allard, A., & Athienitis, A. K. (2011). Solar-Assisted Radiant Floor Heating in a Net-Zero Energy Residential Building. *ASHRAE Transactions*, 117(1), 71-78. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fsr&AN=67359296&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Carreño-Ortega, A., Galdeano-Gómez, E., Pérez-Mesa, J. C., & del Carmen Galera-Quiles, M. (2017). Policy and Environmental Implications of Photovoltaic Systems in Farming in Southeast Spain: Can Greenhouses Reduce the Greenhouse Effect? *Energies (19961073)*, 10(6), 1-24. doi:10.3390/en10060761
- COES-SINAC. (2017). *Energía Eléctrica en el Perú*. Energía Hidroeléctrica, Energía Tradicional del Perú.
- Cruz, N. C., Álvarez, J. D., Redondo, J. L., Fernández-Reche, J., Berenguel, M., Monterreal, R., & Ortigosa, P. M. (2017). A New Methodology for Building-Up a Robust Model for Heliostat Field Flux Characterization. *Energies (19961073)*, 10(5), 1-17. doi:10.3390/en10050730
- Dong-Woo, K., Goo-Sang, J., Sang-Hoon, P., Myoung-Souk, Y., & Kwang-Woo, K. (2017). Experimental Evaluation of the Thermal Performance of Raised Floor Integrated Radiant Heating Panels. *Energies (19961073)*, 10(10), 1-18. doi:10.3390/en10101632

- Edalati, S., Ameri, M., & Iranmanesh, M. (2015). Comparative performance investigation of mono- and poly-crystalline silicon photovoltaic modules for use in grid-connected photovoltaic systems in dry climates. *Applied Energy*, 160, 255-265. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.064>
- Evola, G., & Marletta, L. (2015). The Solar Response Factor to calculate the cooling load induced by solar gains. *Applied Energy*, 160, 431-441. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.072>
- Girard, A., Gago, E. J., Ordoñez, J., & Muneer, T. (2016). Spain's energy outlook: A review of PV potential and energy export. *Renewable Energy*, 86, 703-715. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.08.074>
- Givoni, B. (1969). Man, Climate and Architecture. *Elsevier architectural science series*, 364.
- Goosang Joe, I. s. a. k., Dongwoo Kim, a. s. a. k., Sanghoon Park, o. s. a. k., Sojeong Park, s. n. c., Myoungsok Yeo, m. s. a. k., & Kwangwoo Kim, s. s. a. k. (2017). Dwindraft Assessment of Glass Curtain Wall Buildings with a Radiant Floor Heating System. *Applied Sciences (2076-3417)*, 7(10), 1-23. doi:10.3390/app7101075
- Gutiérrez, T., Romero, R., & Sotelo, C. (2014). Thermal Energy Impact of Bioclimatic Techniques Applied to Low-income Housing in a Hot Dry Climate. *Energy Procedia*, 57, 1743-1752. doi:10.1016/j.egypro.2014.10.163
- Hands, S., Sethuvenkatraman, S., Peristy, M., Rowe, D., & White, S. (2016). Performance analysis & energy benefits of a desiccant based solar assisted trigeneration system in a building. *Renewable Energy*, 85, 865-879. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.013>
- Hartner, M., Ortner, A., Hiesl, A., & Haas, R. (2015). East to west – The optimal tilt angle and orientation of photovoltaic panels from an electricity system perspective. *Applied Energy*, 160, 94-107. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.08.097>
- Hassboun, T., El Bahir, L., Aite Driss, Y., & El Adnani, M. (2016). Solar irradiation estimator based on a self-calibrated reference solar cell. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24(6), 4885-4899. doi:10.3906/elk-1502-167
- Higuera, J. d. I. C. (2017). Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red.
- Ivan, S. S. (2017). Strategic Orientation to Solar Energy Production and long Term Financial Benefits. *Arhiv za Tehnicke Nauke / Archives for Technical Sciences*(17), 1-12. doi:10.7251/afts.2017.0917.001S
- Juliaca, M. d. (2015). Limites del distrito de Juliaca (Vol. II).
- Kiplangat Ronoh, E. (2017). Prediction of total solar irradiance on tilted greenhouse surfaces. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 19(1), 114-121. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=123963817&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Kte' pi, B. (2016). Solar Panel design: Salem Press.
- LoPresto, J. C. (2016). Solar radiation: Salem Press.
- Matsumoto, Y., Valdés, M., Urbano, J. A., Kobayashi, T., López, G., & Peña, R. (2014). Global Solar Irradiation in North Mexico City and Some Comparisons with the South. *Energy Procedia*, 57, 1179-1188. doi:10.1016/j.egypro.2014.10.105

- Mehta, S. H. (2016). *Solar thermal systems*: Salem Press.
- Montes, C. A. E. (2015). Sistema de Calefacción Solar para reducir el Friaje en Viviendas Alto Andinas.
- Mousavi Maleki, S. A., Hizam, H., & Gomes, C. (2017). Estimation of Hourly, Daily and Monthly Global Solar Radiation on Inclined Surfaces: Models Re-Visited. *Energies (19961073)*, 10(1), 1-28. doi:10.3390/en10010134
- Notton, G. g. n. u. c. f. (2017). Building integrated solar thermal systems presentation and zoom on the solar potential. *Romanian Journal of Civil Engineering / Revista Romana de Inginerie Civila*, 8(1), 1-11. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aci&AN=121604920&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Ogata, K. (2005). *Ingenieria de Control Moderna. 5º Edicion*, 1-987.
- Plitnik, G. R. B. A. B. S. M. A. P. D. (2016). *Solar Energy*: Salem Press.
- Ratanachotinun, J., Kasayapanand, N., Hirunlabh, J., Visitsak, S., Teekasap, S., & Khedari, J. (2016). A design and assessment of solar chimney of bioclimatic house wall and roof for construction in the housing market of Thailand. *Building Services Engineering Research & Technology*, 37(6), 694-709. doi:10.1177/0143624416647761
- Rezk, H., Tyukhov, I., & Raupov, A. (2015). Experimental implementation of meteorological data and photovoltaic solar radiation monitoring system. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 25(12), 3573-3585. doi:10.1002/etep.2053
- Richard Perez, S. C. (1993). PV Module Angle. *Home Power*.
- Rohland, L. (2017). *Solar cell*: Salem Press.
- SENAMHI. (2017). Parametros Climatologicos Promedio en Juliaca.
- Shamshirband, S., Mohammadi, K., Piri, J., Petković, D., & Karim, A. (2016). Hybrid auto-regressive neural network model for estimating global solar radiation in Bandar Abbas, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(2), 1-12. doi:10.1007/s12665-015-4970-x
- Si, P., Lv, Y., Liu, X., Rong, X., & Feng, Y. (2016). An Optimization Model Applied to Active Solar Energy System for Buildings in Cold Plateau Area. *Energy Procedia*, 88, 443-449. doi:10.1016/j.egypro.2016.06.022
- Simmonds, P., Triana, N., Gautrey, J., & Rui, Z. (2014). The Influence on Surface Coverings on the Performance of Radiant Floors for both Heating and Cooling. *ASHRAE Transactions*, 120(1), 1-8. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fsr&AN=96045533&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- Singh, R., & Banerjee, R. (2016). Impact of Solar Panel Orientation on Large Scale Rooftop Solar Photovoltaic Scenario for Mumbai. *Energy Procedia*, 90, 401-411. doi:10.1016/j.egypro.2016.11.207
- Suárez, R. A., Abal, G., Musé, P., & Siri, R. (2014). Satellite-derived Solar Irradiation Map for Uruguay. *Energy Procedia*, 57, 1237-1246. doi:10.1016/j.egypro.2014.10.072
- TECSUP. (2014). Estrategias de Control Automatico. *Instrumentacion, Automatizacion y Control de procesos, 5º Edicion*, 1-365.
- Torshizi, M. V., & Mighani, A. H. (2017). The Application of Solar Energy in Agricultural Systems. *Renewable Energy & Sustainable Development*, 3(2), 234-240. doi:10.21622/RES.D.2017.03.2.234
- Tsang, A. (2015). *Reability-Centred Maintenance* (T. F. Group Ed. 2 ed.).

- Ungvarsky, J. (2016). Solar thermal collector: Salem Press.
- Velmurugan, K., Christraj, W., Kulasekharan, N., & Elango, T. (2016). Performance Study of a Dual-Function Thermosyphon Solar Heating System. *Arabian Journal for Science & Engineering (Springer Science & Business Media B.V.)*, 41(5), 1835-1846. doi:10.1007/s13369-015-1994-1
- Wakulat, R. J. (2016). Photovoltaics (PV): Salem Press.
- Willy Renan, B. H. (2017). Diseño de un Prototipo de Calefacción por m2 de Superficie de Piso Radiante utilizando PCM aprovechando la Energía Solar Térmica en la Ciudad De Puno.
- Yilmaz, S., Riza Ozcalik, H., & Dincer, F. (2017). Modeling and designing of the solar thermal parabolic trough concentrator and its environmental effects. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(3), 967-974. doi:10.1002/ep.12536
- Yousif, J. H., Kazem, H. A., & Boland, J. (2017). Predictive Models for Photovoltaic Electricity Production in Hot Weather Conditions. *Energies (19961073)*, 10(7), 1-19. doi:10.3390/en10070971
- Zhang, X., & Lian, Z. (2015). The Bioclimatic Design Approach to Plateau Region Buildings: Case of the Lhasa. *Procedia Engineering*, 121, 2044-2051. doi:10.1016/j.proeng.2015.09.205
- Zr, D. L., & Mochtar, S. (2013). Application of Bioclimatic Parameter as Sustainability Approach on Multi-story Building Design in Tropical Area. *Procedia Environmental Sciences*, 17, 822-830. doi:10.1016/j.proenv.2013.02.100





Anexo 1. Cuadro de Temperaturas durante los meses de Julio a Setiembre 2017.

ITEM	TIEMPO		MES 1	MES 2	MES 3	GLOBAL
	Tiempo (min)	Horas del día	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Temperatura promedio
1	0	6:00	10.21	11.37	11.06	10.88
2	30	6:30	13.36	13.61	13.96	13.65
3	60	7:00	15.18	15.58	16.26	15.67
4	90	7:30	16.20	17.13	16.86	16.73
5	120	8:00	18.40	18.93	19.46	18.93
6	150	8:30	22.42	22.71	23.26	22.80
7	180	9:00	27.14	24.21	32.86	28.07
8	210	9:30	30.80	27.20	36.36	31.46
9	240	10:00	32.41	28.30	37.76	32.82
10	270	10:30	33.51	29.48	37.96	33.65
11	300	11:00	35.48	30.94	39.90	35.44
12	330	11:30	36.57	31.93	41.70	36.73
13	360	12:00	36.70	31.73	41.91	36.78
14	390	12:30	36.63	32.69	40.92	36.75
15	420	13:00	34.72	31.95	37.06	34.58
16	450	13:30	34.50	31.60	37.36	34.49
17	480	14:00	34.25	31.39	38.76	34.80
18	510	14:30	32.59	30.56	35.56	32.90
19	540	15:00	31.02	29.73	33.26	31.34
20	570	15:30	29.78	27.93	32.46	30.06
21	600	16:00	26.91	24.77	28.36	26.68
22	630	16:30	21.62	19.85	18.26	19.91
23	660	17:00	17.67	16.81	14.76	16.41

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2. Comportamiento de la Temperatura en la habitación experimental utilizando suelo Radiante.

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA PROMEDIO DURANTE UN PERIODO DE 6 DÍAS EN EL MES DE DICIEMBRE				
ITEM	Sin Suelo Radiante (3 días)		Con Suelo Radiante (3 días)	
	Tiempo	Temperatura	Tiempo	Temperatura
1	6:00	15,00	6:00	18,90
2	6:30	15,30	6:30	19,40
3	7:00	15,50	7:00	20,10
4	7:30	15,70	7:30	20,80
5	8:00	16,05	8:00	21,40
6	8:30	16,40	8:30	21,20
7	9:00	16,90	9:00	21,00
8	9:30	16,85	9:30	21,10
9	10:00	16,85	10:00	20,60
10	10:30	17,20	10:30	20,40
11	11:00	17,30	11:00	20,50
12	11:30	17,45	11:30	20,70
13	12:00	17,55	12:00	20,90
14	12:30	17,80	12:30	21,20
15	13:00	18,10	13:00	21,40
16	13:30	18,25	13:30	21,50
17	14:00	18,35	14:00	21,30
18	14:30	18,40	14:30	20,80
19	15:00	18,40	15:00	21,10
20	15:30	18,40	15:30	21,20
21	16:00	18,25	16:00	21,40
22	16:30	18,15	16:30	21,30
23	17:00	18,00	17:00	21,20
24	17:30	17,70	17:30	21,30
25	18:00	17,65	18:00	21,40
26	18:30	17,50	18:30	21,60
27	19:00	17,05	19:00	21,50
28	19:30	16,55	19:30	21,20
29	20:00	16,00	20:00	21,00
30	20:30	15,45	20:30	20,90
31	21:00	15,05	21:00	20,60

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3. Medidor de Irradiación Solar (Solarímetro MAC – SOLAR SLM018c).

El radiómetro solar Mac-Solar es el aparato manual ideal para ingenieros solares, arquitectos y para mediciones profesionales. Con este radiómetro se transmite la intensidad de la luz y la temperatura. El radiómetro solar calcula el rendimiento energético con una precisión elevada, así como otros valores nominales (corriente, tensión, potencia en el lugar de trabajo). Así resulta posible la recopilación y la proyección de una instalación fotovoltaica.

La medición de la intensidad de la luz se realiza con células solares de silicio mono cristalinas que además reciben el abastecimiento de energía del aparato. El procesador integrado en el radiómetro solar realiza una corrección automática que hace que se mantenga la precisión básica después de la calibración de cada aparato en el simulador solar.

En todos los modos de medición se representan en el aparato las magnitudes de medición a elegir entre P_{tot} (en W/m^2), P_n , U_n , I_n (en %) o T (en $^{\circ}C$). Los datos guardados en la memoria interna pueden transmitirse con ayuda del software a la interfaz de serie de un PC. Este radiómetro solar fue creado para su uso en el exterior y posee una carcasa de plástico resistente a las inclemencias meteorológicas. Sus sólidas dimensiones permiten un cómodo manejo con una mano. Aquí tiene un radiómetro que mide campos magnéticos originados por monitores de ordenadores, televisores, instalaciones eléctricas industriales... Si lo que quiere medir es la radiación ultravioleta (rayos UVA - UVB) puede utilizar el radiómetro PCE-UV34 o por lo contrario desea realizar una medición de la radiación UVC puede utilizar el radiómetro PCE-UV36.

- Permite medición in situ del rendimiento energético del sol
- Permite medición de larga duración con la memoria de valores interna
- Permite medición de rendimiento solar
- Permite medición solar comparativa
- Gran pantalla LCD
- Funciones MIN, MAX y Data-Hold
- Dimensiones compactas



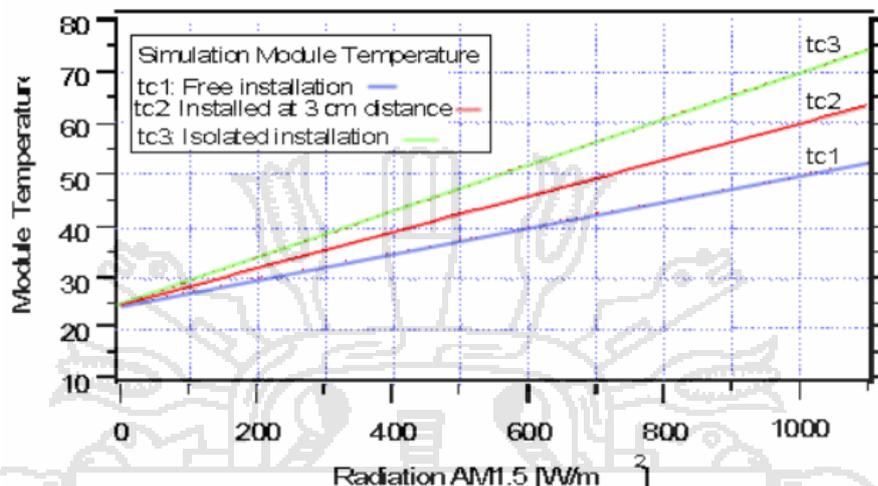
Radiómetro Mac-Solar frontal.

Medición solar directa in situ Con el radiómetro solar Mac-Solar se puede realizar una medición directa de intensidad luminosa o temperatura en una posición definida. Estos valores se pueden extraer para la comprobación del grado de efectividad de módulos fotovoltaicos o instalaciones solares y térmicas.

Simulación de temperatura, potencia, tensión y corriente de módulos fotovoltaicos El radiómetro solar calcula internamente la temperatura modular por

medio de las magnitudes reales medidas de intensidad de la luz y de temperatura y que se realiza en una instalación ajustable de módulos fotovoltaicos del aparato.

La imagen muestra la sobre temperatura modular en una fachada de vidrio aislante fotovoltaico con una radiación P_{tot} (temperatura exterior de 25°C).



Especificaciones técnicas						
	P_{tot}	T	P_n	U_n	I_n	hour
Unidad	W/m ²	°C	%	%	%	h
Rango	0 ... 1500	-40 ... +85	0 ... 150	0 ... 150	0 ... 150	0 ... 9999
Resolución	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1 / 1
Desviación máxima	< 2 % ±1 digit (P_{tot}) rango 100 ... 1000 W/m ² / AM1,5 espectro / radiación en eje normal (opcional con certificado ISO < 1 % ±1 digit)					
Potencia necesaria (sleep / active mode)	0,6 / 4 mW					
Potencia nominal del módulo solar integrado	180 mW					
Capacidad de la memoria de datos	64 kb					
Transmisión de datos	interfaz de serie RS-232					
Rango de temperatura ambiental	-20 ... +45 °C					
Humedad máxima	95 % H.r.					
Pantalla	pantalla LCD de 13mm (ind. máx. 199,9) contraste ajustable					
Alimentación	por célula solar propia					
Dimensiones	130 x 90 x 30 mm					
Peso	170 g					
Comprobaciones / Normas	CE / EN 50081, 50082, 55014, 55022, 60068, 60529, IEC68					
Contenido del envío						
1 radiómetro solar Mac-Solar modelo SLM018c-2, 1 sensor interno, memoria de valores interna e instrucciones de uso						
Adicional						
- Software de transmisión y valoración de datos y cable de interfaz RS-232						



Análisis de rendimiento.

Un ámbito natural de uso del radiómetro solar es la determinación de la intensidad de la luz solar y de la temperatura en lugares especiales como el bosque, las zonas con nieblas, zonas interiores, lugares con zonas de sombra complicadas.

Si se quiere obtener un resultado de medición preciso, hacen falta dos aparatos Mac-Solar, instalando uno de ellos en la posición de medición especial y el otro como aparato de referencia en horizontal a cielo descubierto.

Al finalizar la medición los datos obtenidos por el aparato de referencia son normalizados con los datos meteorológicos que existen de periodos de tiempo prolongados (p.e. 10 años). Los datos obtenidos por el otro aparato en la posición de medición especial se multiplican por el factor de normalización y estos nos permiten realizar un pronóstico de rendimiento para el periodo de medición.

Anexo 4. Pinza Amperimétrica FLUKE 375.



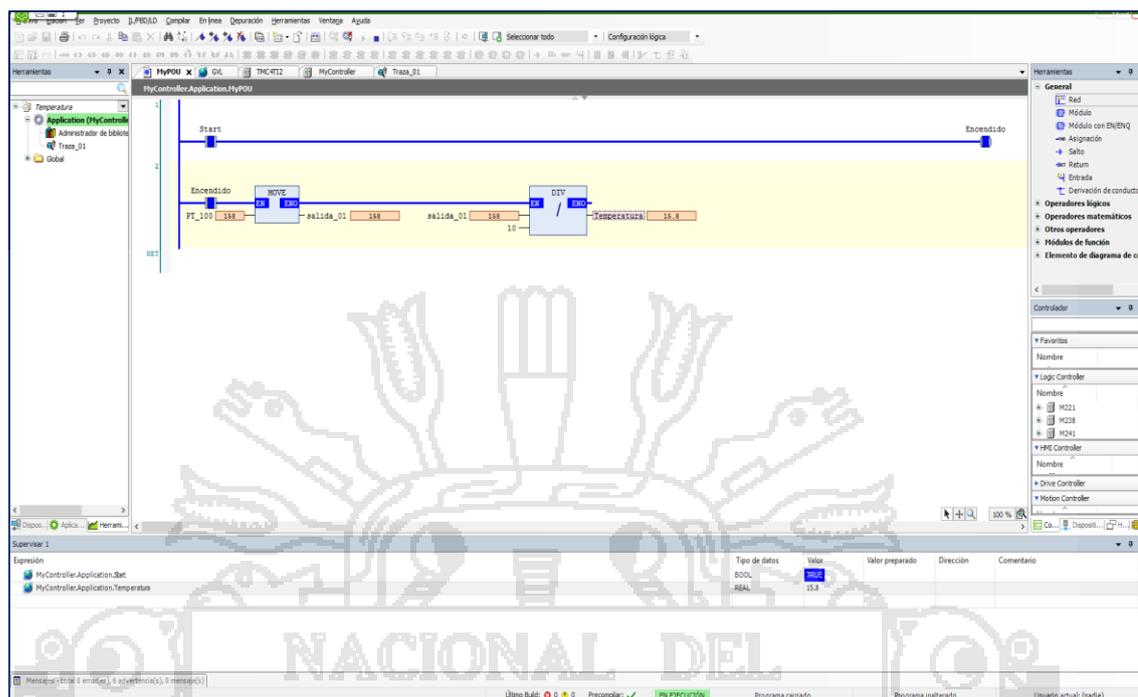
Características y ventajas:

- La sonda de corriente flexible iFlex amplía el rango de medida a 2.500 A de CA a la vez que proporciona una mayor flexibilidad de visualización, la posibilidad de medir en conductores con formas irregulares y un acceso a los cables mejorado.
- CAT IV 600 V, CAT III 1000 V.
- Corriente y tensión CA de verdadero valor eficaz para medidas precisas en señales no lineales.
- Rango de medida de 500 mV CC para la conexión con otros accesorios.
- El filtro paso bajo integrado y el procesamiento de señales avanzado permiten su uso en entornos con gran ruido eléctrico, proporcionando lecturas estables.
- Se utiliza la tecnología propiedad de Fluke para la medida de la corriente de arranque con un filtro de ruido de forma que se captura la corriente de arranque del motor exactamente como la percibe la protección del circuito.
- Su diseño ergonómico se adapta a la mano y la puede utilizar incluso si lleva un equipo de protección personal.
- Su gran pantalla, con retroiluminación y de fácil lectura establece automáticamente el rango de medida correcto, para que no sea necesario cambiar de posición el selector mientras se realiza la medida.
- Tres años de garantía.
- Estuche de transporte flexible.

Homologación de seguridad
EN/IEC 61010-1:2001; 600V CAT III, 300V CAT IV



Anexo 5. Programación del Controlador (PLC), para la verificación de la Temperatura.



Anexo 6. Placa Característica del Panel Solar Fotovoltaico.

Item NO.	TEC-M100-18
TYPE	Mono
Peak Power(Pmax)	100W
Peak Circuit Voltage(Voc)	22.7V
Max. Power Voltage(Vmp)	18.8V
Short Circuit Current(Isc)	5.85A
Max. Power Current(Imp)	5.32A
Power Tolerance Range	±3%
Maximum System Voltage	1000V
Temperature Range	-40~ +80 °C
Dimensions	1010×660×35mm
Standard Testing Condition	AM1.5, 1000W/m ² , 25 °C

WARNING-ELECTRICAL SHOCK HAZARD

This photovoltaic Module produces electricity when exposed to light. Follow all applicable electrical safety precautions.

UL IEC CE TÜV INVER CERT

Anexo 7. Tabla de cálculo de equivalencias de KWH a CO2 del Gobierno de Aragón - España.

FACTOR DE EMISIÓN DE CONSUMO ELÉCTRICO

Consumo anual	Unidades de medida física	Factor de emisión (Kg de CO2 eq/kWh)	Kg de CO2 eq
148,45	kWh	0,385	57,15325

FACTORES DE EMISIÓN COMBUSTIBLES

Combustible	Consumo anual	Unidades de medida física	Factor de conversión	kWh	Factor de emisión (Kg de CO2 eq/kWh)	Kg de CO2 eq
Gas natural		Nm3	10,7056	kWh/Nm3	0	0
Gasóleo		Litros	10,6	kWh/l	0	0
Puel		Kg	11,1811	kWh/Kg	0	0
GLP Genérico		Kg	12,6389	kWh/Kg	0	0
Carbón nacional		Kg	5,6972	kWh/Kg	0	0
Carbón de importación		Kg	7,0917	kWh/Kg	0	0
Gas butano		Nº de bombonas o Kg	12,4389	kWh/Kg	0	0

Anexo 8. Materiales y equipos utilizados en el Suelo Radiante.

Materiales del prototipo experimental MATERIAL	CARACTERÍSTICA
Tubo de cobre 3/8"	10 metros
Poliestireno expandido (tecnopor)	1m2
Lana de vidrio	0.3m2
Plástico (polietileno)	3m2
Madera 2"x2" x 3m	9 metros
PCM45	1.5 litros
Madera para el piso (Machihembrado)	2.26m2
Clavos 2"	1/2 kilo
Colector Solar térmico de 130 Litros	Fuente de agua Caliente
Lana de Oveja	8 Libras
Sistema Solar Fotovoltaico	Panel solar Fotovoltaico + Regulador de Carga + Inversor
Controlador de Temperatura	AX4-3A con salida analógica para PLC
PT - 100	Sensor de Temperatura
PLC	Controlador lógico programable
Multímetro Multiprocesos	Medidor de Energía
Variador de Frecuencia Solar	Control de caudal de electrobomba trifásica
Bomba de agua	¼ HP, 220v, Trifásico
Fuente DC – AC	Inversor de 600w

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 9. Fotografías.



Medidor de Irradiación Solar (Solarímetro o Radiómetro), Vista Posterior.



Medidor de Irradiación Solar (Solarímetro o Radiómetro), Vista Superior.



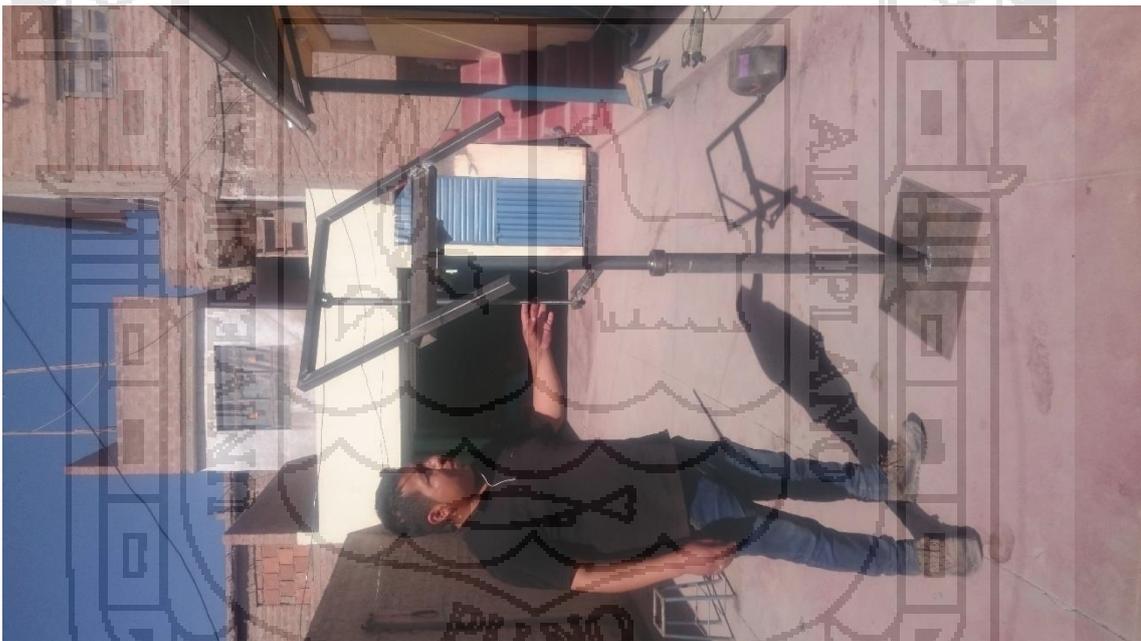
Realizando la medición de la Irradiación Solar.



Construcción de la Estructura Solar Fotovoltaica.



Construcción de la Estructura Solar Fotovoltaica.



Acabando la construcción de la estructura Solar Fotovoltaica.



Realizando el montaje del Panel Solar Fotovoltaico.



Presentado la estructura final con el Panel Solar Fotovoltaico.



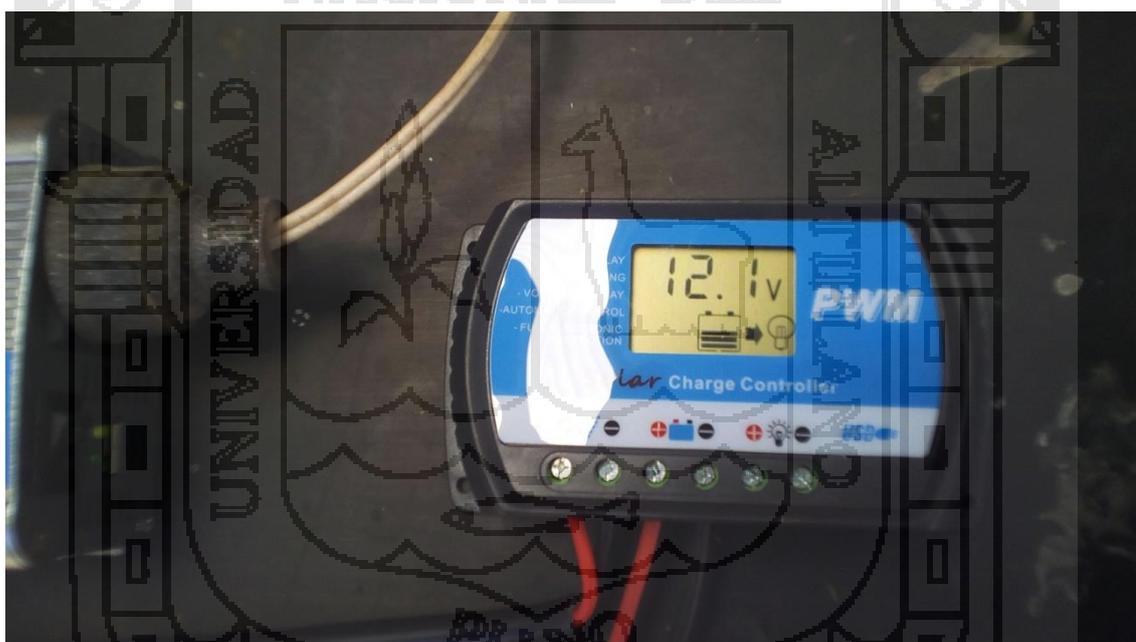
Ajustando en ángulo solar en dirección del norte magnético.



Diseñando y realizando el montaje del Controlador de Temperatura y de Proceso de Operación + la Sonda de Temperatura.



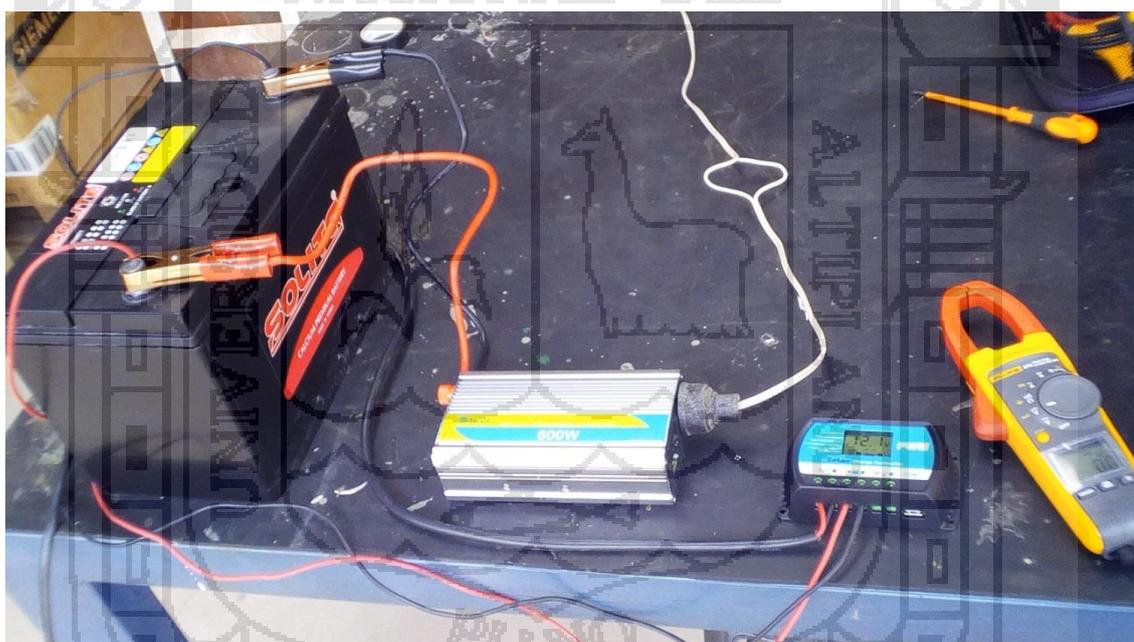
Realizando la medición de parámetros eléctricos en el módulo solar fotovoltaico.



Verificando el Regulador de carga sin en Panel Solar Fotovoltaico.



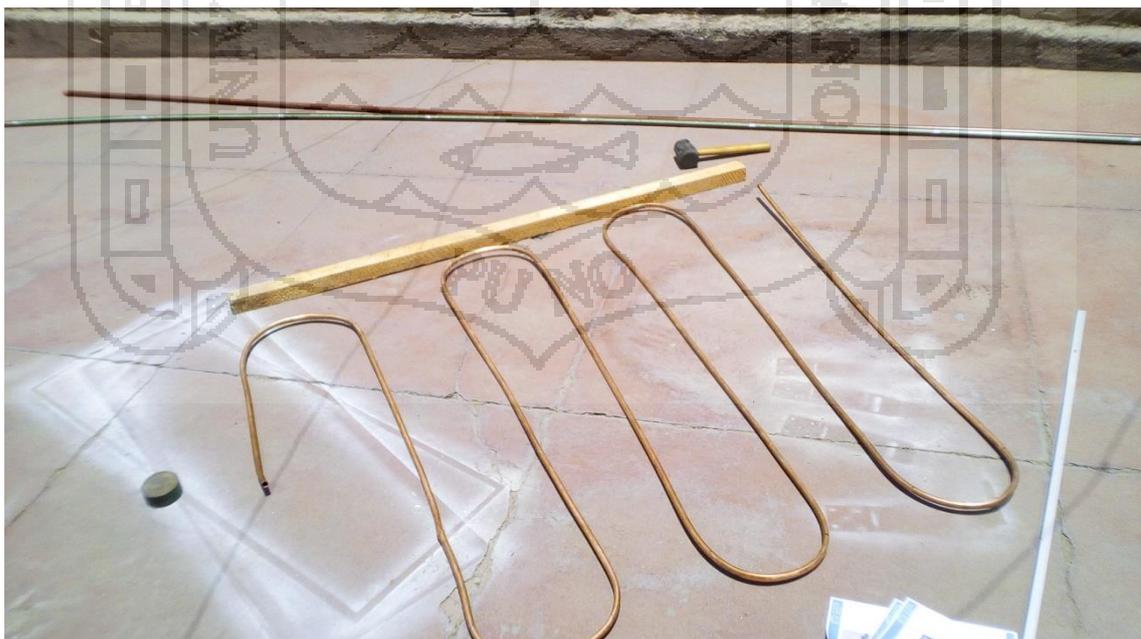
Verificando el Regulador de carga con el Panel Solar Fotovoltaico.



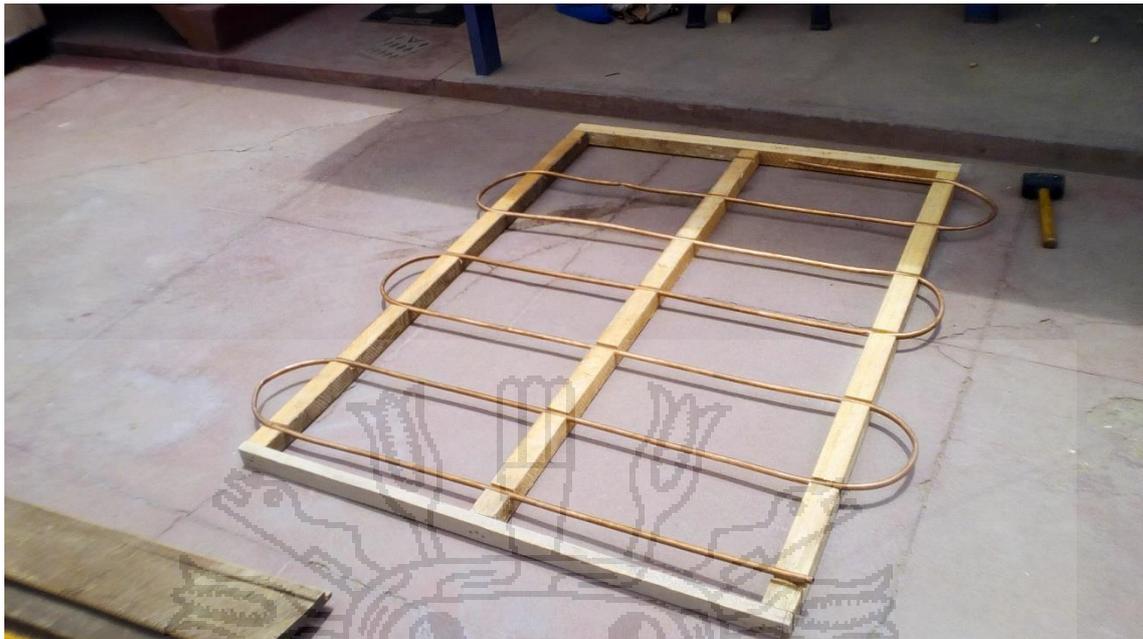
Evaluando la operación del Módulo Fotovoltaico.



Colector Solar de Tubos de Vacío de 130 Litros.



Doblando la tubería de Cu de 3/8" del suelo radiante.



Colocando la tubería de Cu a la estructura de madera.



Instalando el piso radiante en la habitación experimental.



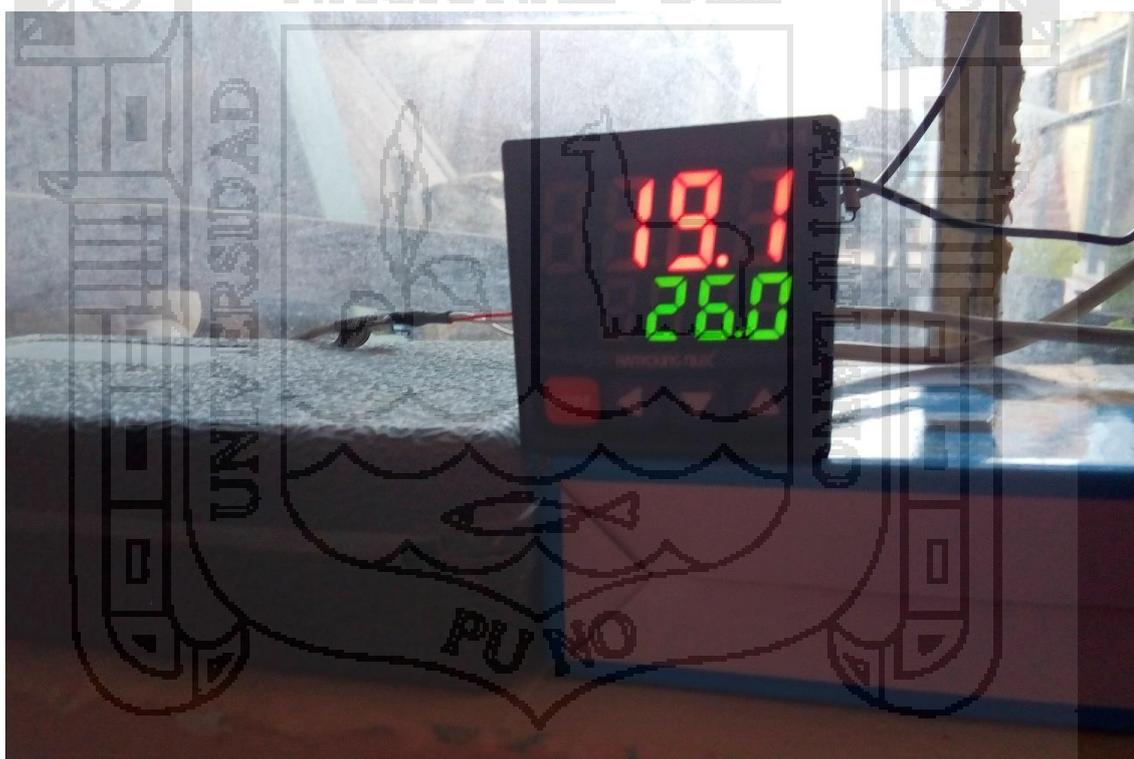
Colocando los materiales aislantes en el suelo experimental.



Colocando el machihembrado sobre el piso radiante.



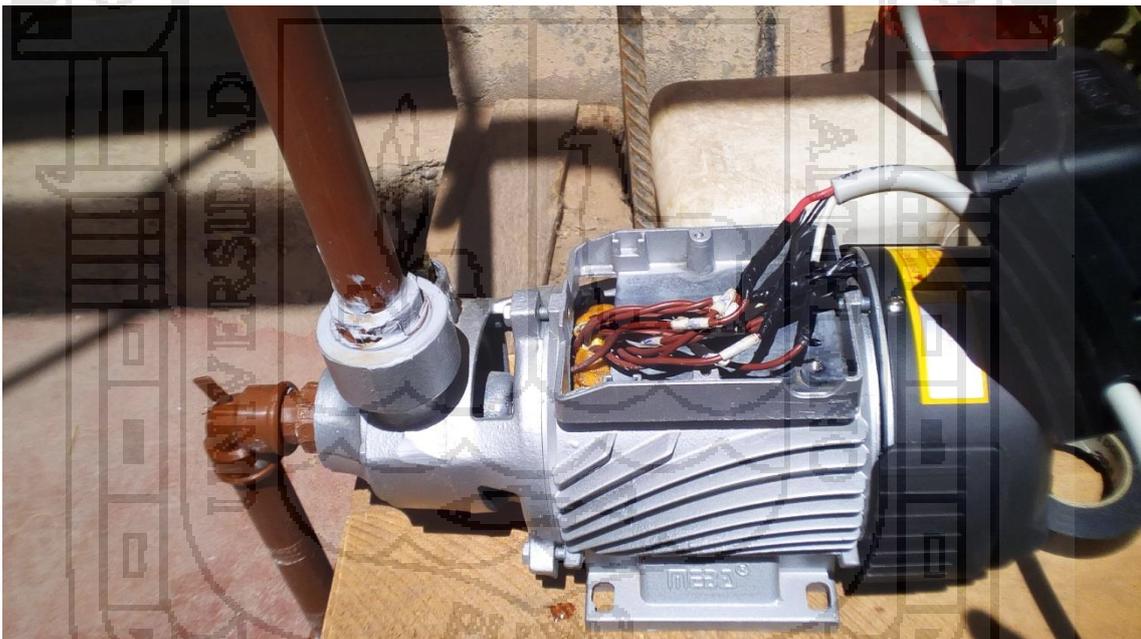
Instalando el tablero de Control del Módulo Fotovoltaico y control de la Bomba.



Verificando la Temperatura de la habitación con el controlador.



Ubicando el sensor de Temperatura PT – 100 a 60cm de altura.



Instalando la Electrobomba y la tubería de realimentación del suelo radiante.

Anexo 10. Costos y Presupuesto.

METRADO Y PRESUPUESTO

“DETERMINACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE VIVIENDAS EN LA CIUDAD DE JULIACA”

Proyecto:

Descripción: **ENERGÍA SOLAR**

Motivo: **TESIS DE MAESTRÍA**

FECHA: sep.-17

Provincia: **SAN ROMÁN**

ELABORADO E.R.A.L.

Distrito: **JULIACA**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

Institución

ITEM	DESCRIPCIÓN	METRADO		COSTO(S/.)	
		UNID.	CANT.	UNITARIO	PARCIAL
1.00	MEDIDOR DE IRRADIACIÓN SOLAR (RADIÓMETRO).				
1.01	Mac Solar SLM018c	unid	1.00	1100.00	1,100.00
	SUB TOTAL				1,100.00
2.00	MODULO SOLAR FOTOVOLTAICO.				
	Panel Solar Mono cristalino de 100W, 12VDC	unid	1.00	698.00	698.00
2.01	Regulador de carga	unid	1.00	45.00	45.00
2.02	Inversor de 600W	unid	1.00	300.00	300.00
2.03	Batería Solar Semi Seca SOLITE de 90AH	unid	1.00	450.00	450.00
2.04	Estructura de 2 grados de Libertad	unid	1.00	150.00	150.00
2.05	SUB TOTAL				1,643.00
3.00	MEDIDOR DE TEMPERATURA				
3.01	Sonda de Temperatura PT - 100	unid	1.00	120.00	120.00
3.02	PLC TM241 (Controlador Lógico Programable)	unid	1.00	1100.00	1,100.00
	SUB TOTAL				1,220.00
4.00	Pinza Amperimétrica FLUKE				
4.01	Medidor de Parámetros Eléctricos	unid	1.00	950.00	950.00
	SUB TOTAL				950.00
5.00	COLECTOR SOLAR DE TUBOS DE VACÍO DE 130 LITROS.				
5.01	Colector Solar Tecsol de 10 Tubos de Vacío, Capacidad 130 Litros	unid	1.00	1200.00	1,200.00
	SUB TOTAL				1,200.00
6.00	TRABAJO DE GABINETE.				
6.01	Impresiones de documentos y planos	unid	1.00	300.00	300.00
6.03	Suelo Radiante	unid	1.00	700.00	700.00
	SUB TOTAL				1,000.00

RESUMEN GENERAL

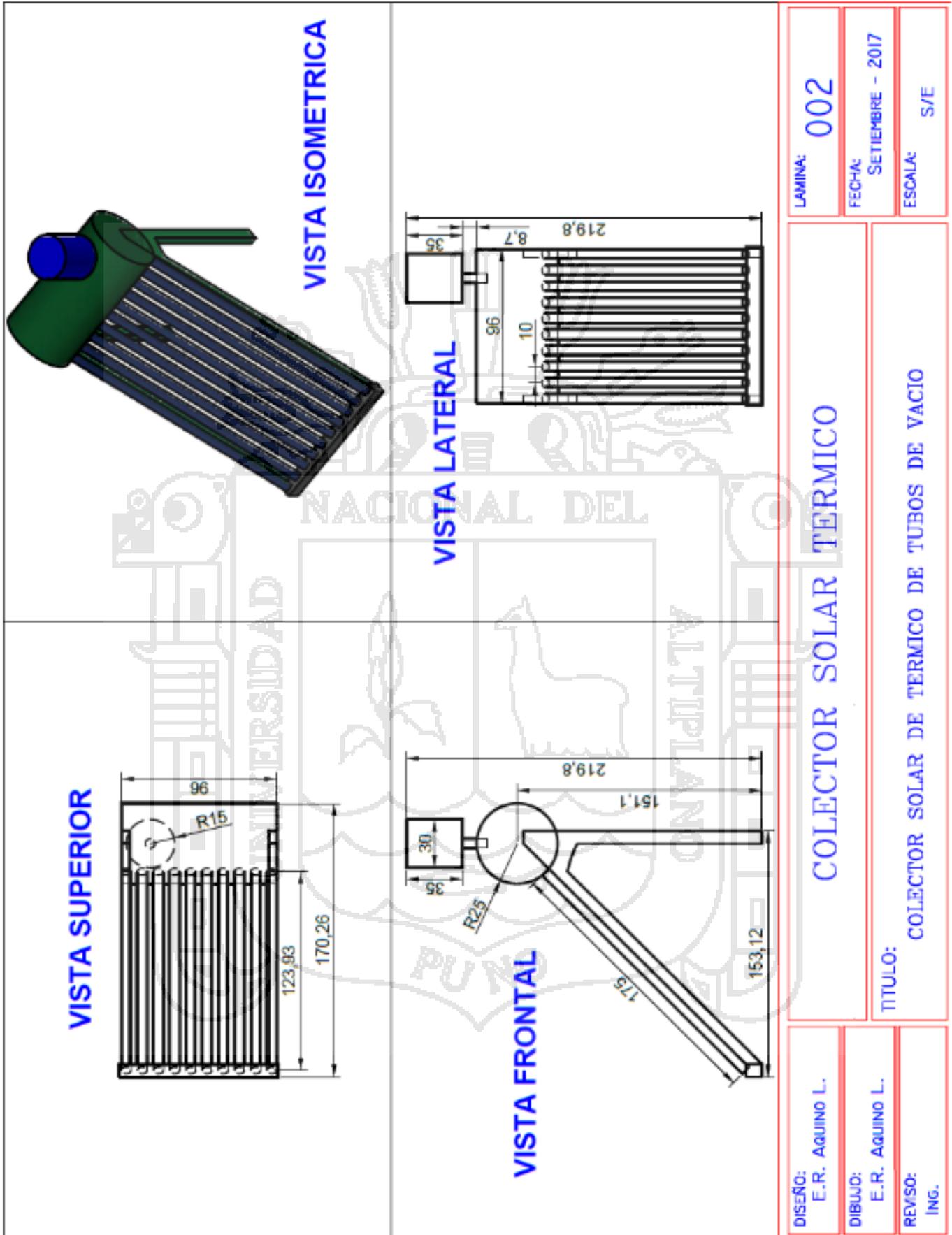
A.- SUMINISTRO DE MATERIALES	7,113.00
B.- GASTOS ADICIONALES (10%)	711.30
C.- IGV (18% de A,B y C)	1,408.37

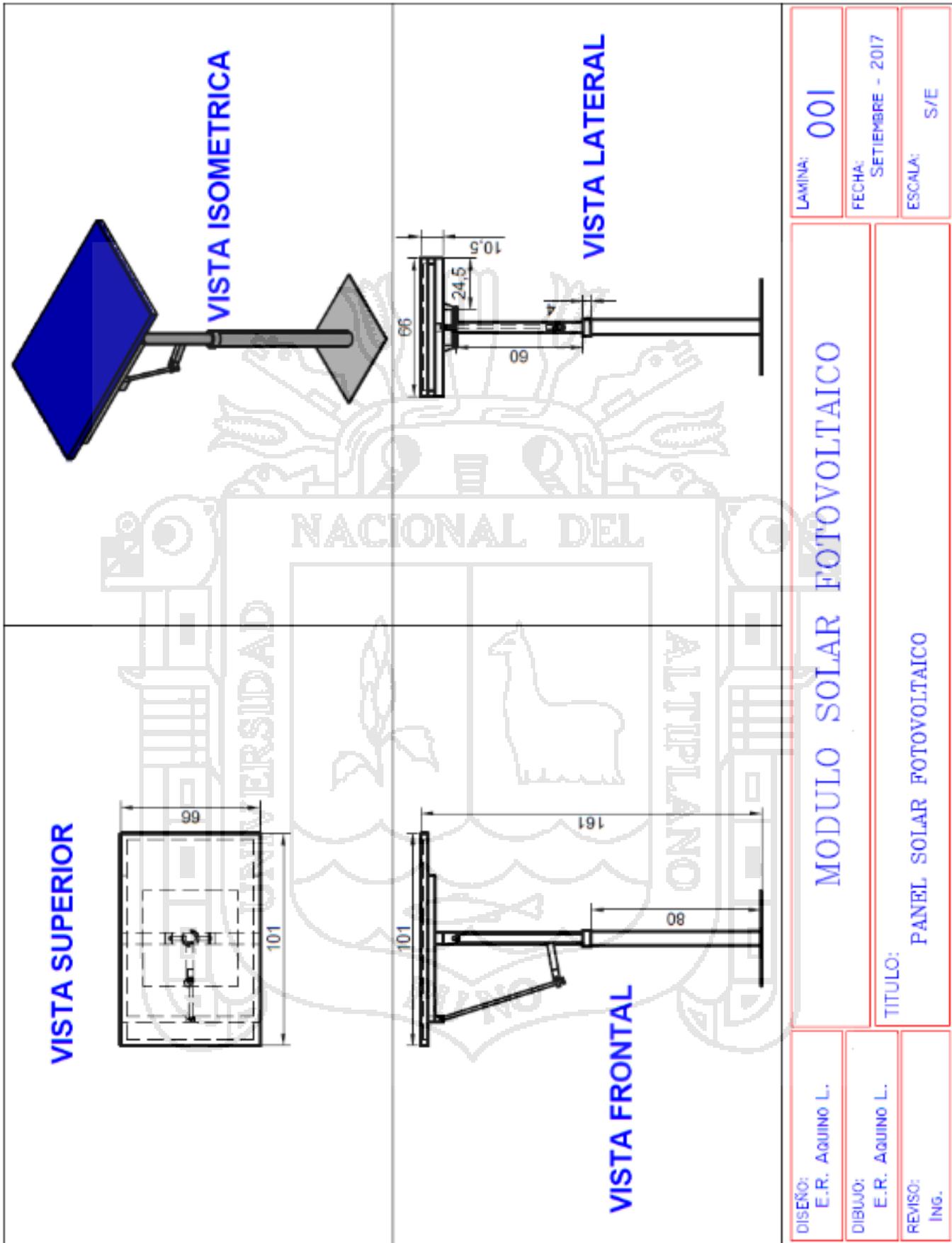
TOTAL	S/.	9,232.67
--------------	------------	-----------------

Anexo 11. Planos del Módulo Solar Fotovoltaico y Colector de Tubos de Vacío.

Anexo 12. Programación en MatLab.







Programa desarrollado por Rodrigo Aquino, para Tesis de Maestria

Table of Contents

Borrar todo	1
Datos de la medicion de la Irradiacion Solar promedio Global por dia	1
Graficando la Irradiacion Solar Promedio Global	1
Ajustando el modelo matematico por aproximacion Polinomial de 5° Grado	2
Graficando la Aproximacion Matematica	2
Graficando Intervalo de Tiempo	3

Borrar todo

```
clear all
clc
```

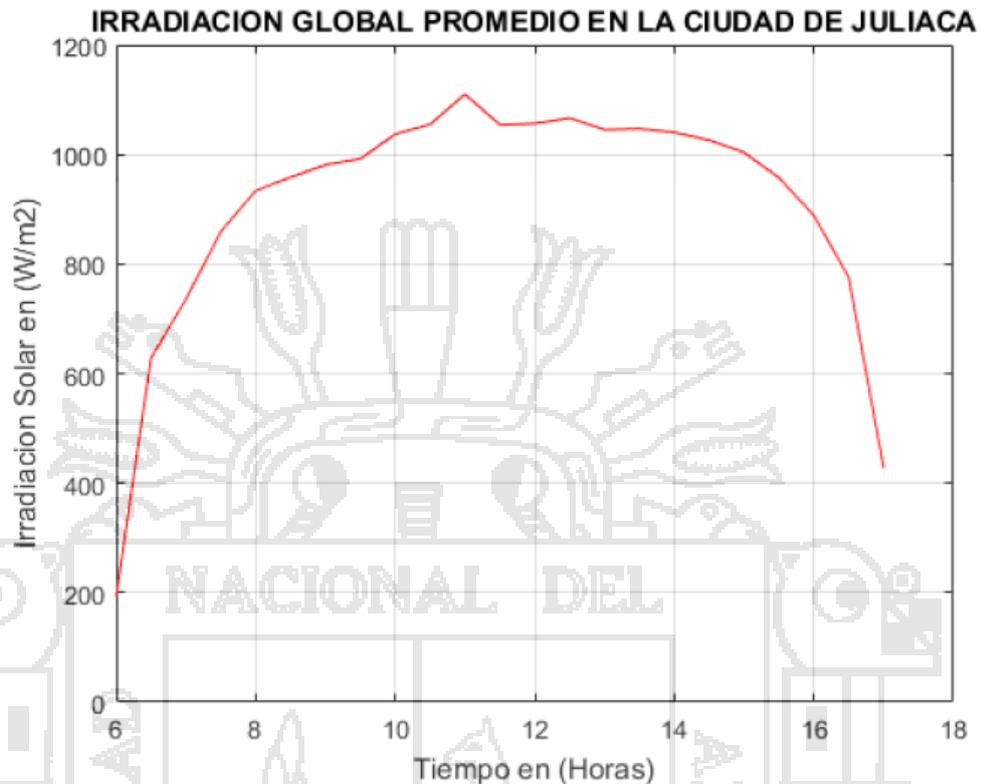
Datos de la medicion de la Irradiacion Solar promedio Global por dia

```
x=[6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15
15.5 16 16.5 17];
y=[192.34 628.61 735.54 859.04 933.91 958.27 981.27 992.14 1037.14
1055.04 1110.04 1054.27 1056.49 1066.61 1045.34 1046.91 1040.47
1026.21 1003.74 957.54 888.61 775.51 428.07];
```

Graficando la Irradiacion Solar Promedio Global

```
plot(x,y,'r')
grid
xlabel('Tiempo en (Horas)');
ylabel('Irradiacion Solar en (W/m2)')
title('IRRADIACION GLOBAL PROMEDIO EN LA CIUDAD DE JULIACA')
```

Programa desarrollado por Rodri-
go Aquino, para Tesis de Maestria



Ajustando el modelo matematico por aproxi- macion Polinomica de 5° Grado

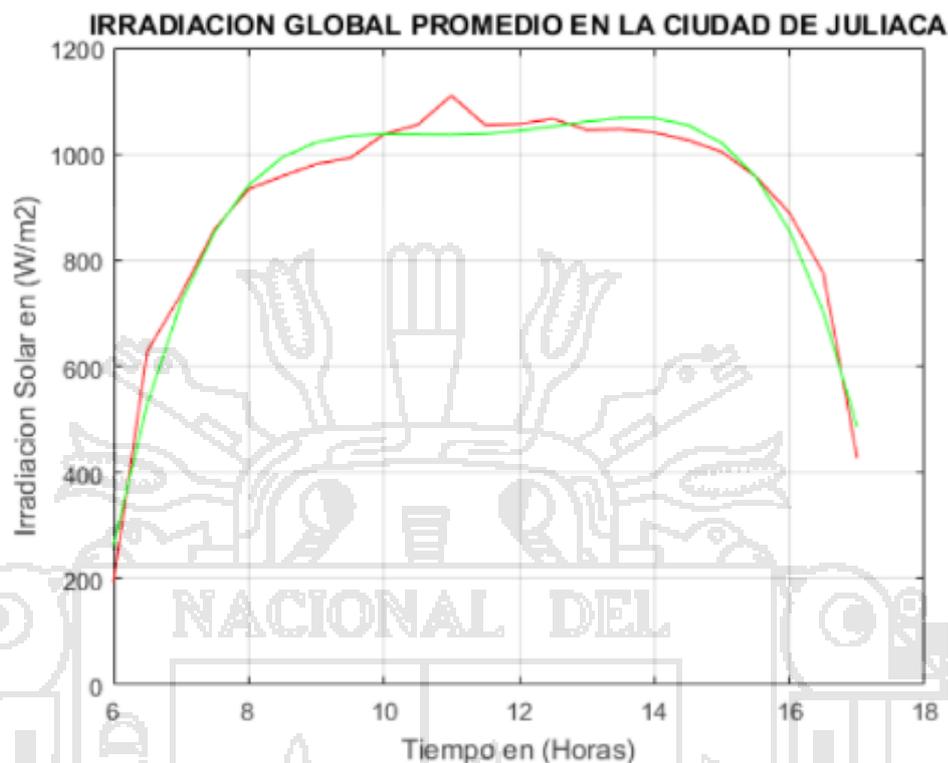
```
A=polyfit(x,y,5);
disp('Mostrando el Modelo = ');
disp(A)
f1=polyval(A,x);

Mostrando el Modelo =
1.0e+04 *
0.0000 -0.0001 0.0052 -0.0853 0.6301 -1.6471
```

Graficando la Aproximacion Matematica

```
hold on
plot(x,f1,'g');
```

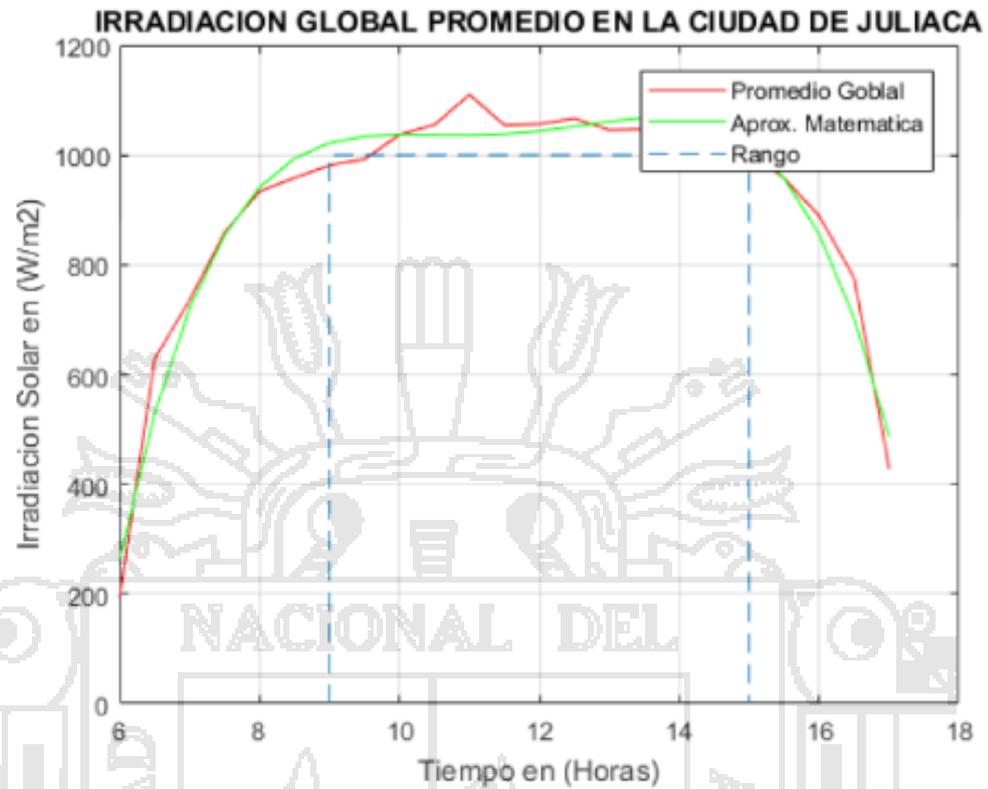
Programa desarrollado por Rodrigo Aquino, para Tesis de Maestria



Graficando Intervalo de Tiempo

```
P=[9 9 15 15];
Q=[0 1000 1000 0];
plot(P,Q,'r--');
legend('Promedio Goblal','Aprox. Matematica','Rango')
```

go Aquino, para Tesis de Maestria



Published with MATLAB® R2017a