

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



“ANÁLISIS E INSTALACIÓN DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE
SEGUIDORES SOLARES PARA INCREMENTAR LA GENERACIÓN DE
POTENCIA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A
RED DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, 2020”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA

AUTOR

DAVID ELVIS CONDEZO HURTADO

ASESOR: Dr. Ing. NICANOR RAÚL BENITES SARAVIA

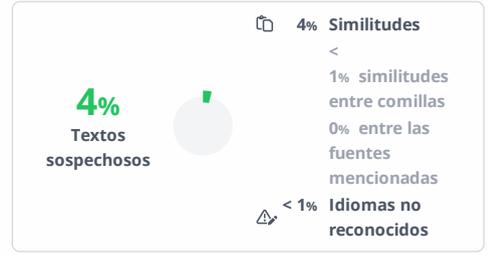
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Callao, 2024

PERÚ

TESIS_DOCTORADO_CONDEZO

La investigación desarrollada tuvo por objetivo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la generación de potencia eléctrica en el Sistema Fotovoltaico Conectado a Red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.



Nombre del documento: TESIS SEGUIDOR V9.pdf	Depositante: DAVID ELVIS CONDEZO HURTADO	Número de palabras: 27.400
ID del documento: 1e2570daa6a4837fc6597ffae3725744e96b7d6a	Fecha de depósito: 2/2/2024	Número de caracteres: 181.460
Tamaño del documento original: 7,18 MB	Tipo de carga: url_submission	
Autor: DAVID ELVIS CONDEZO HURTADO	fecha de fin de análisis: 2/2/2024	

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.uncp.edu.pe 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (290 palabras)
2	wpd.ugr.es Práctica 7 Estadística 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (175 palabras)
3	alicia.concytec.gob.pe Metadatos: Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaic...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (112 palabras)
4	repositorio.usanpedro.edu.pe	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (71 palabras)
5	oa.upm.es 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (68 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.uncp.edu.pe	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
2	Documento de otro usuario #80039a El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
3	intranet.uncp.edu.pe NOTICIA Universidad Nacional del Centro del Perú	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
4	repositorio.ucsg.edu.ec	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (25 palabras)
5	Documento de otro usuario #2d91dc El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas) Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1	https://www.sunnyportal.com/
2	https://www1.meteocontrol.de/vcom
3	https://gestion.pe/economia/centrales-solares-peru-cuenta-con-solo
4	https://www.segib.org/agenda/foro-economico
5	http://intranet.uncp.edu.pe/?q=noticia/instalan-paneles-solares-en-la

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD:

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN:

Unidad de Investigación de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

TÍTULO:

“Análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020”

AUTOR:

CONDEZO HURTADO DAVID ELVIS / Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1658-910X>/ DNI: 42594945.

ASESOR:

Dr. Ing. BENITES SARAVIA NICANOR RAÚL / Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3245-6470> DNI: 10189914.

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Sistema fotovoltaico conectado a la red de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

UNIDAD DE ANÁLISIS:

Seguidor solar.

TIPO:

Tecnológico.

ENFOQUE:

Cuantitativo.

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

Experimental.

TEMA OCDE:

2.02.01. Ingeniería Eléctrica y Electrónica

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACIÓN

MIEMBROS DEL JURADO

Dr. : Marcelo Nemesio DAMAS NIÑO	PRESIDENTE
Dr. : Jacob ASTOCONDOR VILLAR	SECRETARIO
Dr. : Adán Almircar TEJADA CABANILLAS	MIEMBRO
Dr. : Abilio Bernardino CUZCANO RIVAS	MIEMBRO
Dr. : Nicanor Raúl BENITES SARAVIDA	ASESOR

ACTA : 06-2024

Nº DE LIBRO : 01

FOLIO : 142

FECHA DE APROBACIÓN : 26 de abril del 2024

RESOLUCIÓN DIRECTORAL : 031-2024-DUPFIEE

DEDICATORIA

La presente investigación dedico a mi esposa Rocio por su grandioso apoyo que permitió conseguir mis objetivos y a mis dos grades motivos para seguir investigando Elvis y Antonella, mis hijos que los amo mucho.

AGRADECIMIENTO

El logro de esta investigación debe su agradecimiento a los estimados educadores de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, por su compromiso inquebrantable de impartir su valiosa experiencia.

ÍNDICE

RESUMEN	12
ABSTRACT	13
RESUMO	14
INTRODUCCIÓN	15
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.1. Descripción de la realidad problemática.	17
1.2. Formulación del problema.	19
1.2.1 Problema principal:	19
1.2.2 Problemas secundarios:	20
1.3. Objetivos	20
1.3.1 Objetivo general:	20
1.3.2 Objetivos específicos:.....	20
1.4. Limitantes de la investigación	21
II. MARCO TEORICO	22
2.1 Antecedentes: Internacional y nacional.	22
2.2 Bases teóricas	30
2.2.1 Base filosófica de la investigación	30
2.2.2 La Energía Solar Fotovoltaica	34
2.2.3 Sistema Fotovoltaico	35
2.2.4 Seguidor solar como dispositivo de optimización.....	44
2.3 Conceptual	50
2.4 Definición de términos básicos	50
III. HIPOTESIS Y VARIABLES	51

3.1. Hipótesis	51
3.1.1 Hipótesis general.....	51
3.1.2 Hipótesis específica.....	52
3.2. Definición conceptual de variables.	52
3.1.3 Variable General	52
3.1.4 Variables Específicas	52
3.3. Operacionalización de variables	53
IV. DISEÑO MÉTODOLÓGICO	55
4.1 Tipo y diseño de investigación.	55
4.2 Método de investigación.	59
4.3 Población y muestra.	59
4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado	60
4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información. ..60	
4.6 Análisis y procesamiento de datos.	61
V. RESULTADOS	62
5.1 Resultados descriptivos	62
5.1.1 Ubicación y descripción del proyecto existente	62
5.1.2 Información meteorológica.....	65
5.1.3 Diseño de seguidores solares.....	68
5.1.3.1 Diseño electrónico	68
5.1.3.2 Diseño mecánico y simulación	71
5.1.4 Construcción del proyecto de investigación.	74
5.1.5 Resultados descriptivos de Irradiación.....	92
5.1.6 Resultados descriptivos de energía eléctrica.	95
5.2 Resultados inferenciales.	97

5.3 Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis.	100
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	105
6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.	105
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares.	108
6.3 Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes (el autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en el informe).	109
CONCLUSIONES	110
RECOMENDACIONES	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
ANEXOS	117
1. Matriz de consistencia.	118
2. Instrumentos de recolección de datos.	122
3. Base de datos	125
4. Plano de seguidores	143
5. Pruebas de simulación de los paneles solares	145
6. Panel fotográfico de la construcción de seguidores.	165
7. Panel fotográfico de la experimentación.	168

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Desmembración lógica mental de la ingeniería eléctrica	19
Tabla 2 Matriz de operacionalización de la Variable independiente (x1)	53
Tabla 3 Matriz de operacionalización de la Variable independiente (x2)	54
Tabla 4 Matriz de operacionalización de la Variable Dependiente	54
Tabla 5 Datos de irradiación	65
Tabla 6 Datos al iniciar simulación - Panel estático	72
Tabla 7 Datos después de la simulación - Panel estático	72
Tabla 8 Panel de un eje de movimiento datos al iniciar la simulación	72
Tabla 9 Panel de un eje de movimiento datos al finalizar la simulación	73
Tabla 10 Panel de dos ejes de movimiento datos al iniciar la simulación	73
Tabla 11 Panel de dos ejes de movimiento datos al finalizar la simulación	73
Tabla 12 Presupuesto del proyecto de investigación	92
Tabla 13 Información del piranómetro del seguidor estático	92
Tabla 14 Descripción de datos de radiación	95
Tabla 15 Energía generada por cada seguidor	95
Tabla 16 Datos descriptivos de la generación de energía	96
Tabla 17 Prueba de normalidad	98
Tabla 18 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra residuos	102
Tabla 19 Prueba de homogeneidad de varianzas	104
Tabla 20 Factores inter-sujetos	106
Tabla 21 Análisis de la Varianza de un Factor o una Vía	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura básica de una célula solar.....	35
Figura 2. Celda fotovoltaica	36
Figura 3. Partes del panel fotovoltaico	37
Figura 4. Mapa de irradiación solar en América del sur	38
Figura 5. Mapa de irradiación solar del Perú.....	39
Figura 6. Mapa de irradiación solar de la región Junín.....	39
Figura 7. Ángulos de orientación.....	40
Figura 8. Componentes de la Irradiación	41
Figura 9. Inclinación de la tierra y ejes principales	42
Figura 10. Variables astronómicas determinadas con los ejes.....	42
Figura 11. Trayecto del sol en el año	43
Figura 12. Emplazamiento del sol	44
Figura 13. Seguidor solar.....	45
Figura 14. Esquema eléctrico del motor.....	46
Figura 15. Torques presentes en el motor	47
Figura 16. Modelo integrador	48
Figura 17. Ubicación	62
Figura 18. Sistema solar con conexión a redes eléctricas.....	63
Figura 19. Portal sunnyportal	64
Figura 20. Energía generada del sistema conectado a la red	64
Figura 21. Plataforma meteocontrol	65
Figura 22. Datos de radiación según METEONORM	66
Figura 23. Recorrido del sol durante el año.	67
Figura 24. Recorrido del sol em coordenadas rectangulares.	67
Figura 25. Esquema del circuito del panel estático	68

Figura 26. Circuitos de los seguidores rotatorios	69
Figura 27. Estación de carga y medición	69
Figura 28. Simulación del desplazamiento mecánico.....	70
Figura 29. Simulación de torque de los ejes	70
Figura 30. Simulación del panel solar de 1 eje de movimiento.....	71
Figura 31. Soporte estructural del seguidor solar de 1 eje	74
Figura 32. Dimensiones del soporte de un eje	75
Figura 33. Soporte de las celdas solares a lo largo del eje de movimiento	75
Figura 34. Interfaz de control del sistema	76
Figura 35. Ejes del seguidor solar.....	77
Figura 36. Soporte estructural del seguidor de 2 ejes	77
Figura 37. Plano general de la estructura de 2 ejes	78
Figura 38. Panel de control del seguidor de 2 ejes	78
Figura 39. Estructura de los seguidores astronómico.....	79
Figura 40. Panel de control del seguidor astronómico.....	80
Figura 41. Encoder modificado	80
Figura 42. Dataloger usado para la recolección de datos	81
Figura 43. Circuito del tablero de control.....	81
Figura 44. Placa de PCB del tablero de control.....	82
Figura 45. Esquemático del circuito de control astronómico.....	82
Figura 46. Diseño PCB de la placa	83
Figura 47. Sensor GPS NEO 6M_00	83
Figura 48. Sensores de apoyo (Piranómetro y Luz)	84
Figura 49. Modulo Max 485	84
Figura 50. Armado del encoder.....	85
Figura 51. Montaje del circuito de control.....	86

Figura 52. Armado del seguidor de 2 ejes y astronómico.....	86
Figura 53. Base giratoria.....	87
Figura 54. Integración de elementos en la estructura.....	87
Figura 55. Ensamblaje sin celdas solares	88
Figura 56. Instalación de los seguidores solares en a UNCP	88
Figura 57. Instalación de periféricos	89
Figura 58. Sistema de protección.....	89
Figura 59. Verificación final de la instalación	90
Figura 60. Resultado final de la instalación.....	90
Figura 61. Muestra panorámica del día de experimentación	91
Figura 62. Grafica de Irradiación de un día.	93
Figura 63. Comparación de Irradiancia con diferentes seguidores.	93
Figura 64. Diagrama de cajas	94
Figura 65. Comparación de generación de energía por tecnología	96
Figura 66. Gráfico de cajas de generación de energía.....	97
Figura 67. Visualización de distribución de datos del panel estático	98
Figura 68. Visualización de distribución de datos seguidor de un eje.....	99
Figura 69. Gráfico de Q-Q normal para seguidor solar de dos ejes.....	99
Figura 70. Gráfico de Q-Q normal para seguidor astronómico	100
Figura 71. Valores de residuos para cada tipo de tecnología	100
Figura 72. Histograma de residuos de generacion de energía	101
Figura 73. Gráfica de Q-Q para valores de resíduo de los datos de generación de energía eléctrica	101
Figura 74. Análisis de independecia de residuos	103
Figura 75. Barras de error.....	103
Figura 76. Gráfica de medias.....	104

RESUMEN

La investigación desarrollada tuvo por objetivo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la generación de potencia eléctrica en el Sistema Fotovoltaico Conectado a Red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020. Para el objetivo previsto, se empleó la investigación tecnológica porque se utilizó conocimientos preexistentes sobre los seguidores solares. Además, se implementó un diseño de investigación experimental, teniendo en cuenta las variables independientes inherentes al diseño y la construcción de las distintas tecnologías del seguidor estático, seguidor de dos ejes y seguidor astronómico. Además, se llevó a cabo una investigación a nivel explicativo, ya que facilitó la relación causa-efecto entre la implementación de seguidores solares y el consiguiente aumento de la energía eléctrica. Los principales hallazgos del estudio indican que la implementación de rastreadores básicos de un solo eje mejora la adquisición de radiación solar, lo que resulta en un aumento en promedio de 449,7 a 723,4 W/m². Luego de experimentar con tres tipos de seguidores de un eje, dos ejes y astronómico se concluyó que el mejor seguidor es el astronómico porque cuenta con sensores de luz LDR y sensor GPS que es capaz de seguir el sol en cualquier posición. Como resultado de la experimentación se afirma que la energía generada en los siete meses de estudio se incrementa en más de un 50%, es decir la energía que genera un sistema estático es de 50.49 kWh en promedio y usando el seguidor astronómico la energía que genera en promedio es de 103.23 kWh, también es importante indicar que la experimentación se realizó en la ubicación donde se encuentra el sistema fotovoltaico conectado a la red. Como conclusión se manifiesta que el uso de seguidores solares es muy importante para mejorar la captura de radiación solar para incrementar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos, mejorando la generación de energía eléctrica a favor de la población y como una forma de mitigar el cambio climático.

ABSTRACT

The research carried out had the objective of analyzing and installing different solar tracker technologies to increase the generation of electrical power in the Grid-Connected Photovoltaic System of the National University of Central Peru, 2020. For the intended objective, the research was used technological because pre-existing knowledge about solar trackers was used. In addition, an experimental research design was implemented, taking into account the independent variables inherent in the design and construction of the different technologies of the static tracker, two-axis tracker, and astronomical tracker. In addition, an investigation was carried out at an explanatory level, since it facilitated the cause-effect relationship between the implementation of solar trackers and the consequent increase in electrical energy. The main findings of the study indicate that the implementation of basic single-axis trackers improves the acquisition of solar radiation, resulting in an increase on average from 449.7 to 723.4 W/m². After experimenting with three types of one-axis, two-axis and astronomical trackers, it was concluded that the best tracker is the astronomical one because it has LDR light sensors and a GPS sensor that is capable of following the sun in any position. As a result of the experimentation, it is stated that the energy generated in the seven months of study increases by more than 50%, that is, the energy generated by a static system is 50.49 kWh on average and using the astronomical tracker the energy generated on average it is 103.23 kWh, it is also important to indicate that the experimentation was carried out in the location where the photovoltaic system is connected to the network. In conclusion, it is stated that the use of solar trackers is very important to improve the capture of solar radiation to increase the efficiency of photovoltaic systems, improving the generation of electrical energy in favor of the population and as a way to mitigate climate change.

RESUMO

A pesquisa realizada teve como objetivo analisar e instalar diferentes tecnologias de rastreadores solares para aumentar a geração de energia elétrica no Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede da Universidade Nacional do Peru Central, 2020. Para o objetivo pretendido, a pesquisa foi usada tecnológica porque conhecimento pré-existente sobre rastreadores solares foi usado. Além disso, foi implementado um projeto de pesquisa experimental, levando em consideração as variáveis independentes inerentes ao projeto e construção das diferentes tecnologias do rastreador estático, rastreador de dois eixos e rastreador astronômico. Além disso, foi realizada uma investigação a nível explicativo, uma vez que facilitou a relação de causa e efeito entre a implementação de seguidores solares e o consequente aumento de energia elétrica. As principais conclusões do estudo indicam que a implementação de rastreadores básicos de eixo único melhora a aquisição da radiação solar, resultando em um aumento médio de 449,7 para 723,4 W/m². Depois de experimentar três tipos de rastreadores de um eixo, dois eixos e astronômicos, concluiu-se que o melhor rastreador é o astronômico porque possui sensores de luz LDR e um sensor GPS capaz de seguir o sol em qualquer posição. Como resultado da experimentação, afirma-se que a energia gerada nos sete meses de estudo aumenta em mais de 50%, ou seja, a energia gerada por um sistema estático é de 50,49 kWh em média e usando o rastreador astronômico a energia gerada em média é de 103,23 kWh, também é importante indicar que a experimentação foi realizada no local onde o sistema fotovoltaico está conectado à rede. Em conclusão, afirma-se que o uso de rastreadores solares é muito importante para melhorar a captação da radiação solar para aumentar a eficiência dos sistemas fotovoltaicos, melhorando a geração de energia elétrica em favor da população e como forma de mitigar as mudanças climáticas.

INTRODUCCIÓN

La necesidad mundial de energía eléctrica sigue una trayectoria ascendente, y las fuentes no renovables siguen ocupando la posición dominante en la combinación energética mundial, sin embargo, la escalada de los problemas ambientales y el aumento de las temperaturas se han vuelto cada vez más críticos. Por lo tanto, las naciones de todo el mundo deben formular políticas energéticas que incorporen fuentes de energía renovables como una solución sostenible para la difícil situación del cambio climático. Dentro de las fuentes de energías renovables más usada a nivel mundial se encuentra la solar fotovoltaica, esta tecnología se encuentra más madura en relación con el conocimiento de construcción, instalación y puesta en operación. Con relación a la instalación los planes solares son fijos orientados hacia el norte, pero no brinda una buena eficiencia de generación por la variabilidad de la radiación solar según el desplazamiento del sol durante todo el año. Para mejorar la eficiencia se realizaron varios estudios de seguidores solares empleando diferentes tecnologías como seguimiento de la radiación con sensores, programación del recorrido del sol y otros que siguen en prueba de operación en los países europeos y americanos, es imperativo aclarar que las investigaciones se llevan a cabo en el entorno socioeconómico de los países industrializados, motivo por el cual es difícil imitar el diseño y construcción de las tecnologías existentes. El primer sistema fotovoltaico vinculado a la red, fue establecido por la Universidad Nacional del Centro en Huancayo de forma conjunta con el Ministerio de Energía y Minas; el propósito de este sistema es realizar investigaciones sobre la generación de energía eléctrica mediante la obtención de datos de radiación, pero es una instalación fija motivo por el cual la presente investigación tuvo por objetivo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para observar cómo se incrementa la generación de potencia eléctrica de generación, información que es de mucha importancia para posteriores usos de seguidores solares en instalaciones eléctricas similares, asimismo, la investigación ayudará a resolver los problemas de baja eficiencia de paneles

solares tanto en zonas urbanas y rurales, contribuyendo al bienestar de la población y a la preservación del medio ambiente. La metodología que se utilizó fue la tecnológica con un diseño experimental. Es importante destacar que existieron limitantes para la recopilación de datos en épocas con mayor nubosidad. Los resultados se derivaron de la comparación de cuatro variantes distintas de seguidores solares. Los cuatro tipos incluyen un rastreador solar de un solo eje con rotación horizontal, otro de dos ejes con doble grado de libertad para poder trazar la totalidad del Sol, tanto en inclinación como en azimut, un rastreador solar equipado con un sensor de luminosidad y, por último, un rastreador solar con programación astronómica que se basa en la posición georreferenciada del Sol. También se realizó simulaciones de los tipos de seguidores solares para poder contar con modelos matemáticos para que posteriormente se pueda construir seguidores solares más eficiente. El diseño, simulación y construcción de seguidores solares se basan en las características eléctricas que presenta la instalación fotovoltaica existente que está vinculada a la red de la universidad. La toma de datos de potencia eléctrica se realizó mediante registros de radiación desde la puesta en marcha del sistema fotovoltaico conectado a la red, para la toma de datos se desarrolló registros en hojas de cálculo donde se tomó datos de tensión, corriente y potencia eléctrica. El presente texto muestra la investigación realizada en cinco capítulos. El primer capítulo divulga la realidad problemática, es decir, la articulación del dilema de la investigación. El capítulo dos expone el contexto y el marco teórico empleado para la elaboración de la tesis, el capítulo tres expone la formulación de las hipótesis de investigación. El capítulo cuatro describe el modelo metodológico utilizado para la elaboración de la investigación y el capítulo cinco describe los resultados obtenidos durante la investigación, así como la comparación de los resultados con los antecedentes bibliográficos.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.

Debido a la actual crisis energética y a las crecientes preocupaciones ambientales, incluida la contaminación y el calentamiento global, la adopción de la energía solar se ha convertido en una alternativa atractiva para las regiones con una densidad solar sustancial en el escenario mundial. (Robles Algarín, Ospino Castro, & Casas Naranjo, 2017). A pesar de la abundancia y la universalidad de la energía solar, su utilización se ha visto obstaculizada por importantes limitaciones de ingeniería. Entre ellas figuran la naturaleza oscilante e intermitente de la fuente de energía, su dispersión, su baja intensidad y las limitadas eficiencias de conversión asociadas a los dispositivos tecnológicos actuales, así como la complejidad que implica su almacenamiento. En la actualidad, los sistemas fotovoltaicos que están conectados a la red presentan una naturaleza predominantemente estática, lo que resulta en una utilización subóptima de la energía solar obtenida. Esto se debe principalmente al hecho de que los incidentes solares perpendiculares a la zona de captación se limitan a una breve duración durante el día (Ramadan, 2020). Se reconoce ampliamente que para lograr una eficiencia óptima de un panel solar, se requiere que el sistema de control oriente el panel en un ángulo de 90 grados con respecto a la luz solar. El seguimiento solar es necesario para poder satisfacer esta condición. Para lograr este propósito varios métodos tecnológicos se pueden utilizar (Ozerdem & Shahin, 2014). Para abordar este problema, se ha recomendado utilizar algoritmos de seguimiento de puntos de máxima potencia y de seguimiento solar. Estos algoritmos se componen de una estructura mecánica que posee uno o dos grados de libertad (ejes) que funcionan con motores. Mediante un sensor de los rayos solares, estos motores dirigen los rayos perpendicularmente al incidente solar. Por lo

tanto, es evidente que los seguidores solares desempeñan un papel fundamental en el rendimiento de los sistemas solares.

Perú cuenta con condiciones meteorológicas óptimas para la producción de energía eléctrica utilizando recursos solares. Este es el ímpetu que está detrás de una mayor priorización de las iniciativas innovadoras que emplean esta tecnología (Vásquez Chigne & Zúñiga Anticona, 2015). En la actualidad, Perú posee siete instalaciones de energía solar que exhiben una capacidad agregada de 248.48 megavatios (Hidalgo, 2020), también en el Perú se realizó proyectos de electrificación rural en base a la tecnología fotovoltaica y asimismo, algunas instituciones públicas y privadas realizaron proyectos piloto pero todavía no se han desarrollado trabajos para mejorar el rendimiento o implementar sistemas de control para los sistemas fotovoltaicos (Arturo, 2018).

En Huancayo se han diseñado algunos sistemas fotovoltaicos para ahorro energético, equipos de bombeo e iluminación (Mendoza Caloretti & Soto Canchaya, 2017); también el Ministerio de Energía y Minas en alianza con la Universidad Nacional del Centro del Perú instalaron un sistema fotovoltaico de 3.5 kW de potencia el cual se destaca por ser el de mayor capacidad en la provincia de Huancayo (UNCP, 2019), sin embargo, no existen proyectos ejecutados de sistemas fotovoltaicos empleando seguidores solares.

Persistir en la instalación de sistemas fotovoltaicos (PV) estacionarios no se traducirá en una mejora notable de la eficacia de los paneles, ni despertará entusiasmo por su implementación tanto para fines comerciales como residenciales. Del mismo modo, no conducirá a una mayor comprensión de la tecnología de los seguidores solares.

Por las razones antes mencionadas, el presente estudio analiza e implementa seguidores solares con el objetivo de mejorar la eficacia de la producción de electricidad en los sistemas fotovoltaicos. Con el fin de lograr este objetivo, la investigación plantea la pregunta siguiente ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores

solares incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?

Es de suma importancia observar que la identificación de un problema de investigación dentro del ámbito de las líneas de investigación prioritarias implica un proceso de selección el cual se denomina desmembración lógica mental de la Ingeniería Eléctrica en base a dimensiones epistemológicas realizadas por los autores Damas Niño y Torres Bardales.

La tesis desarrollada se enmarca en el programa de generación de energía eléctrica, en el subprograma no convencional y en la línea de investigación paneles solares (Bardales, 2005), el cual se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 Desmembración lógica mental de la ingeniería eléctrica

DESMEMBRACIÓN LÓGICA MENTAL DE LA INGENIERÍA ELÉCTRICA		
PROGRAMAS	SUBPROGRAMAS	LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN
I. Generación de Energía Eléctrica	A. Convencionales	a. Hidráulicas
		b. Térmicas
		c. Nucleares
		d. Geotérmicas
		e. A Gas
		f. Diésel
		g. Micro centrales
	B. No Convencionales	a. Biomasa
		b. Paneles solares
		c. Centrales eólicas
		d. Parques eólicos
		e. Mareomotrices
		f. Parques fotovoltaicos

Nota: Información tomada del curso de taller tesis doctoral. Fuente: (Damas, 2022)

1.2. Formulación del problema.

1.2.1 Problema principal:

¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema

fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?

1.2.2 Problemas secundarios:

- ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?
- ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares mejorará las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?
- ¿En qué medida el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Analizar e instalar diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.
- Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para mejorar las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

- Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

1.4. Limitantes de la investigación

El manual de publicación de la American Psychological Association sugiere reconocer las limitaciones de la investigación, y señalar explicaciones alternativas de los resultados; discutir las posibilidades reales de generalización y validez externa de los resultados (Price & Murnan, 2004).

Limitante teórica

Existe investigaciones de seguidores solares a nivel nacional e internacional los cuales servirán como teoría básica para la realización de la investigación en el contexto peruano.

Limitante temporal

Las investigaciones empíricas y los análisis teóricos tienen fecha de inicio y de término, no hay investigaciones eternas, sin embargo, pueden ser interrumpidas por múltiples factores (Bardales, 2005).

La investigación realizada tiene una limitante temporal longitudinal porque se trabajó en un periodo de tiempo de siete meses.

Limitante espacial

La limitante espacial hace referencia al área geográfica, que pueden ser: local, regional, nacional e internacional, en el cual está comprendido el problema de investigación. Cuando el objeto de estudio es de primer nivel es decir es exclusivamente teórico, carece de esta limitante (Bardales, 2005).

Para el proyecto de investigación la limitante espacial fue las instalaciones de los sistemas fotovoltaicos conectado a red de la

Universidad Nacional del Centro del Perú, es decir la investigación creó conocimientos de forma local solo en la universidad para que posteriormente se desarrolle a nivel nacional.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes: Internacional y nacional.

a. Antecedentes Internacionales

Masoumeh Abdollahpour en el año 2018 realizó la investigación titulada “Desarrollo de un sistema de seguimiento solar de doble eje con visión artificial” (Abdollahpour, 2018). La investigación fue desarrollada en la Irán, University of Mashhad. El objetivo principal es estudiar un seguidor de doble eje que funciona basado en imágenes de sombra. El sistema estaba compuesto por un objeto de proyección de sombras, una cámara web, circuitos, controles de computadora y motores paso a paso. La cámara web se utilizó para capturar imágenes de la sombra. La metodología empleada fue realizar un sistema con tres componentes principales: (I) Computadora-interfaz de circuito para transmisión de señales a motores del sistema; (II) Imágenes módulo para capturar, enviar y analizar imágenes de la sombra y (III) Análisis y control del estado del panel solar para el ángulo de inclinación del panel y altura. Dos motores paso a paso proporcionan la rotación de los ejes del sistema. Los motores funcionan en modo CC y el disparador de entrada está en forma de pulsos eléctricos. En consecuencia, para un grado dado, se envía un pulso y el motor se mueve un paso. El autor concluyó que el sistema sigue al sol con una precisión de aproximadamente $\pm 2^\circ$ y mantiene el panel perpendicular a la dirección de irradiación, además indica que el mecanismo se puede utilizar en cualquier región geográfica (Abdollahpour, 2018).

Del antecedente, es importante resaltar el tipo de seguidor que emplea en el análisis y la metodología, para obtener los resultados, el cual se tomó como referencia para mi variable de estudio, análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares.

Arian Bahrami en el año 2018 realiza la investigación titulada “El efecto de la latitud sobre el rendimiento de diferentes rastreadores en Europa y África”. La investigación fue desarrollada en Turquía. El objetivo principal de este estudio fue investigar el impacto de las diferentes latitudes en la eficiencia operativa de distintos sistemas de seguimiento solar. El estudio fue realizado con estrategias de seguimiento del sol, determina los lugares y datos de radiación, modelo matemático para la evaluación de los recursos solares. El autor concluyó que el rendimiento de seguimiento es altamente dependiente de las ubicaciones, por lo que cambia con la latitud. La variación porcentual entre las opciones de seguimiento de un eje implementadas en relación con los seguidores de doble eje varía de 0.42% a 23.4%. Se ha descubierto que la utilización de rastreadores de doble eje mejora significativamente la ganancia de energía en comparación con las ubicaciones de los paneles fijos, con un rango de mejora entre el 17.72% y el 31.23%. Esto subraya la importancia de los seguidores solares en el sector energético. Se prevé que este estudio ayude a los diseñadores a identificar e instalar los seguidores solares adecuados en varias regiones. Visto el antecedente, es importante la información referente al comportamiento de seguidores solares respecto a la ubicación y latitud dato que se utilizó como referencia para el estudio de mi variable instalación de seguidores solares.

Arian Bahrami en el año 2018 realiza la investigación titulada “El patrón de rendimiento y clasificación de los sistemas fotovoltaicos incorporados con energía solar rastreadores en el hemisferio norte” (Bahrami, 2018). La investigación fue desarrollada en Turquía. El objetivo principal de esta investigación fue examinar el impacto de la radiación solar en la eficacia técnica y económica de la energía fotovoltaica. Específicamente, el estudio utilizó paneles integrados que empleaban varios seguidores solares. La investigación se concentró en áreas clasificadas como países de latitud media y alta (entre 20 y 70 grados norte) en el hemisferio norte. El

hemisferio norte abarca los territorios de Europa, África, Asia y América del Norte. Los seguidores solares estudiados incluyen dos ejes y un eje (con varias orientaciones de seguimiento, a saber; Este-Oeste, Norte-Sur, Seguidores inclinados Este-Oeste y Eje Vertical). La investigación concluyó en que el seguidor solar varía de eje completo a uno-eje con varias orientaciones de seguimiento como este-oeste (EW), inclinados seguidores este-oeste (IEW), norte-sur (NS) y de eje vertical (V). Los dos ángulos óptimos del eje vertical y la azimut son menores que sus ángulos correspondientes para las ubicaciones (Bahrami, 2018).

Del antecedente, se resalta el análisis de diferentes seguidores solares ubicados en el hemisferio norte dato que se tomó como modelo para la variable de estudio análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares.

Chekired en el año 2014 realiza la investigación titulada “Seguidores inteligentes del punto de máxima potencia para aplicaciones fotovoltaicas que utilizan chip FPGA” (Chekired, 2014). La investigación fue desarrollada en Argelia. El objetivo principal es exponer las metodologías inteligentes empleadas para monitorear el punto de máxima potencia, así como su implementación y comparación factibles en la plataforma FPGA (matriz de puertas programables en campo) reconfigurable. El estudio presenta diferentes pasos para diseñar e implementar los controladores en la FPGA, y el mejor controlador se prueba en con simulación en tiempo real utilizando FPGA Virtex 5. El autor concluyó que la buena eficiencia de seguimiento y la rápida respuesta de los diferentes IM en condiciones de temperatura del aire y energía solar variable, condiciones de irradiación; sin embargo, el controlador FL – GA supera a los demás.

Del antecedente es importante el uso de microcontroladores para ubicar el punto de máxima potencia, teoría que se utilizó para mi variable de estudio generación de potencia eléctrica.

Hassan Fathabadi en el año 2016 realiza la investigación titulada “Novedoso sistema de seguimiento solar de doble eje sin sensores de alta precisión controlado por la unidad de seguimiento del punto de máxima potencia de fotovoltaica sistemas” (Fathabadi , 2016). La investigación fue desarrollada en Grecia. El objetivo principal fue realizar una unidad de seguimiento de puntos disponible en casi todos los sistemas fotovoltaicos. El controlador para el seguimiento de puntos realiza cálculos continuos de la potencia de salida más alta posible de la energía fotovoltaica y aprovecha las variaciones en los ángulos de altitud y azimut para seguir con precisión la dirección del Sol, donde se puede alcanzar la potencia de salida máxima óptima. Concluyó que el sistema de seguimiento solar propuesto sigue la dirección del sol con el seguimiento error de 0.11 que es menor que los errores de seguimiento de otros sistemas solares basados en sensores y sin sensores rastreadores. Un aumento del 28.8% al 43.6% según las estaciones en la eficiencia energética es la principal ventaja de utilizar el sistema de seguimiento solar propuesto (Fathabadi, 2016).

Del antecedente en mención se empleó el concepto de seguidor con doble eje sin sensor el mismo que se tomó como referencia para la variable análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares.

Hassan Fathabadi en el año 2016 realizó la investigación titulada “Estudio comparativo entre dos novedosos sensores duales y basados en seguidores solares de eje (Fathabadi, 2016). La investigación fue desarrollada en Grecia. El objetivo principal fue diseñar y construir dos nuevos seguidores solares y realizar la comparación de los dos rastreadores. El método que se utilizó fue la experimental verificado que la aplicación del seguidor solar basado en sensor a un panel fotovoltaico fijado a la posición del mediodía del sol aumenta el promedio diario de energía solar capturada alrededor del 27.7%, 32.5%, 37.3%, 42.7% y 35.22% respectivamente. Fathabadi (2016) concluyó que los dos nuevos seguidores solares de doble eje, el primero era una versión sin sensores

con el error de seguimiento de solo 0.43° , y el segundo fue un sensor basado de un eje con el error de seguimiento de 0.14° .

De lo expuesto por el autor se puede resaltar la metodología utilizada para la comparación de dos seguidores solares el mismo que se utilizó como referencia para mi variable análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares.

Advén y Odinaev en el año 2019 en la investigación titulada “Comparación de rendimiento de Dual Axis Solar Rastreador con Sistema Solar Estático en la Región Ural de Rusia” (Masih, 2018) . La investigación fue desarrollada en la Universidad Federal Ural de Rusia. El objetivo principal fue hacer una comparación entre el rendimiento de Dual Axis Solar Tracker (DAST) y estático Sistema Solar (SSS) para evaluar la potencial de energía solar de la región de los Urales ubicada en la Federación de Rusia, el estudio tuvo un enfoque tecnológico y nivel experimental. Los autores concluyeron que la investigación realiza la evaluación del desempeño de dos tipos de sistemas de energía solar, uno de ellos con sistemas solares de eje doble y el otro con Eje fijo, donde el DAST (Sistemas solares de eje doble) es esencialmente capaz de rastrear la posición bidimensional del sol con un ángulo mínimo de incidencia entre los rayos solares y panel fotovoltaico, independientemente del tipo de clima.

De lo indicado por el autor se reconoce la importancia del método de estudio tecnológico y experimental para realizar la investigación de seguidores solares información que se utilizó para mi variable instalación de seguidores solares.

Díaz en el año 2018 desarrollo la tesis titulada “Desarrollo de un Prototipo Mecatrónico de Seguidor Solar Parabólico para la Edificación” (Velilla, 2018). Tesis para optar el grado de doctor en Universidad Politécnica de Madrid. El objetivo principal fue diseñar, modelizar y simular un prototipo mecatrónico de seguidor termo solar híbrido paraboloide y cilindro-parabólico a escala, que además sea capaz de adquirir y almacenar

grandes cantidades de datos operativos y meteorológicos, la investigación se desarrolló empleando el tipo de investigación tecnológica y nivel experimental. El autor concluyó que es posible la construcción de un prototipo mecatrónico de seguidor termo solar y emplear el prototipo como herramienta de adquisición de datos útiles para técnicos e ingenieros, tanto para mejorar las tablas de valores meteorológicos como para ser empleada como material formativo y agilizar la transferencia de conocimiento de la energía termo solar de concentración, desde las actuales plantas industriales al sector Edificación (Velilla, 2018).

De lo señalado por el autor es importante el desarrollo de un prototipo de seguidor solar utilizando metodología experimental en la recolección de datos el cual se utilizó para el desarrollo de mi variable Instalación de seguidores solares.

Mitrofanov en el año 2018 realiza la investigación titulada “Modelo de simulación de planta de energía solar autónoma con seguidor solar de doble eje” (Mitrofanov, 2019). La investigación fue desarrollada en la Universidad Estatal de Orenburg Rusia. El objetivo principal fue caracterizar una planta de energía solar prediciendo la cantidad de energía generada por paneles solares en un lugar específico, el estudio es de enfoque tecnológico y nivel experimental. El autor concluyó que se han demostrado la efectividad de usar sistemas de seguimiento del sol a través de la simulación en el software Matlab de un equipo de doble eje también demostró el aumento en la eficiencia energética de la energía solar en un 33.37% (Mitrofanov, 2019).

De lo expuesto por el autor se resalta la utilización de un modelo de planta de energía solar con seguidor solar información que fue importante para la variable Instalación de seguidores solares.

b. Antecedentes Nacionales

Zuñiga en el año 2013 realiza la investigación titula “Diseño de Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica - Aplicación en el Perú” (Zúñiga, 2013); tuvo

por objetivos presentar los criterios de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica para aplicaciones domésticas y la aplicación de los mismos para las diferentes regiones naturales del Perú. Los materiales y métodos fueron la información sobre los conceptos básicos de los sistemas y los criterios de diseño en la literatura a nivel nacional e internacional. Los resultados obtenidos fueron el diseño y cálculo de costo aproximado de sistemas domiciliarios típicos para la Costa, Sierra y Selva. El autor llegó a la conclusión que los sistemas resultantes del diseño son factibles de implementar de forma costo-efectiva y podrían ser aplicados para solucionar las necesidades de lugares rurales de difícil acceso (Zúñiga, 2013).

De lo indicado por el autor es importante reconocer el método de dimensionamiento e instalación de sistemas fotovoltaicos en diferentes ubicaciones del Perú información que se empleó como fundamento para la variable generación de potencia eléctrica.

También se empleó el libro denominado “Metodología de investigación tecnológica Pensando en sistemas” (Montes, 2014). En el capítulo inicial, el autor se esfuerza por establecer una investigación exploratoria con el objetivo de identificar una situación problemática, observar debidamente su funcionamiento y formular problemas descriptivos, explicativos, experimentales y aplicados. Esto se logra mediante una presentación sistemática del tema, que incluye una caja negra, una lista de atributos, una síntesis de funciones, una caja blanca y una matriz morfológica. El segundo capítulo se refiere a la planificación de la investigación, con el objetivo de formular un plan de investigación integral o un plan de tesis. En el tercer capítulo, se aclara el proceso de investigación con el objetivo de facilitar la investigación mediante la construcción del objeto de investigación, la realización de observaciones, mediciones, análisis, interpretación de los datos recopilados y la prueba de hipótesis. El último capítulo está dedicado al desarrollo de la comunicación de la investigación, que tiene el propósito de generar nuevos conocimientos y difundir los

resultados de la investigación a través de medios escritos y orales, empleando técnicas y estándares. Del antecedente se resalta el aporte de las metodologías para desarrollar la investigación experimental dato de referencia para la variable análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares.

La tesis denominada “ Diseño y simulación de un sistema energético fotovoltaico con control de seguimiento del punto de máxima potencia para proveer energía eléctrica eficiente en la región de Puno” (Chekired, 2014) El objetivo fue llevar a cabo una investigación y emulación de un sistema fotovoltaico integral compuesto por una matriz fotovoltaica (PV), un convertidor de elevador de corriente continua CC a CC, un inversor de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA), el consumo de energía residencial y la red eléctrica. Los componentes del sistema se implementaron de forma independiente mediante circuitos individuales utilizando representaciones de diagramas de bloques en el software MATLAB/SIMULINK. El autor deduce que los paneles solares estáticos situados en la superficie son incapaces de aprovechar plenamente toda la radiación solar a lo largo del día, a diferencia de los que utilizan mecanismos de seguimiento solar (movimiento dentro de uno y dos grados de libertad). En consecuencia, el autor destaca la importancia de implementar el rastreo en dos ejes, ya que resulta más eficiente que otras alternativas. También se demostró el proceso de convertir corriente continua en corriente alterna, que permite suministrar energía eléctrica a la casa e inyectar el exceso de energía a la red.

De lo expuesto por el autor se utilizó la metodología para la simulación de sistemas fotovoltaico y el enfoque adoptado para monitorear el punto de máxima potencia los cuales se utilizaron para la variable generación de potencia eléctrica.

La investigación denominada “Método para la mejora del suministro sostenible de energía eléctrica renovable con celdas fotovoltaicas en las

zonas rurales de la región Arequipa, 2018". El propósito del estudio fue crear una estrategia que mejore el nivel de vida de los habitantes rurales de la región de Arequipa mediante el aumento del suministro sostenible de energía renovable mediante el uso de células fotovoltaicas (Flores, 2018). La aplicación de la metodología propuesta logró mejorar el suministro sostenible de electricidad renovable mediante la utilización de células fotovoltaicas como parte del Plan de Electrificación Regional el cual dio como resultado un aumento sustancial de la electrificación. Esto, a su vez, aborda eficazmente los desafíos de calidad de vida que se experimentan en las zonas rurales.

Del antecedente en mención se utilizó la metodología de generación de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos en lugares aislados información que se empleó para el desarrollo de la variable generación de potencia eléctrica.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Base filosófica de la investigación

La utilización de la energía tiene un impacto significativo en la existencia de la humanidad en el planeta. El empleo del carbón por numerosas instalaciones termoeléctricas en todo el mundo y las importantes cantidades de petróleo empleadas por diversas industrias son todos medios para adquirir la energía necesaria para la comodidad de la que disfruta el Homo sapiens hoy en día, como el transporte rápido y eficiente, el agua caliente, la iluminación artificial, la conservación de los alimentos y otros servicios diversos. Al mismo tiempo, la alteración de la temperatura en el planeta se atribuye predominantemente a la generación y el uso de energía, lo que resulta en el derretimiento de los polos y la elevación del nivel del mar, junto con el aumento de la contaminación en varios centros urbanos. El Foro Económico Mundial propuso en 2017 que la solución óptima para que la comunidad mundial evite el impacto en sectores como la disponibilidad de mano de obra, la productividad económica y la calidad de vida de la población es generar energía que sea sostenible y segura (segib,

2017). Por lo tanto, es de gran importancia preguntarse: ¿Qué le espera al sector energético en los próximos años? sin lugar a dudas, es responsabilidad de la humanidad facilitar el cambio hacia un marco energético regulado por fuentes renovables, de tal manera que se pueda establecer un enfoque legítimo para la mitigación de las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Esto exige la adopción de prácticas como el uso de energías renovables y la formulación de planes eficaces para el tratamiento de problemas como las sequías.

➤ Fundamentación ontológica

La investigación se basa en la ontológica, por la cual el aspecto doctrinal de esta investigación tiene como objetivo evaluar la existencia y la actualidad del incremento de la energía derivada de los paneles solares mediante la utilización de seguidores solares, con la intención de beneficiar a la población. La obligación principal del investigador científico es poseer un conocimiento, comprensión y organización exhaustivos del tema que se investiga en relación con la utilización de seguidores solares para mejorar la capacidad de los paneles solares que están conectados a la red. La investigación llevada a cabo desde un punto de vista ontológico tiene la capacidad de conferir ventajas significativas a las comunidades rurales y urbanas que dependen de los sistemas fotovoltaicos como su principal fuente de energía eléctrica.

➤ Fundamentación metodológica

Según lo postulado por Torres (2010), la fundamentación metodológica se refiere al modelo de investigación que facilita el logro de objetivos específicos dentro del ámbito de una disciplina determinada. Por lo tanto, la metodología puede entenderse como el conjunto de procedimientos que rigen la investigación científica o trazan la trayectoria de una exposición dogmática. El término Metodología proviene de la confluencia de tres lexemas griegos: meta, que denota más allá; odos, que significa camino; y logos, que

representa el estudio. Sin embargo, es crucial subrayar la diferencia entre el método, que denota la nomenclatura asignada a cada estrategia empleada para alcanzar un objetivo específico, y la metodología, que constituye la disciplina que analiza el método. Los fundamentos metodológicos de este estudio se refieren al ámbito de acción que implica la producción de energía a través de sistemas fotovoltaicos que están conectados a la red mediante seguidores solares y su impacto en la población. Las razones para utilizar seguidores solares para aumentar la producción de energía mediante paneles solares están bien fundamentadas. Con este fin, se emplearon métodos y técnicas de investigación experimentales para estudiar tres categorías distintas de seguidores solares.

➤ Fundamentación epistemológica

El término epistemología se deriva de dos palabras griegas episteme que significa conocimiento justificado como verdad y logos que significa estudio. En esencia, la base epistemológica pertenece al ámbito del aprendizaje, y el aspecto didáctico de esta investigación empírica radica en la comprensión del enfoque ideal para generar energía eléctrica a través de sistemas fotovoltaicos y los medios por los que se puede mejorar la eficacia de los paneles solares. El objetivo de este estudio es examinar los seguidores solares con la participación de expertos en el campo de la ingeniería eléctrica, a través de un enfoque multidisciplinario. El objetivo final es promover la implementación de seguidores solares con el fin de aumentar la producción de energía eléctrica, una vez que la población haya recibido educación.

➤ Fundamentación Doctrinaria

La investigación se basa en una exploración exhaustiva de los métodos, técnicas y procedimientos de investigación que se emplean comúnmente en el ámbito de la ciencia o durante el proceso de construcción de esta, es decir se busca en la investigación la

respuesta a la pregunta ¿Cómo debe de ser? el estudio , diseño y construcción de seguidores instalados en sistemas solares conectados a la red eléctrica para el incremento de generación de potencia eléctrica.

La investigación se basa en principios doctrinales, en lo que respecta al campo de la producción de energía eléctrica a través de paneles solares, y abarca todos los aspectos de la instrucción pedagógica que pueden difundirse de diversas formas, incluidos los medios educativos. De acuerdo con el marco doctrinal, el objetivo de esta investigación es mejorar las capacidades de generación de energía de los sistemas fotovoltaicos que están conectados a la red, solucionando así el problema de insuficiente generación de energía que presentan los paneles fotovoltaicos.

➤ Fundamentación Axiológica

La axiología representa una de las ramas de la filosofía que examina la esencia de valores como la belleza, la bondad, etc. y su impacto. El término axiología proviene de la palabra griega axios, que significa valioso o estimable, y logos, que significa ciencia. Esta investigación se basa en principios axiológicos que se centran en cómo se debe llevar a cabo la investigación, valorando la utilización de seguidores solares en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red para aumentar la producción de electricidad. Además, el estudio adopta una investigación responsable para generar nuevos conocimientos sobre el uso de seguidores solares.

➤ Fundamentación Ética

A partir de la década de 1970 y más allá, se generó una mayor conciencia y aprensión con respecto a los asuntos ambientales. El siglo XX se ha caracterizado por un nivel significativo de devastación ecológica, muy parecido al estilo de vida adoptado por la civilización

industrial, que depende en gran medida de fuentes de energía no renovables y contaminantes. Las soluciones meramente técnicas resultarían insuficientes. La insuficiencia de la conservación del medio ambiente se puede atribuir a la ausencia de responsabilidad humana, conocimiento científico y/o aplicación técnica.

Las consideraciones éticas que rodean a la energía solar, como principal fuente de sustento en nuestro planeta, tienen implicaciones de gran alcance tanto para las esferas de influencia personales como sociales. Esto es evidente en las diversas necesidades, intereses y preferencias que son inherentes al deseo de utilizar las fuentes de energía renovables de manera ética y, al mismo tiempo, demostrar respeto por el medio ambiente.

La ética ecológica debe complementarse con modificaciones en los paradigmas económicos, abogando así por el paradigma del desarrollo sostenible. Este modelo económico restringe el desarrollo a satisfacer las necesidades actuales y, al mismo tiempo, mitiga el riesgo de poner en peligro la existencia de las generaciones futuras.

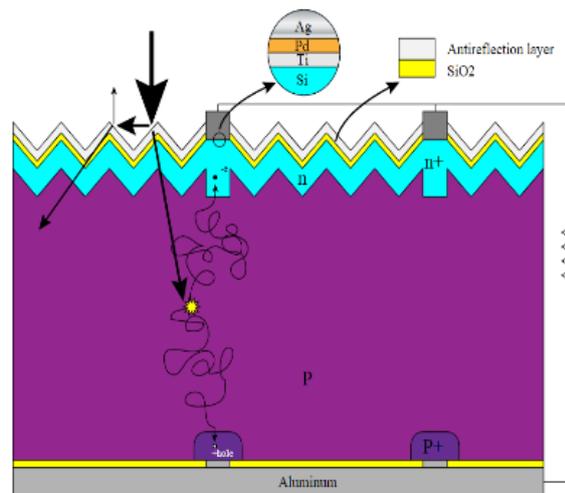
Actualmente somos la cohorte inaugural que contempla concienzudamente nuestra responsabilidad ante la posteridad. La pedagogía debe orientarse hacia la incorporación de principios y recursos renovables, sostenibles y ecológicos, así como a un comportamiento congruente con estas éticas, en nuestras sociedades.

2.2.2 La Energía Solar Fotovoltaica

La energía fotovoltaica es la energía producida por la incidencia de la radiación solar sobre dispositivos semiconductores que se encuentran dopados por otros elementos químicos. La movilidad de los electrones se produce por el choque de los fotones. Los fotones de energía liberan los electrones (huecos) de los átomos excitados. El concepto fundamental que subyace al funcionamiento de una célula fotovoltaica es obligar a los

electrones y huecos a migrar hacia el lado opuesto del material, en lugar de simplemente recombinarse dentro de él. Esta acción da como resultado el desarrollo de una diferencia de potencial y la consiguiente tensión entre las dos secciones del material, similar a lo que ocurre en una batería. (Saucedo, 2016).

Figura 1. Estructura básica de una célula solar



Nota. La figura muestra la estructura interna de una célula solar. Fuente: (Saucedo, 2016).

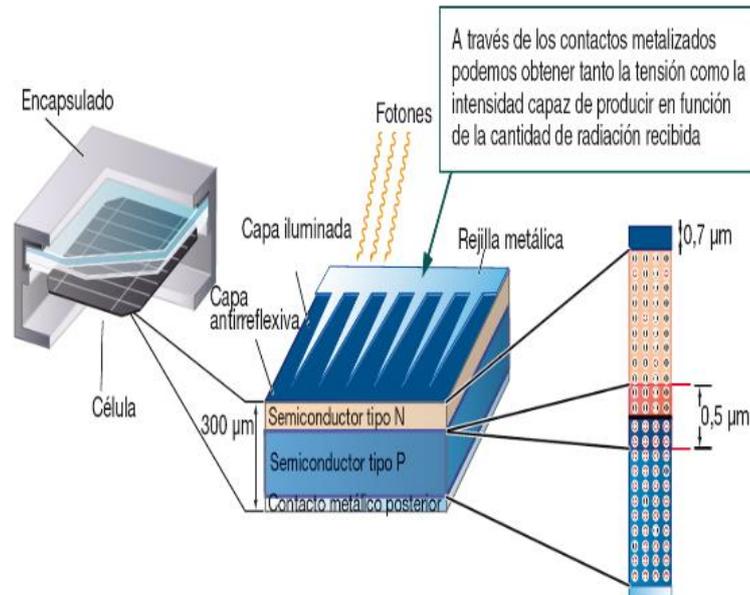
2.2.3 Sistema Fotovoltaico

A. La célula solar

El componente fundamental de todo sistema de energía solar es el generador, comúnmente denominado célula solar. Su característica distintiva es su capacidad para convertir directamente los fotones de la luz solar en energía eléctrica. Una célula solar presenta un comportamiento similar al de un diodo, donde la región N está expuesta a la radiación solar y la región P está situada en la zona oscura. Los terminales para conectar las celdas están situados en partes específicas del diodo. La cara correspondiente a la zona P está completamente metalizada y no requiere

exposición a la luz. Por el contrario, en la zona N, el terminal metálico tiene forma de peine para permitir que la radiación solar acceda al semiconductor. (McGrawHill, 2014, p.12) ver figura 2 .

Figura 2. Celda fotovoltaica

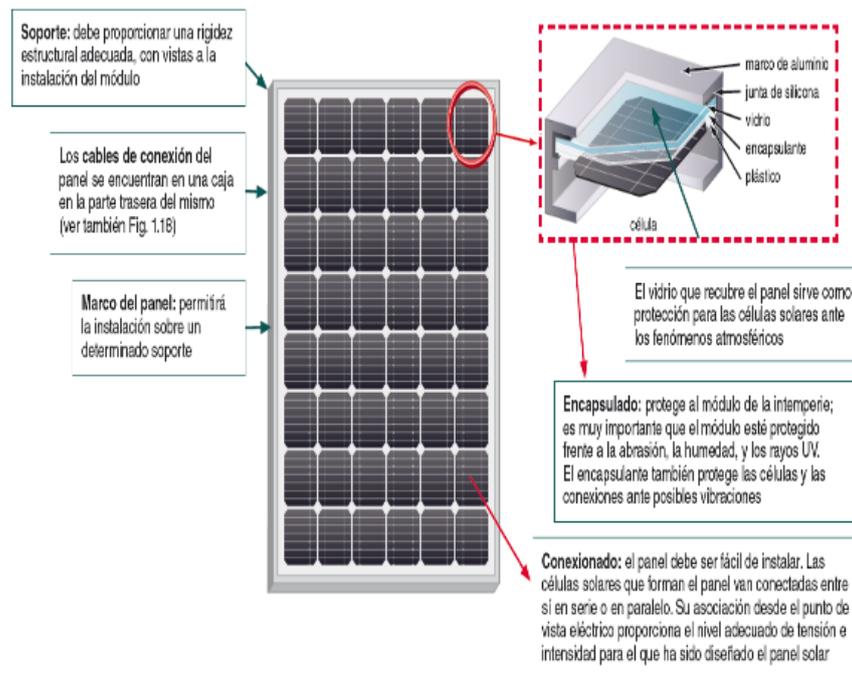


Nota. Se da a conocer la generación de corriente eléctrica. Fuente: (Hill M. G., 2014)

B. El panel

Un módulo fotovoltaico, también conocido como panel solar, se compone de una colección de células interconectadas eléctricamente que se encapsulan y se fijan a una estructura o marco de soporte. El módulo suministra tensión de forma constante a la salida de conexión y se adapta a valores de tensión específicos (6 V, 12 V, 24 V), que determinan la tensión operativa del sistema fotovoltaico. La figura 3 ilustra las características fundamentales de cualquier panel solar, mientras que se incluye un diagrama de construcción típico como referencia. (McGrawHill, 2018, p.14).

Figura 3. Partes del panel fotovoltaico



Nota. Se describe las partes constructivas de un panel fotovoltaico.

Fuente: (Hill M. G., 2018)

C. La radiación solar

A continuación se presenta algunos conceptos básicos referente a la radiación solar:

Irradiación (I): Potencia de la radiación solar (W) por m²: W/m²

Irradiación (G): Energía solar por m² durante un tiempo determinado (día, mes, año).

Las unidades empleadas son:

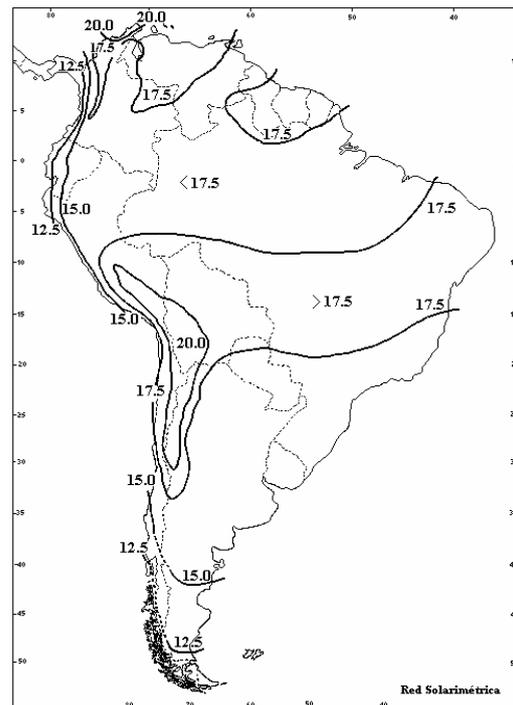
$$\text{Joules/m}^2 = \text{W} \cdot \text{s/m}^2$$

$$\text{KWh/m}^2 = 3.6 \cdot 10^6 \text{ Joules/m}^2$$

Langley = 1caloría/cm² = 41.86·10³ Joules/m²

La siguiente figura 4 muestra la dispersión de la media anual de la radiación solar diurna mundial en un plano nivelado dentro de Sudamérica (MJ/m²-día), según los parámetros de la superficie. (Gallegos, 2016)

Figura 4. Mapa de irradiación solar en América del sur



Nota. Muestra un mapa referencial de la energía solar media anual.
Fuente: (Gallegos, 2016)

Asimismo, es importante tener dos aspectos importantes que es la energía disponible en el lugar y la superficie de captación de la radiación.

En la siguiente figura se observa la radiación promedio anual en el Perú que van desde valores de 4 kWh/m² a 7 kWh/m².

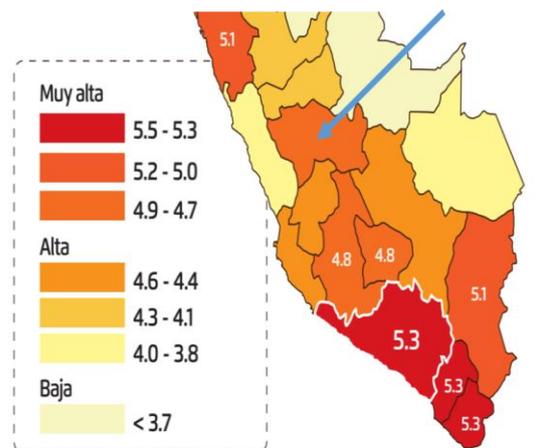
Figura 5. Mapa de irradiación solar del Perú.



Nota. Mapa de radiación solar del Perú. Fuente: (SENAMHI, 2018)

En la figura 6 se da a conocer el mapa solar de la región Junín donde se tiene 5.5 kWh/m² de radiación en promedio.

Figura 6. Mapa de irradiación solar de la región Junín.

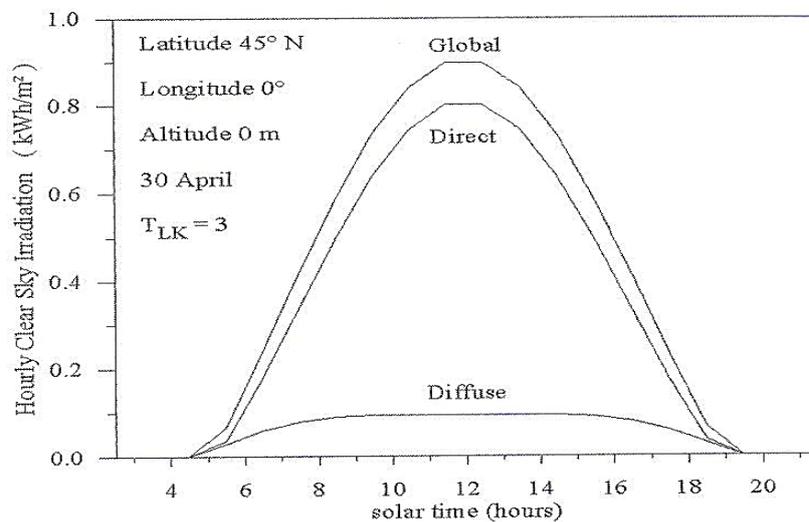


Nota. La gráfica muestra las regiones con gran potencial de radiación solar. Fuente: (CambioClimático.pe, 2020)

E. Componentes Irradiación

Los componentes de la irradiación global abarcan el componente directo (I_d), que representa el segmento de energía que emana directamente de los rayos del sol y llega a un plano. El componente difuso (I_{dd}), por otro lado, denota la porción de energía que llega a un plano, con la excepción del componente directo. Comprende el albedo que surge de la reflexión de las superficies cercanas y de la irradiación global, que puede expresarse como la suma de I_d y I_{dd} , es decir, $G_d = I_d + I_{dd}$. (Raúl, 2017)

Figura 8. Componentes de la Irradiación



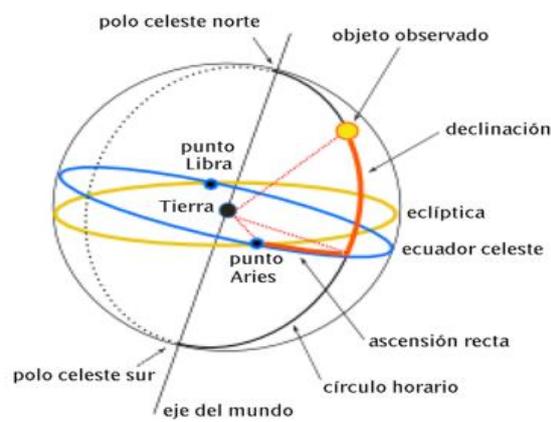
Nota. Se muestra los componentes de la Irradiación global, directa y difusa. Fuente: (Raúl, 2017)

F. Variables Astronómicas

Para calcular los componentes de la radiación, es crucial poseer la Declinación solar (δ); que denota el ángulo establecido por la línea Sol-Tierra y el plano ecuatorial celeste, siendo este último la proyección del ecuador terrestre. La ruta del Sol a través del espacio recibe el nombre de eclíptica, que se inclina formando un ángulo de $23,45^\circ$ con respecto al ecuador. El 21 de marzo y el 23 de septiembre, δ equivale a cero. La latitud ϕ representa el ángulo calculado entre el punto que se examina y

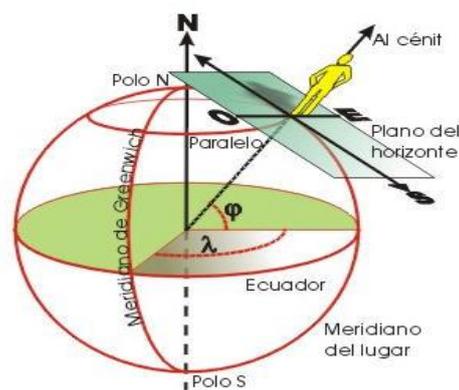
el ecuador, medido sobre el meridiano que atraviesa el lugar. La longitud λ , o distancia, es el ángulo formado entre el plano del meridiano que pasa por el lugar que se examina y el punto de referencia (Greenwich). Altitud solar γ_s ; indica el ángulo establecido desde el plano horizontal hasta el centro del disco solar. Azimut solar α_s ; es el ángulo calculado en el plano horizontal entre el plano que pasa por la vertical y el Sol y la dirección Norte-Sur.(Escobar, 2014).

Figura 9. Inclinación de la tierra y ejes principales



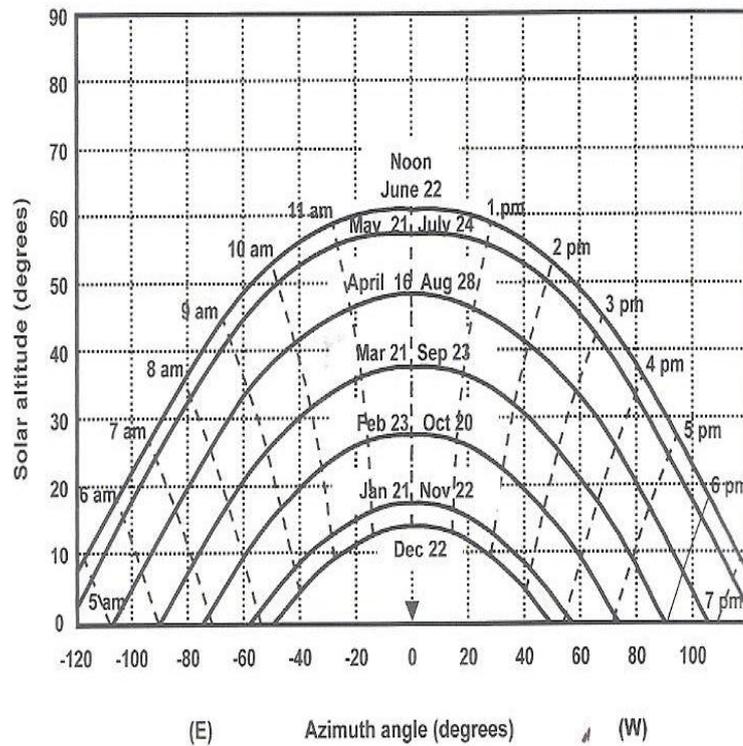
Nota. Se muestra el desplazamiento del sol durante el año. Fuente: (Escobar, 2014)

Figura 10. Variables astronómicas determinadas con los ejes



Nota. Se muestra la ubicación de un objeto con respecto a un plano en el planeta. Fuente: (Escobar, 2014)

Figura 11. Trayecto del sol en el año



Nota. Explicación de la trayectoria del sol según el azimut y la altitud.
Fuente: (Viñas, 2015)

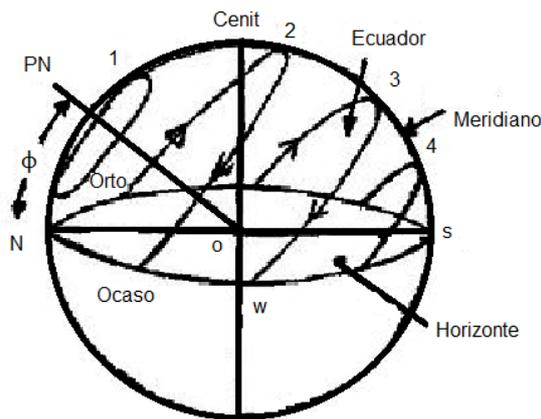
En una ubicación geográfica particular, la trayectoria del sol se puede observar a lo largo del día. El momento en que el sol emerge por primera vez sobre el horizonte se conoce como su orto, mientras que su desaparición por debajo del horizonte se conoce como puesta del sol. Este evento ocurre cuando el sol cruza el meridiano de la ubicación y se designa con un ángulo solar de 0. Si w_s sea el ángulo que marca la salida

del sol al amanecer, la duración del día se mide en es $2w_s$ según el autor Viñas (2015)

La determinación del ángulo w_s en el que sale el sol puede postularse como una función matemática, que depende tanto de la declinación δ como de la latitud Φ .

$$w_s = \cos^{-1}(-tg\Phi \cdot tag\delta) \dots\dots\dots 2.1$$

Figura 12. Emplazamiento del sol



Nota. Descripción de la trayectoria del sol. Fuente: (Viñas, 2015)

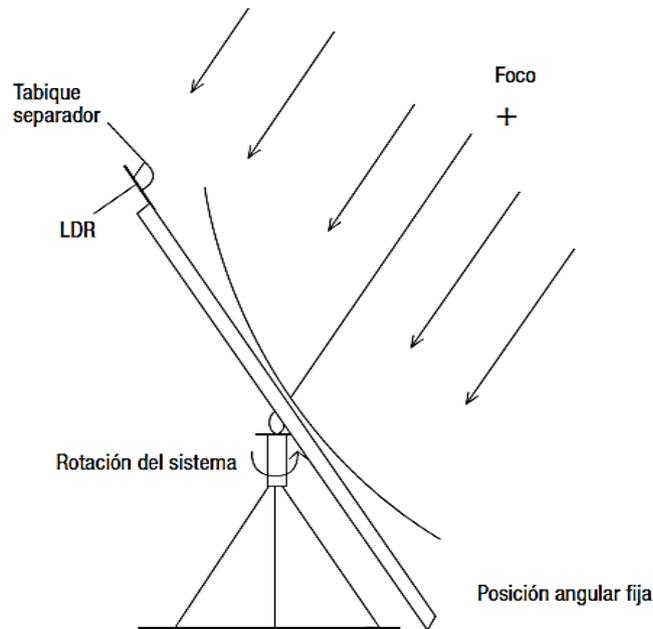
2.2.4 Seguidor solar como dispositivo de optimización

Toranzo (2015) postuló que la utilización de los sistemas fotovoltaicos puede aumentarse mediante la integración de un aparato auxiliar que sirva para mejorar la absorción de la radiación solar, lo que resulta en un aumento en el rendimiento energético proporcionado por la instalación. Este dispositivo, conocido como rastreador solar, ha sido identificado como una opción viable para este propósito.

Un rastreador solar es un aparato que comprende un componente inmóvil y un componente móvil, diseñado fundamentalmente para

mejorar la adquisición de la irradiación solar. Para ello, está equipado con una superficie colectora que debe permanecer perpendicular a los rayos del sol durante todo el día, dentro de los límites de su movilidad (Toranzo, 2015).

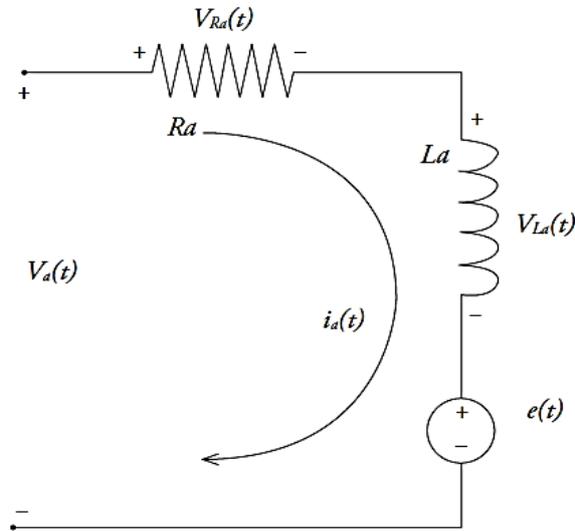
Figura 13. Seguidor solar



Nota. Se muestra el funcionamiento de un seguidor solar de dos posiciones con sensores de LDR. Fuente: (Ochoa, 2012)

Espitia (2013) postuló que el sistema en cuestión puede describirse acertadamente mediante un modelo lineal, que tiene en cuenta un motor de corriente continua (DC) acoplado a una inercia J y sometido a fricción B . Para desarrollar un modelo completo del sistema, primero se examina el componente eléctrico, seguido del aspecto mecánico. En concreto, el motor desempeña un papel crucial en el modelo dinámico, ya que suministra el par necesario para la rotación del reflector. En la figura 14 se muestra una ilustración del diagrama eléctrico del motor.

Figura 14. Esquema eléctrico del motor



Nota. Se muestra el esquema eléctrico de un motor. Fuente: (Espitia, 2013)

Inicialmente, es imperativo que el par del motor sea proporcional a la corriente que fluye a través de la armadura, según la formulación descrita en la ecuación siguiente:

$$T_M = K_t i_a(t) \dots \dots \dots 2.2$$

La fuerza contraelectromotriz se puede expresar en función de la velocidad angular del motor, como se describe en la ecuación subsiguiente:

$$e(t) = K_e w(t) \dots \dots \dots 2.3$$

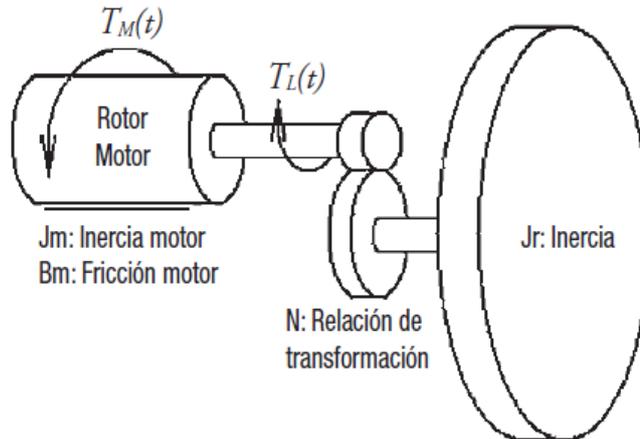
Por otro lado, al realizar el respectivo balance de energía del modelo eléctrico, se tiene:

$$V_a(t) = V_{Ra}(t) + V_{La}(t) + e(t) \dots \dots \dots 2.4$$

$$V_a(t) - e(t) - R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a}{dt} = 0 \dots \dots \dots 2.5$$

La figura 15 representa los pares que funcionan en el motor. La correlación entre el par producido y el par de carga se logra mediante la suma de los pares, como se ilustra a continuación:

Figura 15. Torques presentes en el motor



Nota. Explicación de torques que actúan en un motor. Fuente: (Ogata,2010)

$$\sum T = J\alpha(t) \dots\dots\dots 2.6$$

$$T_M(t) - T_L(t) - B_m w(t) = J\alpha(t) \dots\dots\dots 2.7$$

$$T_M(t) - T_L(t) = B_m w(t) + J\alpha(t) \dots\dots\dots 2.8$$

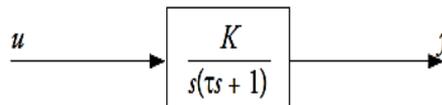
Para examinar la demostración de esta ecuación como función de transferencia, es imperativo emplear la transformada de Laplace. Para los sistemas dinámicos de primer orden, esto produce el resultado siguiente:

$$T_M(t) - T_L(t) - B_m \Omega(s) = Js\Omega(s) \dots\dots\dots 2.9$$

$$\Omega(s) = \frac{1}{J_s+B_m} (T_M(s) - T_L(s)) \dots\dots\dots 2.10$$

El modelo antecedente requiere el conocimiento de los parámetros de inercia y fricción relacionados con el modelo, lo que convierte al sistema en un modelo de primer orden.

Figura 16. Modelo integrador



Nota. Esquema básico de ecuación de primer orden. Fuente: (Ogata,2010)

Los seguidores solares se pueden clasificar según su tipo de movimiento y su algoritmo de seguimiento.

A. Seguidores solares según el movimiento empleado.

- **De un solo eje**

Según el estudio de Escobar (2010), la rotación de la superficie de captación se produce en un eje solitario, que puede ser horizontal, vertical u oblicuo. Esta forma de rastreo implica un nivel mínimo de complejidad y es comparativamente menos costosa que otras formas de rastreadores. Sin embargo, este tipo de rastreador tiene sus limitaciones, ya que no puede rastrear completamente el Sol debido a su capacidad de seguir únicamente el acimut o la inclinación solar, pero no ambos.

- **De dos ejes**

Según la investigación de Armando (2021), el rastreador mencionado anteriormente posee dos grados de libertad y tiene la capacidad de rastrear exhaustivamente el sol con respecto a la inclinación y el azimut. A pesar del potencial de mejora del rendimiento en comparación con las

alternativas de un solo eje, cabe destacar que la variante de dos ejes tiene un precio más elevado.

B. Según el tipo de algoritmo empleado para el seguimiento

- **En base a la luminosidad**

La metodología operativa de este sistema de seguimiento en particular se basa en la señal recibida de uno o varios sensores. Posteriormente, de acuerdo con esta señal, se transmite una directiva a uno o más motores para ajustar su posicionamiento y optimizar la luminosidad. La simplicidad de esta técnica de monitoreo hace que su aplicación sea altamente factible. (Escobar, 2014)

- **En base a la posición astronómica**

Este tipo particular de mecanismo de rastreo es completamente independiente a las condiciones meteorológicas, dado que su algoritmo no depende de la entrada del sensor para identificar el punto más brillante. Más bien, el rastreo se basa únicamente en una secuencia de ecuaciones que pronostican la ubicación del Sol en cualquier momento. Si bien este tipo de seguidores ha demostrado ser asombrosamente preciso, cabe señalar que la ejecución del algoritmo se caracteriza por un grado considerable de complejidad. (Mejía D. A., 2021).

2.3 Conceptual

- Ajuste de inclinación horaria.- Técnica de programación para modificar el ángulo de altitud del panel según la necesidad de capturar mayor radiación solar.
- Ajuste de inclinación estacional.- Técnica de programación para modificar el seguimiento del solar durante el cambio de estación del planeta durante todo el año.
- SPMP .- El método de seguimiento de puntos de máxima potencia, también conocido como seguimiento de puntos de potencia, es una estrategia utilizada en los sistemas fotovoltaicos para optimizar la extracción de energía en todas las situaciones.
- Seguidor GPS.- Es un algoritmo para seguir el sol desde cualquier punto georreferenciado, no depende de sensores, ni la trayectoria del sol.
- Sensor de radiación con control PID.- Dispositivo electrónico con programación para el control proporcional , integrador y derivativo del seguidor solar.
- Seguidos dos ejes este – oeste.- Rastreador solar que varía los valores de ángulo respecto a la altura y respecto al azimut, características adaptadas para el hemisferio norte.

2.4 Definición de términos básicos

- Análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares.- Es el estudio de diferentes dispositivos adicionales a los sistemas fotovoltaicos para mejorar la captura de la radiación solar y aumentar la generación de energía. (Escobar, 2012).
- Algoritmo de seguimiento.- Modelos matemáticos que representan la trayectoria de seguimiento del sol.

- Ángulo.- Ángulo de inclinación y orientación de placas solares apropiado para un sistema fotovoltaico.
- Célula solar.- Una célula solar es un aparato tecnológico dotado de la capacidad de efectuar la transformación de la energía que emana de la radiación solar en energía eléctrica.
- Fotovoltaica.- El proceso implica la conversión de la radiación solar en energía eléctrica por medios directos.
- Generación de potencia eléctrica.- La transferencia de energía eléctrica por un circuito eléctrico se mide por la proporción por unidad de tiempo. En concreto, denota la cantidad de energía eléctrica que un sistema fotovoltaico transmite en un momento determinado. (Hassaine, 2010).
- Instalación de seguidores solares.- La ubicación óptima del rastreador solar es crucial para su funcionamiento eficaz y el desempeño de las tareas designadas. (Toranzo, 2015)
- Radiación solar .- La radiación solar se refiere a un conjunto de radiaciones electromagnéticas propagadas por el Sol.
- Seguidor solar.- Un rastreador solar es un aparato mecánico con la capacidad de alinear los paneles solares de tal manera que permanezcan aproximadamente normales a los rayos del sol, rastreando así el movimiento del sol desde el horizonte oriental al amanecer hasta el horizonte occidental al atardecer.

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

- H1: El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.
- H0: El análisis y la instalación de un seguidor solar no incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

3.1.2 Hipótesis específica

- El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.
- El análisis y la instalación de un seguidor solar mejorará las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.
- El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

3.2. Definición conceptual de variables.

3.1.3 Variable General

Variable Dependiente: Generación de potencia eléctrica.

La transferencia de energía eléctrica por un circuito eléctrico se mide por la proporción por unidad de tiempo. Específicamente, se refiere a la cantidad de energía eléctrica que entrega un sistema fotovoltaico dentro de un período de tiempo designado. Sus dimensiones son: Incidencia de la radiación solar, magnitudes eléctricas y eficiencia del panel solar (Hassaine, 2010)

3.1.4 Variables Especificas

Variable independiente (1x): Análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares.

Es la investigación de varios mecanismos complementarios a los sistemas fotovoltaicos con el fin de mejorar la absorción de la radiación solar y aumentar la generación de energía constituye la esencia de este campo de estudio. Sus dimensiones son: tipo de movimiento, el algoritmo de seguimiento y la evaluación energética. (Escobar, 2014).

Variable Independiente (2x) Instalación de seguidores solares.

Es el montaje del seguidor solar en una ubicación determinada para que funcione adecuadamente para un propósito previsto. Sus dimensiones son: Ubicación, diseño de construcción y componentes de construcción del seguidor solar (Toranzo, 2015).

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 2 Matriz de operacionalización de la Variable independiente (x1)

Matriz de operacionalización de la Variable independiente (x1)							
Variable (x1)	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala	Metodología
Análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares.	Es la investigación de varios mecanismos complementarios a los sistemas fotovoltaicos con el fin de mejorar la absorción de la radiación solar y aumentar la generación de energía constituye la esencia de este campo de estudio. Sus dimensiones son: tipo de movimiento, el algoritmo de seguimiento y la evaluación energética. (Escobar, 2014).	Es la variable que expresa el análisis de las tecnologías de seguidores solares mediante la determinación del tipo de movimiento, elaboración del algoritmo de seguimiento y evaluación de la energía captada.	Tipo de movimiento.	Grados de libertad	Número de grados sexagesimales	Intervalo	Nivel Experimental Diseño de un grupo con pre prueba y post prueba
			Algoritmo de seguimiento.	Ecuaciones	Número de ecuaciones	Razón	
			Evaluación energética.	La Irradiancia captada	Irradiância= P/A (w/m2)	Razón	

Tabla 3 Matriz de operacionalización de la Variable independiente (x2)

Matriz de operacionalización de la Variable independiente (x2)							
Variable (x2)	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala	Metodología
Instalación de seguidores solares.	Es el montaje del seguidor solar en una ubicación determinada para que funcione adecuadamente para un propósito previsto. Sus dimensiones son: Ubicación, diseño de construcción y componentes de construcción del seguidor solar (Toranzo, 2015).	Es la variable que expresa la instalación del seguidor solar mediante la ubicación del lugar, el diseño y construcción del seguidor solar.	Ubicación	Valores de Coordenadas geográficas	Número grados de latitud y longitud	Razón	Nivel Experimental Diseño de un grupo con pre prueba y post prueba
			Diseño y detalle de construcción.	Cantidad de planos	Reporte de planos	Nominal	
			Componentes de construcción del seguidor solar.	Número de atributos de los componentes	Reporte componentes	Nominal	

Tabla 4 Matriz de operacionalización de la Variable Dependiente

Matriz de operacionalización de la Variable Dependiente							
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala	Metodología
Generación de potencia eléctrica.	La transferencia de energía eléctrica por un circuito eléctrico se mide por la proporción por unidad de tiempo. Específicamente, se refiere a la cantidad de energía eléctrica que entrega un sistema fotovoltaico dentro de un período de tiempo designado. Sus dimensiones son: Incidencia de la radiación solar, magnitudes eléctricas y eficiencia del panel solar (Hassaine, 2010)	Es la variable que expresa la variación de la incidencia solar medido con un pirómetro, la variación de las magnitudes eléctricas medido con un analizador de redes y variación de la eficiencia del panel solar medido mediante fórmulas establecidas.	Incidencia de la radiación solar.	Energía por metro cuadrado	$E=P*t/area$ (kWh/m ²)	Razón	Nivel Experimental Diseño de un grupo con pre prueba y post prueba
			Magnitudes Eléctricas.	Tensión, corriente, energía	Potencia=VI (Watts)	Razón	
			Eficiencia del panel solar.	Energía medida entre Energía estimada	$N=(EM/E.E)$	Razón	

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1 Tipo y diseño de investigación.

- a. Tipo de investigación es: Tecnológico o aplicativo

La forma de investigación empleada en cuestión es de naturaleza tecnológica, debido a su objetivo de utilizar el conocimiento científico para abordar eficazmente una variedad de problemas sociales en aras del bien común. (Montes, 2014).

La naturaleza de la investigación tecnológica se caracteriza por su capacidad de respuesta a los desafíos técnicos. Aprovecha eficazmente el conocimiento teórico generado por la investigación básica para desarrollar soluciones innovadoras. Además, organiza sistemáticamente los principios técnicos que cuando se aplican, facilitan los cambios transformadores en el mundo físico. (Sánchez & Reyes, 2015)

La investigación actual empleó la metodología de investigación aplicada, como explicaron los autores, para proporcionar una solución al problema de la baja eficiencia de las instalaciones solares fotovoltaicas estacionarias. Esto se logra mediante un análisis exhaustivo y la implementación de seguidores solares.

- b. Diseño de investigación: Experimental.

El objetivo fundamental del diseño experimental es modificar las variables que presentan una conexión causal, con el objetivo final de transformar el sujeto de la investigación. El objetivo principal es generar conocimientos novedosos que puedan mejorar el objeto bajo investigación. (Montes, 2014)

En la investigación de diseño experimental, el investigador ejerce control sobre una o más variables de estudio para regular su aumento o disminución y su consiguiente impacto en las variables observadas. En concreto, un experimento implica alterar el valor de una variable independiente y, al mismo tiempo, observar su efecto en una variable dependiente. La ejecución de un experimento de este tipo se produce en condiciones rigurosamente

controladas, con el propósito de dilucidar los mecanismos o razones subyacentes de una situación o evento determinado. (Serrano, 2010)

Según las declaraciones de los autores, el estudio utiliza un diseño experimental dado que la variable independiente, es decir, el seguidor solar, se manipula para construir seguidores solares distintos que nos permitirán lograr una diversidad de datos en la variable dependiente, es decir, la producción de energía eléctrica.

c. Corte la investigación: Cuasiexperimentales

Los diseños cuasiexperimentales se emplean en situaciones en las que se establece la presencia de variables peculiares, se reconoce su identidad, pero no se puede regular su impacto en la variable dependiente. En estos diseños, el investigador no puede asignar la tarea de recopilación de datos, ya que deben documentar las fluctuaciones que presenta la variable dependiente e identificar las variables peculiares que pueden estar influyendo en dicha variación. Al interpretar los resultados, debe tenerse en cuenta la influencia de las variables externas y, por lo tanto, los datos deben registrarse meticulosamente. (Montes, 2014).

En los diseños cuasiexperimentales, el investigador no puede asignar aleatoriamente sujetos a los grupos experimentales y de control. Sin embargo, el investigador puede controlar diversas cuestiones, como el momento en que se realizan las observaciones, el momento en que se aplica la variable independiente o el tratamiento y la selección del grupo que recibirá el tratamiento. Si bien estos diseños no garantizan el mismo nivel de validez interna y externa que los diseños experimentales, sí ofrecen un grado de validez satisfactorio. El grado de control sobre las amenazas a la validez interna y externa difiere entre los diseños experimentales y cuasiexperimentales. Los diseños experimentales controlan mejor las amenazas que afectan a la validez interna, es decir, las relaciones causa-efecto, mientras que los diseños cuasiexperimentales controlan la validez externa, es decir, la generalización. Es importante señalar que el

investigador debe reconocer las limitaciones de los resultados obtenidos al interpretar y sacar conclusiones. (Eisman, 2012)

El estudio emplea un diseño cuasiexperimental en el que se utiliza un grupo de control (GC) para la etapa posterior a la prueba. El experimento requiere dos grupos, a saber, el grupo experimental y el grupo de control, sin asignación ni emparejamiento aleatorio de los miembros del grupo. El investigador somete al grupo experimental (GE) a tratamiento y, posteriormente, ambos grupos se evalúan en función de la variable dependiente.

Su diseño es:

GE	X	O1
GC	—	O2

Donde:

X: Análisis aplicado al grupo experimental (Análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares).

O1: Observación de la variable dependiente en el GE (Generación de potencia eléctrica).

O2: Observación de la variable dependiente en el GC. (Generación de potencia eléctrica de instalaciones fotovoltaicas existentes).

De lo explicado por los autores, la presente investigación utilizó un corte cuasi experimental porque se conoció las variables externas como temperatura, viento, y otros que afectan a la generación de energía pero dichas variables no fueron controladas.

d. Nivel de la Investigación: Nivel Explicativo

El objetivo del nivel explicativo es investigar las relaciones causales que existen entre las variables del sujeto de investigación. Las variables en cuestión no están sujetas a manipulación por parte del investigador del

estudio actual. Si bien algunas investigaciones pueden determinar la correlación entre las variables sin descubrir la causalidad, es importante señalar que existe una relación sistémica entre las variables que constituyen un objeto o sistema. (Mitrofanov, 2019)

El nivel explicativo se esfuerza por abordar las razones subyacentes detrás de los acontecimientos. Profundiza en la razón de por qué los eventos se desarrollan de una manera particular y por qué ciertos fenómenos exhiben atributos específicos. Este nivel de investigación se caracteriza por su profundidad y está asociado a las investigaciones que examinan las hipótesis causales. El nivel explicativo busca identificar la raíz de un fenómeno situándolo dentro de un marco teórico, lo que facilita su incorporación a una generalización particular. (Causas, 2014).

El presente estudio utilizó el nivel explicativo, como indican los autores, para explicar la manera en que el empleo de seguidores solares en una instalación existente mejora la eficiencia de la generación de energía.

e. Enfoque de la Investigación: Cuantitativo

El empleo del enfoque cuantitativo implica la recopilación y el análisis sistemáticos de datos para abordar una o varias consultas de investigación y evaluar conjeturas preexistentes. Este método se basa en la utilización de métodos numéricos de medición, recuento y, con frecuencia, estadísticos para establecer con precisión los patrones de conducta de una población determinada. Se basa en un marco deductivo y lógico, y se caracteriza por su orientación reduccionista, ya que se esfuerza por extrapolar los resultados de sus investigaciones a través de muestras representativas. (Vega-Malagón, 2014).

La utilización de un enfoque cuantitativo en la investigación se caracteriza por una metodología secuencial y probatoria. Es imperativo tener en cuenta que cada etapa se lleva a cabo en un orden estricto, lo que excluye la posibilidad de saltar o evitar escalones. No obstante, es posible redefinir ciertas fases. Este enfoque comienza con una idea inicial que se reduce gradualmente y culmina con la derivación de los objetivos y preguntas de la

investigación. Posteriormente, se revisa exhaustivamente la literatura y se construye un marco teórico. Posteriormente, se formulan hipótesis a partir de las preguntas de investigación y se determinan las variables. Luego se traza un plan para probar las hipótesis y las variables se miden dentro de un contexto específico. Las mediciones resultantes se someten a un análisis estadístico y se extraen una serie de conclusiones con respecto a las hipótesis objeto de escrutinio. (Sampieri, 2014)

La investigación empleó una metodología cuantitativa, tal como la explicaron los autores, debido a la implementación de evaluaciones numéricas de la energía eléctrica y la utilización de métodos estadísticos para llevar a cabo el análisis de los hallazgos.

4.2 Método de investigación.

El enfoque sistémico se esfuerza por abordar el tema en cuestión en su intrincada totalidad a través de un proceso cognitivo basado en la consideración holística de la totalidad, en el examen de las interconexiones entre los elementos constitutivos y en la consiguiente aparición de nuevas propiedades. La investigación sistémica tiene como objetivo el examen de conjuntos de observaciones interconectados, más que la de construcción analítica y causal de los elementos y procesos individuales. La entidad resultante, que surge de este enfoque, es diferente de sus partes constitutivas. Mediante una metodología holística y no aditiva, los registros se ajustan al ritmo y al patrón de los fenómenos observados, al tiempo que preservan su estructura inherente. (Montes, 2014)

El presente estudio empleó un enfoque sistémico, porque se realizó el análisis de las partes de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la potencia en la generación de energía eléctrica.

4.3 Población y muestra.

La población al igual que la muestra son los datos finitos extraídos de la unidad experimental, es decir la unidad de análisis es la potencia eléctrica

generada del sistema fotovoltaico obtenido durante la prueba de los prototipos de seguidores solares realizado por el autor.

Para la realización de la investigación no es necesario utilizar estadígrafos para seleccionar la muestra porque los datos a estudiar son finitos, contables de igual característica, es decir la población es igual a la muestra.

Referente al lugar de estudio la población son los sistemas fotovoltaicos conectado a red ubicado en siete universidades públicas peruanas y la muestra es el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

4.4 Lugar de estudio y periodo desarrollado

La ubicación del estudio y la realización del experimento fue en las instalaciones solares de la Universidad del Centro ubicado en la provincia de Huancayo de la Región Junín.

El proyecto se inició en setiembre del año 2021, se realizó la instalación en el mes de diciembre del 2021. El registro de datos de radiación solar para el desarrollo de la tesis se realizó desde el mes de enero del 2022 hasta julio del 2022.

4.5 Técnicas e instrumentos para la recolección de la información.

Se utilizó la técnica empírica porque se realizó la interacción directa con el prototipo de rastreador solar desarrollado por el autor. Este enfoque concilió eficazmente la teoría con la práctica en la búsqueda de la verdad. La observación, como medio de recopilación de datos, facilitó la acumulación y sistematización de la información relativa al objeto de investigación en relación con el problema de investigación. A través de la observación, se obtuvieron datos que se parecían mucho a la funcionalidad actual del objeto de investigación. El instrumento, utilizado por el investigador para registrar los datos relacionados con las variables de interés, se presentó en formato tabular utilizando el software Excel. La investigación se llevó a cabo utilizando un piranómetro, un radiómetro, un analizador de redes y multímetros digitales.

4.6 Análisis y procesamiento de datos.

Se emplearon estadísticas descriptivas con el propósito de procesar y analizar los datos de radiación y potencia de generación. Para mostrar los resultados se utilizó cuadros de barras, diagramas de cajas, gráficas P-P, gráficas Q-Q y otros para mejor comprensión. Para llevar a cabo el análisis de la dispersión de los datos y la validación de hipótesis, se empleó las estadísticas inferenciales.

V. RESULTADOS

5.1 Resultados descriptivos.

5.1.1 Ubicación y descripción del proyecto existente

El sistema solar que está vinculado a la red está situado en las coordenadas geográficas de (Latitud: -12.03534; Longitud: -75.23955).

Figura 17. Ubicación del lugar de estudio



El sistema existente tiene una potencia de 3250 Watts Pico el mismo que está compuesto por 10 paneles solares policristalinos de la marca Canadian Solar, está instalado con un inversor de corriente de la marca Sunny Tripower 5000TL-20, un transformador trifásico, una unidad de gestión de energía de la marca Sunny Home Manager 2.0 y una unidad de monitorización WEB 'log light + 20.

El proyecto existente forma parte de las “Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación” (*NAMA*) que trata de servicio de suministro, instalación, montaje puesto en marcha y monitoreo por un año del rendimiento de los

equipos y las condiciones solares de un (01) sistema solar instalado en el Ministerio de Energía y siete (07) universidades públicas peruanas.

El proyecto está siendo administrado actualmente por la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, más precisamente por el grupo de investigación de Energías Renovables.

Figura 18. Sistema solar con conexión a redes eléctricas



Fuente: Elaboración propia

La energía generada se registra en la plataforma <https://www.sunnyportal.com/>

Figura 19. Portal sunny portal



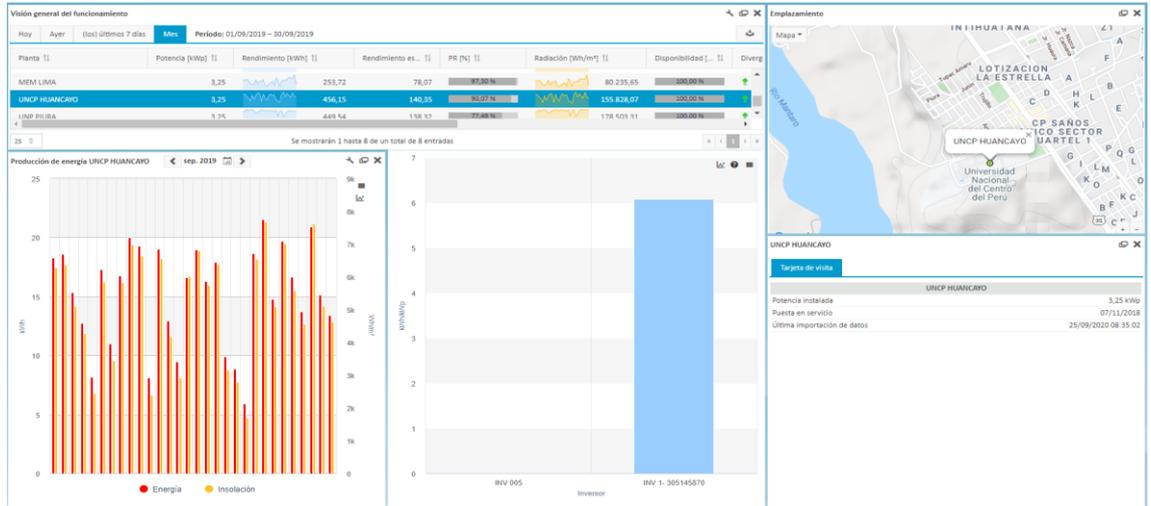
Se muestra en la plataforma la energía generada desde la puesta en instalación.

Figura 20. Energía generada del sistema conectado a la red



Asimismo, se los datos meteorológicos se almacenan en la plataforma <https://www1.meteocontrol.de/vcom>

Figura 21. Plataforma meteo control



5.1.2 Información meteorológica

Los datos relacionados con la irradiación se presentan en la Tabla 5, donde se documenta que los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero son testigos de una afluencia considerable de valores de radiación elevados en promedio 6.66 kWh/m² día y se ha observado que los meses de mayo y junio muestran niveles bajos de radiación solar, con un valor promedio registrado de 6.2 kWh/m² día.

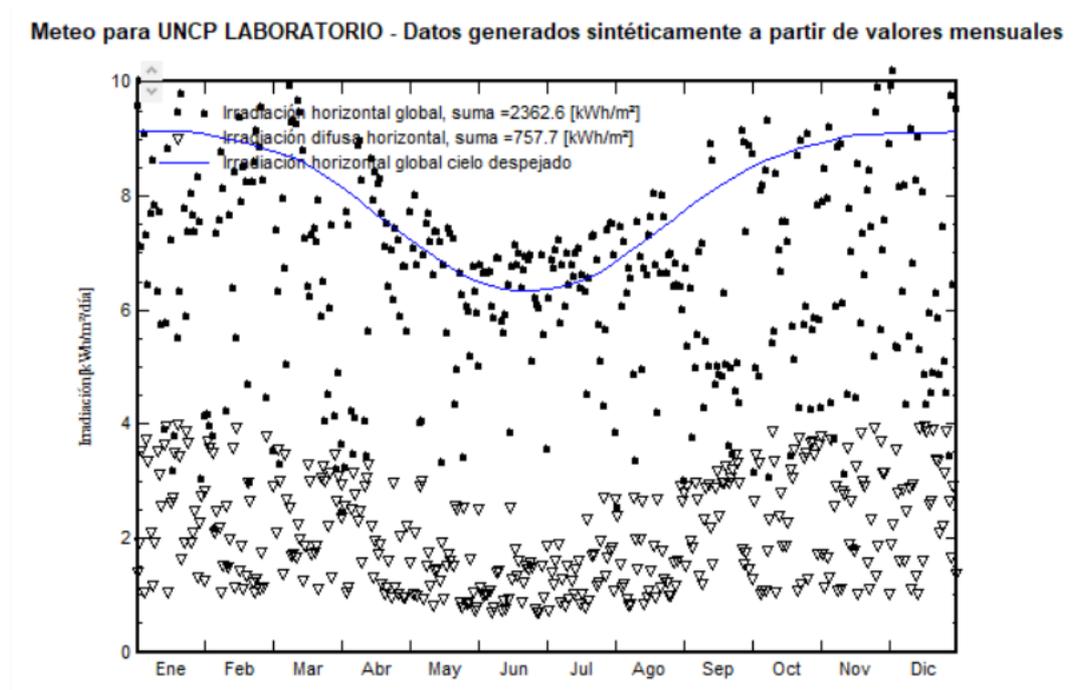
Tabla 5 Datos de irradiación

VARIABLES METEOROLÓGICAS	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ANUAL	UNIDADES
Radiación														
Horizontal Global	7.09	6.51	6.6	6.53	6.28	6.29	6.41	6.33	5.77	6.46	6.71	6.66	6.47	kWh/m ² /day
Radiación difusa	2.58	2.17	2.41	1.95	1.51	1.24	1.42	1.61	2.49	2.52	2.44	2.55	2.08	kWh/m ² /day
Radiación extraterrestre	11.13	10.96	10.42	9.42	8.4	7.83	8.02	8.86	9.92	10.68	11.03	11.12	9.81	kWh/m ² /day
Índice de claridad	0.637	0.594	0.633	0.694	0.748	0.804	0.8	0.714	0.582	0.605	0.608	0.599	0.66	rati
Temperatura ambiente	12.9	12.8	12.8	12.3	11.3	10.2	9.9	11.1	12.2	13.2	13.8	13.1	12.1	°C
Velocidad de viento	1.6	1.8	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.9	2	2	1.9	1.7	m/S

Fuente: (Meteonorm 8.0)

Los datos de radiación también se pueden expresar como la figura 22 donde se observa de la irradiación horizontal global (símbolo cuadrado color negro), la irradiación difusa horizontal (símbolo triángulo) e irradiación horizontal global con cielo despejado (línea color azul). Se constata que la irradiación en la ubicación donde se realizó la experimentación va desde los valores de 6 kWh/m² día hasta 7 kWh/m² día.

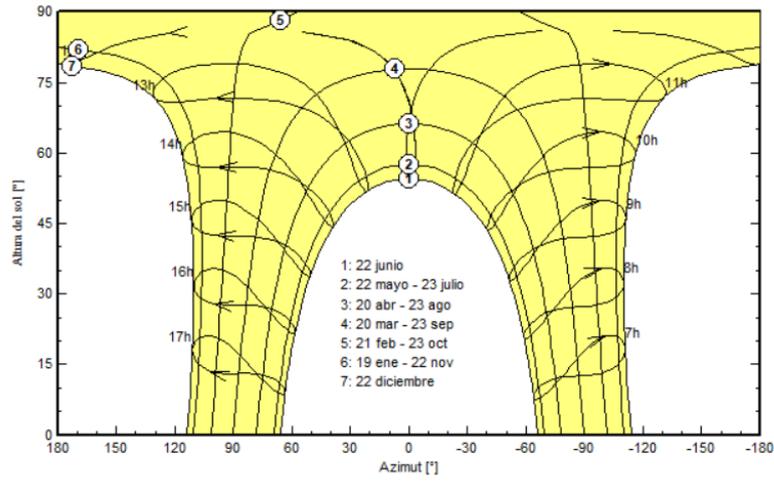
Figura 22. Datos de radiación según METEONORM



Fuente: (Meteonorm 8.0)

Es de suma importancia poseer conocimientos sobre la trayectoria del Sol en el transcurso de un año. La figura 23 presenta la trayectoria del Sol en coordenadas polares, donde el eje "x" indica los valores azimutales y el eje "y" representa el ángulo de elevación del Sol.

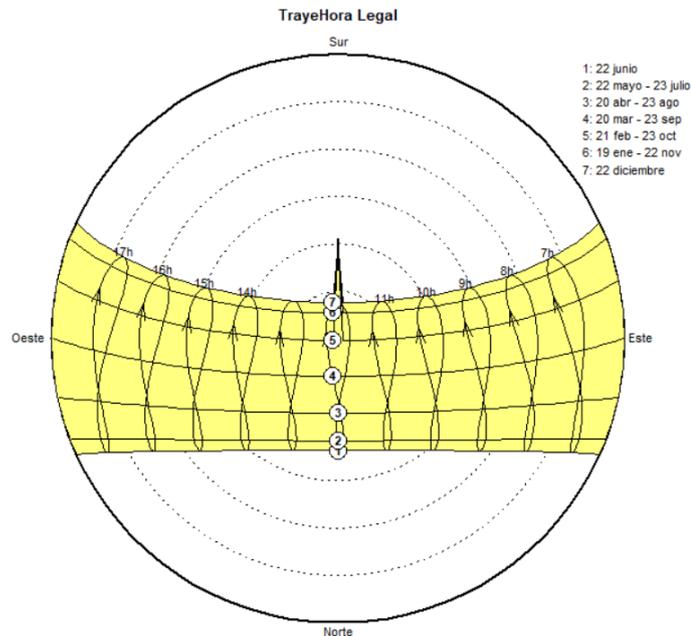
Figura 23. Recorrido del sol durante el año.



Fuente: PVsyst 7.2

La figura 24 muestra la trayectoria del Sol en el contexto de coordenadas rectangulares.

Figura 24. Recorrido del sol em coordenadas rectangulares.



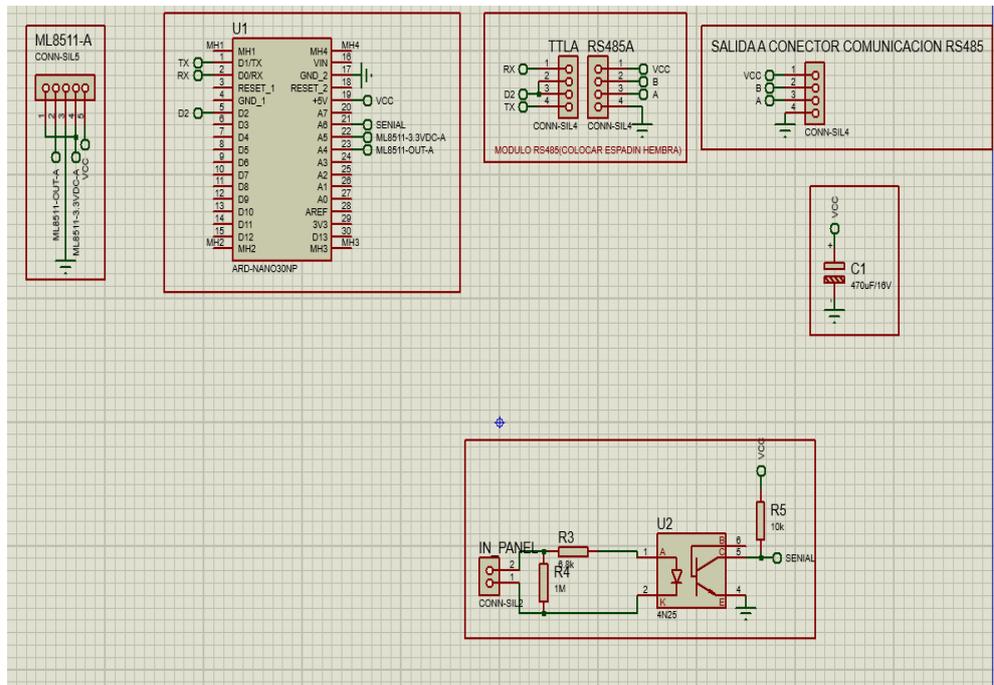
Fuente: PVsyst 7.2

5.1.3 Diseño de seguidores solares

5.1.3.1 Diseño electrónico

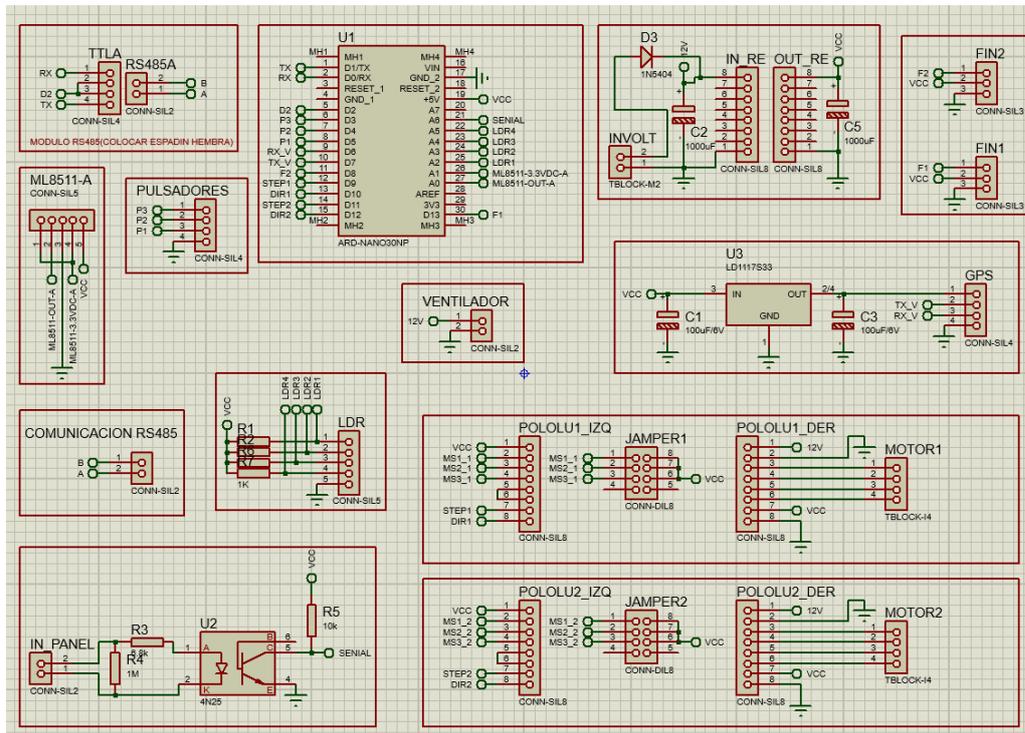
La ejecución del diseño y la simulación del circuito electrónico se realizaron mediante la utilización del software Proteus 8. Como se indica en la figura 25, el diagrama del circuito electrónico del panel estático empleó el circuito integrado AR-NANO30NP, la salida de comunicaciones RS485 y adaptadores para facilitar la conexión con el panel solar.

Figura 25. Esquema del circuito del panel estático



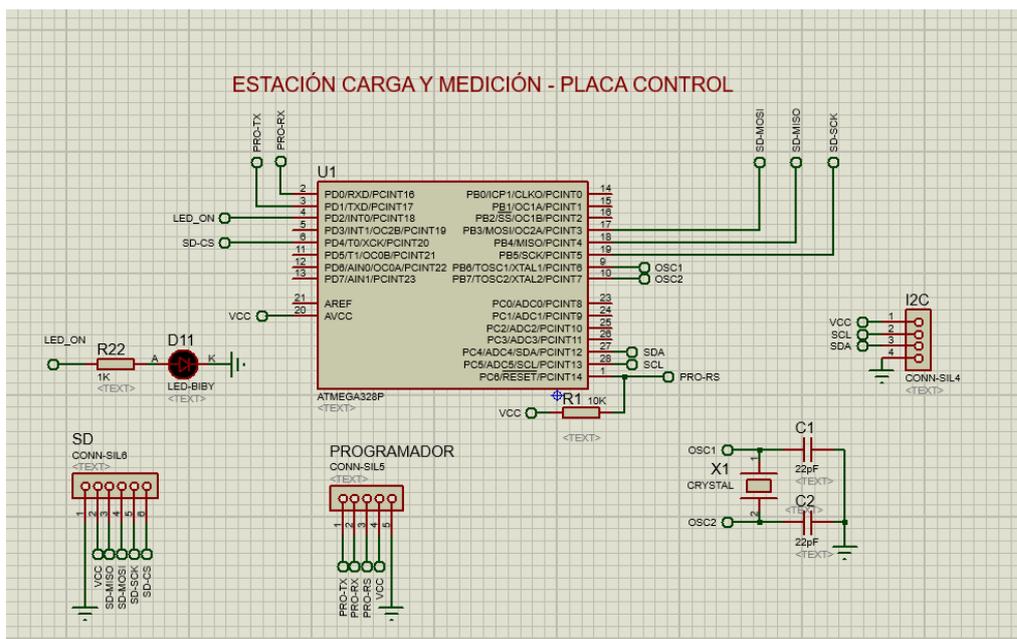
El diagrama que se presenta a continuación muestra los circuitos de los rastreadores rotativos, incluidos los de un solo eje, dos ejes y del tipo astronómico.

Figura 26. Circuitos de los seguidores rotatorios



Para la toma de datos se diseñó una central DAQ, a continuación, se presenta el circuito.

Figura 27. Estación de carga y medición



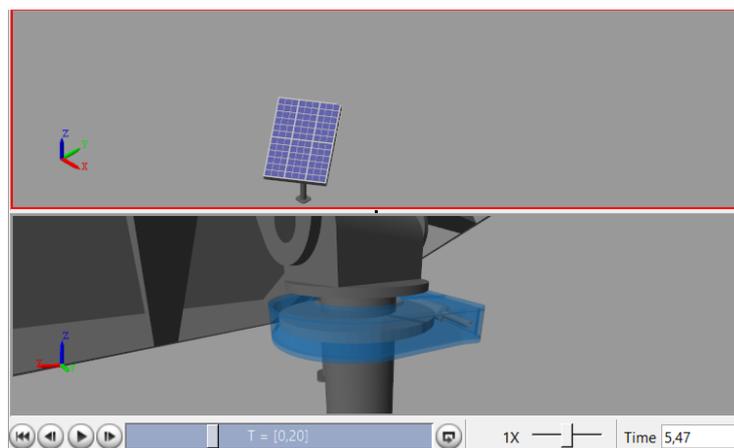
En el anexo 02 se muestra la programación del control de los seguidores.

Diseño mecánico

Para el diseño de cada seguidor solar propuesto se emplearon simuladores , a continuación, se muestra algunas vistas del diseño.

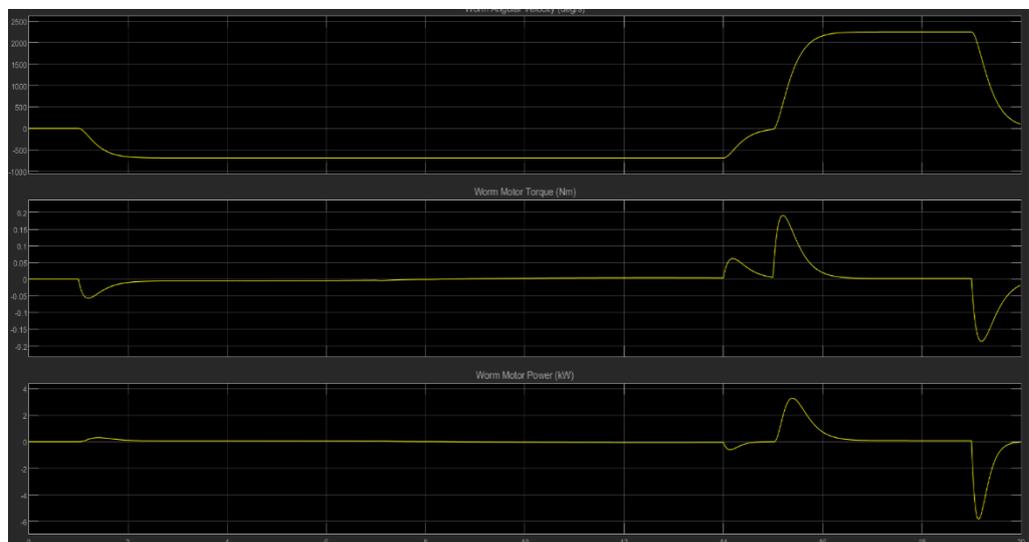
Con software Matlab se diseñó y se simuló el giro del motor de paso en diferentes tiempos de rotación.

Figura 28. Simulación del desplazamiento mecánico



El control de par mecánico se muestra en la figura siguiente.

Figura 29. Simulación de torque de los ejes

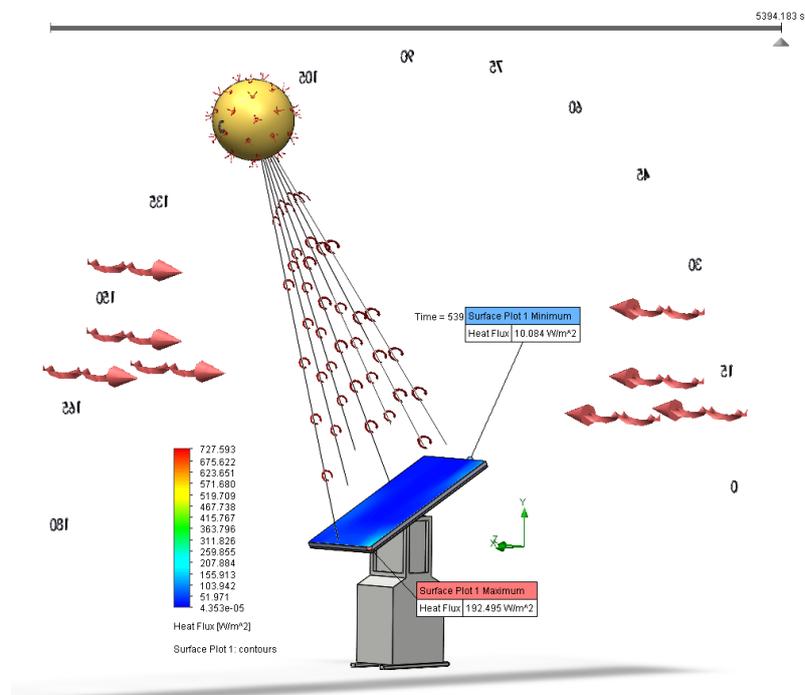


5.1.3.2 Diseño mecánico y simulación

Para el diseño mecánico se utilizó el software SolidWorks donde se analizó el comportamiento del seguidor solar ante altas temperaturas es decir cuando se expone a radiaciones solares durante el día, para lo cual se realizó una serie de simulaciones con los modelos 3D de cada panel y seguidor solar. Para establecer una correlación entre los datos proporcionados y los resultados físicos reales del experimento, y para proporcionar un punto de referencia fundamental para las operaciones, se requiere un análisis comparativo. Para ello se realizaron análisis de temperatura, W/m^2 y $W/(m.k)$. En la simulación se usó el Kelvin como unidad de temperatura.

Todos los experimentos se realizaron en un tiempo simulado de 90 minutos, tomando los valores de inicio y fin y generando una gráfica del valor en el tiempo. Para más detalles de la simulación se puede ver el anexo 05.

Figura 30. Simulación del panel solar de 1 eje de movimiento



Las simulaciones se realizaron tomando en cuenta la radiación solar y los vectores de temperatura ambiente, representados de color rojo.

Para el panel del panel estático los datos obtenidos al iniciar son:

Tabla 6 Datos al iniciar simulación - Panel estático

Temperatura del sólido (°K)	24.90
W/(m.k).	1.0017
W/m ²	1.059

Para el panel del panel estático los datos obtenidos tras 90 min son:

Tabla 7 Datos después de la simulación - Panel estático

	Máx	Mín
Temperatura del sólido (°K)	49.46	
W/(m.k)	1.0986	1.0722
W/m ²	1.042	

En el panel estático, se tiene la peculiaridad de que la superficie recibe de forma uniforme la energía. La temperatura del cuerpo solido varia en 24.56°K tras 90 minutos de exposición. Lo más peculiar es que tras 90 minutos de exposición el panel recibe 0.017 W/m² menos

Para el panel de un eje de movimiento los datos obtenidos al iniciar son:

Tabla 8 Panel de un eje de movimiento datos al iniciar la simulación

	Máx	Mín
Temperatura del sólido (°K)	31.47	20.25
W/(m.k).	1.0717	10.336
W/m ²	19.554	0.069

Para el panel de un eje se tiene los siguientes datos obtenidos tras 90 min son:

Tabla 9 Panel de un eje de movimiento datos al finalizar la simulación

	Máx	Mín
Temperatura del sólido (°K)	48.90	37.55
W/(m.k).	1.1303	1.0352
W/m ²	60.161	12.472

Los valores de inicio y fin del panel de 1 eje de movimiento dan una diferencia de temperatura en la superficie máxima de 17.43 °K. Mientras que en la incidencia de energía por metro cuadrado la variación máxima es de 40.607 W/m², aumentado esta tras 90 min de exposición.

También se tiene una variación tras los 90 min de 11.35 °K en la superficie y una variación de 47.689 W/ m². Entre los rangos máximos y mínimos en el mismo tiempo.

Para el panel de dos ejes de movimiento los datos obtenidos al iniciar son:

Tabla 10 Panel de dos ejes de movimiento datos al iniciar la simulación

	Máx	Mín
Temperatura del sólido (°K)	32.34	25.08
W/(m.k).	1.0376	1.0346
W/m ²	27.294	0.507

Para el panel de dos ejes de movimiento los datos obtenidos tras 90 min son:

Tabla 11 Panel de dos ejes de movimiento datos al finalizar la simulación

	Máx	Mín
Temperatura del sólido (°K)	52.82	35.23
W/(m.k).	1.0931	1.0641
W/m ²	192.495	10.084

Con esto se puede ver que se tiene una variación de 17.59 °K en la superficie del sólido, así mismo la cantidad de energía que incide en

la superficie del sólido al finalizar la prueba varia en 182.411 W/m^2 . Por lo que la distribución de energía no es uniforme en la superficie. En los valores de inicio y fin se tiene una diferencia de temperatura en a la superficie máxima de $27.74 \text{ }^\circ\text{K}$. Mientras que en la incidencia de energía por metro cuadrado la variación máxima es de 165.201 W/m^2 .

5.1.4 Construcción del proyecto de investigación.

5.1.4.1 Descripción de cada seguidor solar:

A. Seguidor solar de un eje:

-Descripción estructura mecánica y eléctrica.

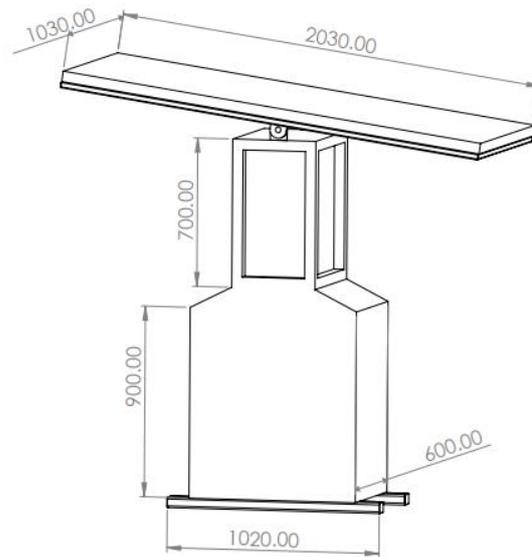
El seguidor de un eje tiene un mecanismo capaz de realizar un movimiento de Este a Oeste, girando el panel en un eje orientado hacia la trayectoria de sol. El mecanismo se basa en un sistema de engranajes accionado por un motor paso a paso.

La estructura de soporte cuenta con una base cuadrada de color blanco, el cual se extiende 1.80 m de altura y termina en un cuadrado menor, el cual tiene como finalidad dar el espacio suficiente para la realización del movimiento del panel. De este modo el panel solar puede moverse libremente sin riesgos de choque.

Figura 31. Soporte estructural del seguidor solar de 1 eje



Figura 32. Dimensiones del soporte de un eje



El panel solar se ubicó en una estructura metálica fijada en el eje de movimiento. Esta estructura cuenta con las dimensiones de los paneles que se instalaron, los cuales son de 350 W.

Figura 33. Soporte de las celdas solares a lo largo del eje de movimiento



El panel de control de todo el sistema está situado en la estructura del seguimiento solar de un solo eje y sirve para activar el sistema,

realizar pruebas del movimiento de los ejes y realizar paradas de emergencia del sistema.

Figura 34. Interfaz de control del sistema



La fuente de alimentación para el accionamiento del sistema de los seguidores solares proviene de un banco de baterías. Facilitando de este modo su funcionamiento, independencia y ahorro de energía.

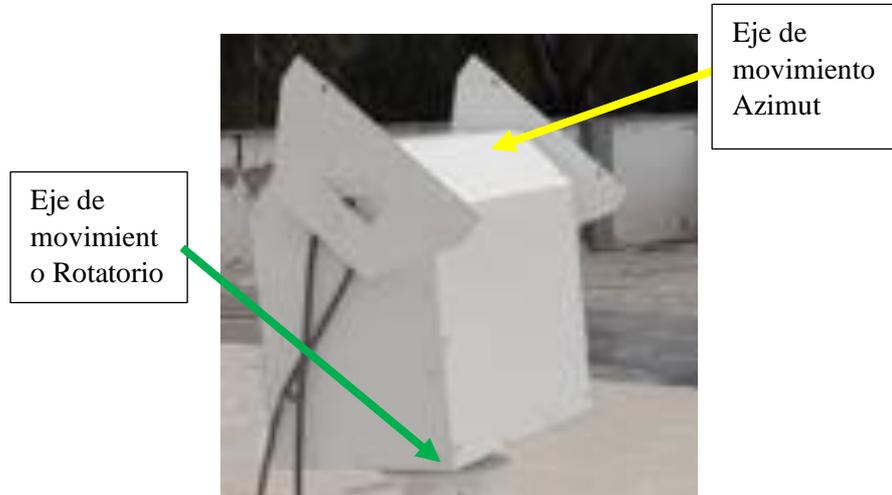
B. Seguidor solar dos ejes:

-Descripción estructura mecánica y eléctrica.

El seguidor solar de dos ejes cuenta con un mecanismo capaz de mover de Este a Oeste el panel desde un eje orientado a la trayectoria del sol y de donde se fija el panel solar. Así mismo cuenta con otro eje ubicado en la base, el cual permite que el sistema gire sobre su propio eje 360 grados es decir recorre los ángulos de

azimut. De este modo se puede orientar de mejor modo al panel solar respecto al Sol.

Figura 35. Ejes del seguidor solar

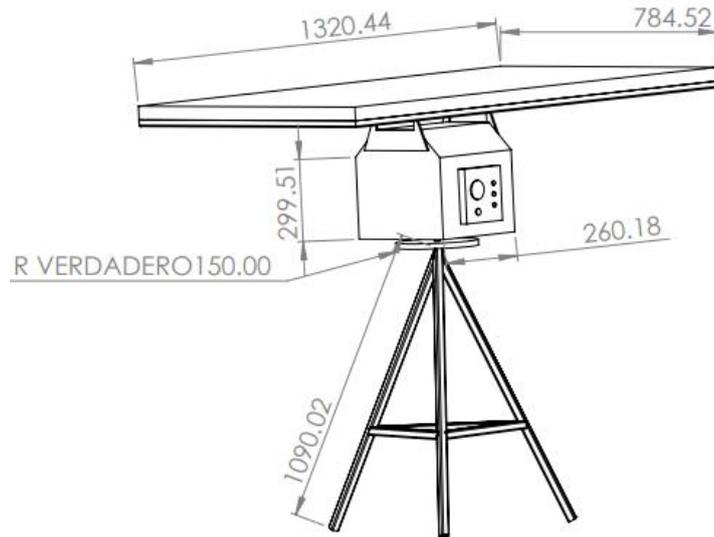


El soporte de este seguidor solar consta de una base giratoria soportada por 3 patas, unidas con perfiles rectangulares dando una forma triangular estable y fija, de este modo el modelo reduce dimensiones innecesarias y mantiene una correcta estabilidad al momento de realizar los giros; facilitado el movimiento libre del panel solar.

Figura 36. Soporte estructural del seguidor de 2 ejes



Figura 37. Plano general de la estructura de 2 ejes



Así mismo el modelo de 2 ejes tiene un panel de control que permite el encendido, testeo y apagado del sistema, el mismo que contiene una salida de aire para el ventilador de refrigeración.

Figura 38. Panel de control del seguidor de 2 ejes



C. Seguidor solar astronómico:

-Descripción estructura mecánica y eléctrica.

La estructura del seguidor solar astronómico muy similar al de dos ejes, cuenta del mismo modo con un eje de rotación en la base y un eje de giro en donde se ubica el soporte del panel solar.

Su base es un trípode unido por perfiles que le da una forma triangular, siendo las patas de soporte los vértices. De este modo, al igual que el seguidor de dos ejes, se tiene una libertad de giro y una estabilidad adecuada.

Figura 39. Estructura de los seguidores astronómico



El panel de control del seguidor solar astronómico tiene las mismas características que el seguidor de dos ejes.

Figura 40. Panel de control del seguidor astronómico



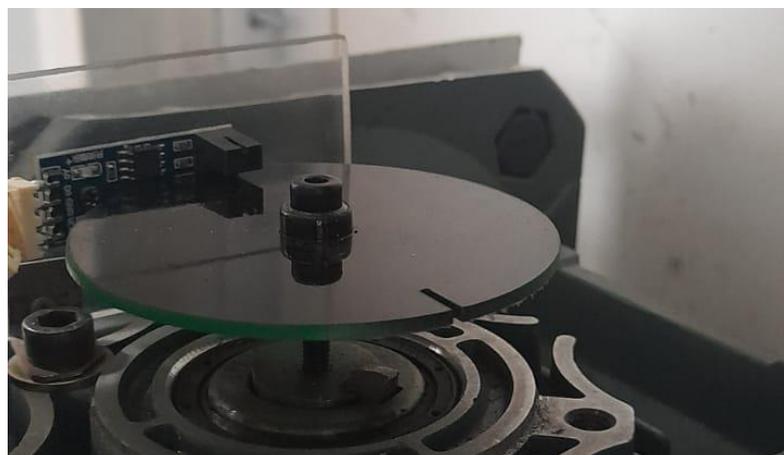
Cabe resaltar que si bien a la estructura física es similar, la forma de ubicación y censado de cada uno es diferente, esta diferencia se explicará a continuación en el control.

5.1.4.2 Electrónica General para seguidores

Sensor Encoder anti colisiones

Se uso un encoder modificado para ser utilizado como indicador de límite de giro, de modo que se evite el choque entre el panel y la estructura al momento de seguir al sol durante el día.

Figura 41. Encoder modificado



Dataloger General

Se utilizó un mismo tipo de dataloger para cada uno de los modelos, de forma que se tenga un mismo tipo de recolección de datos de forma uniforme para la evaluación del rendimiento de cada uno de los modelos.

Figura 42. Dataloger usado para la recolección de datos



Tableros de control

Figura 43. Circuito del tablero de control

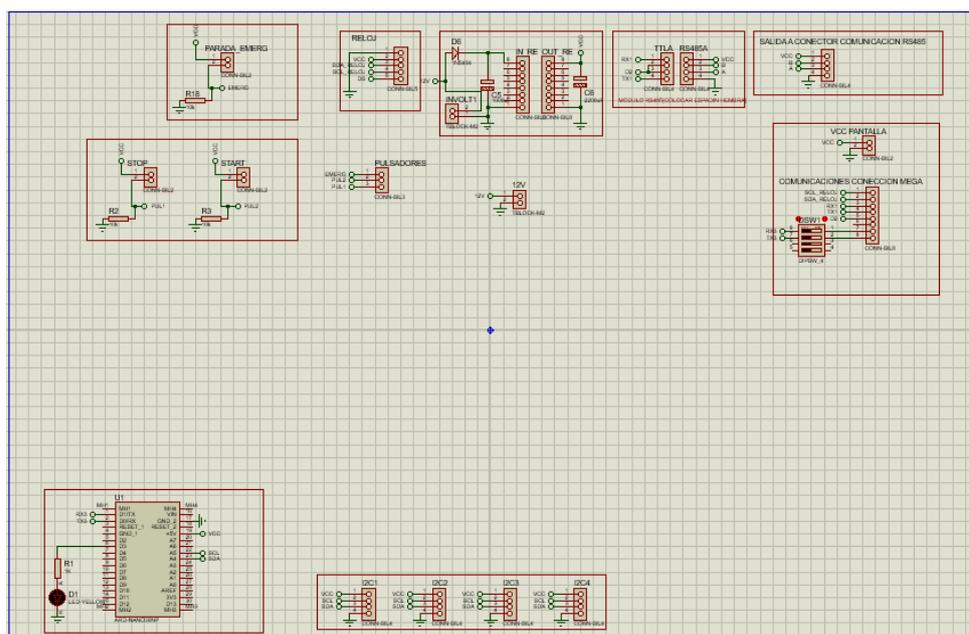
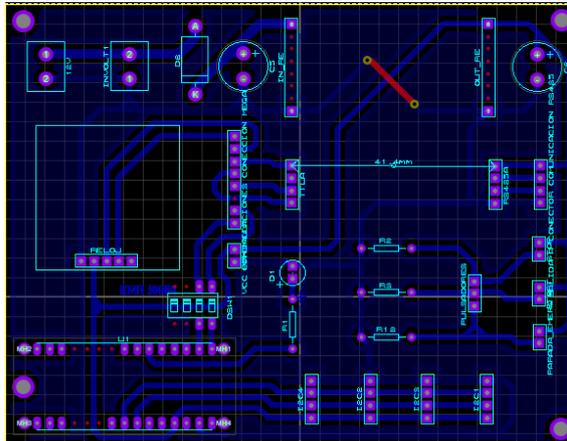


Figura 44. Placa de PCB del tablero de control



Los tableros de control contienen 3 botones principales. Encendido, encargado de iniciar todo el sistema del seguidor. Apagado, que se encarga de apagar y finalizar el sistema del seguidor. Por último, el botón de parada de emergencia, al que se le asigna la función crucial de interrumpir todo el sistema en caso de emergencia o mal funcionamiento, es el encargado inhabilitar los otros botones y detener toda acción en ejecución.

Circuito de Control del sistema

Figura 45. Esquemático del circuito de control astronómico

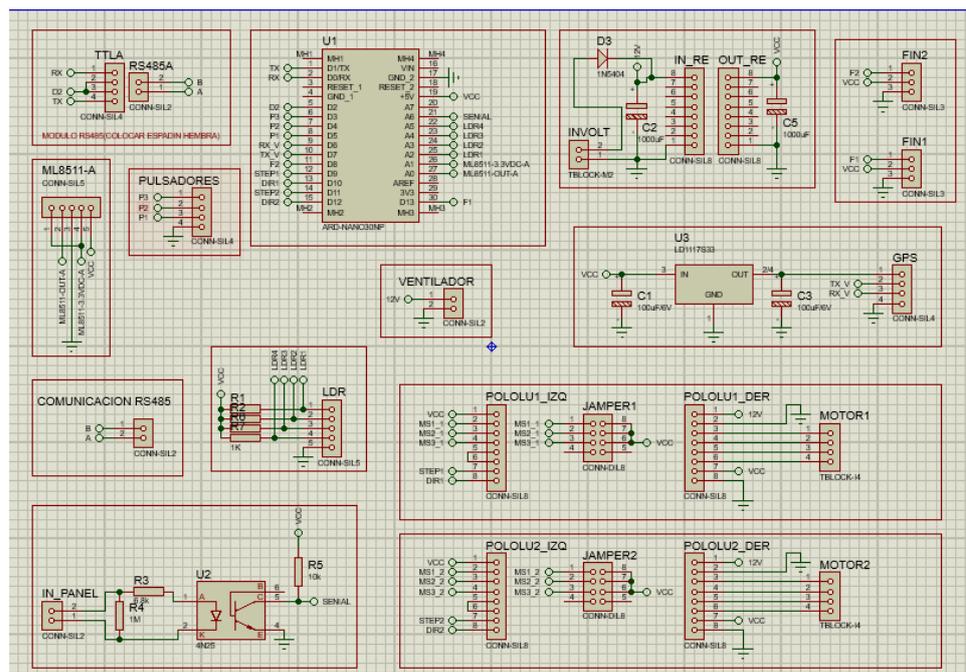
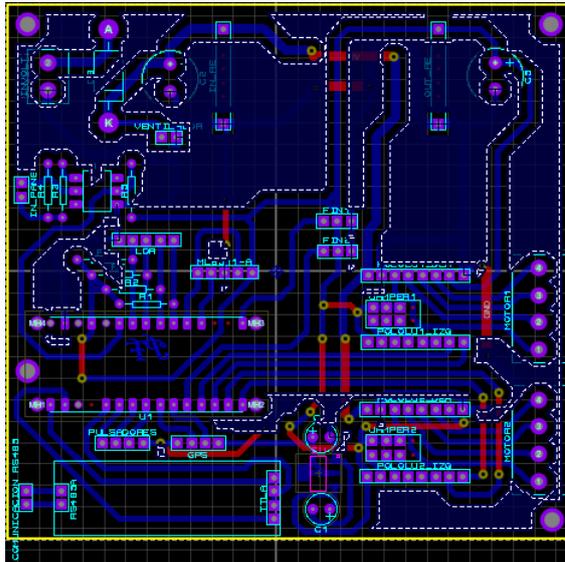


Figura 46. Diseño PCB de la placa

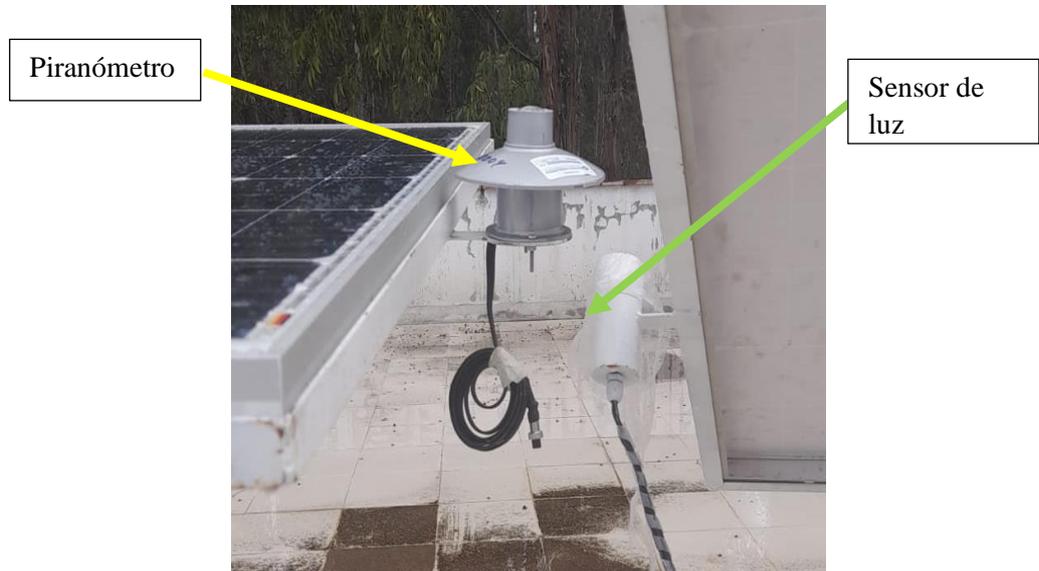


El sistema electrónico del seguidor solar astronómico cuenta con el control de dos motores, que son dirigidos por un Arduino nano. La placa de control cuenta con los drivers para los dos motores los cuales permiten dirigir el sentido y velocidad de los motores para la rotación de los ejes. El principal sensor que se usó fue uno de GPS, alimentado por con un regulador modelo LD1117S33, para la orientación del panel según la zona y hora en donde se ubique. El sistema de orientación del panel solar también se apoyó de un sensor de luz LDR un sensor de luz ultravioleta modelo ML8511.

Figura 47. Sensor GPS NEO 6M_00

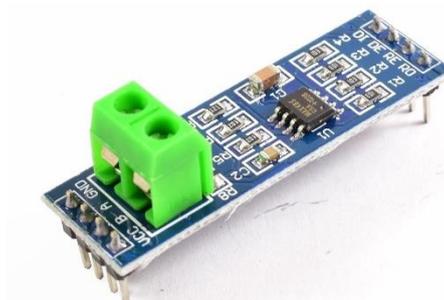


Figura 48. Sensores de apoyo (Piranómetro y Luz)



Dentro del circuito electrónico podemos ver que se uso la comunicación RS485 para tomar los datos de los sensores, esto debido a que da una mejor recepción de datos con cables a larga distancia y también reduce el ruido. De modulo Max 485 que recibe los datos en RS485 lo pasa a TTL para que el Arduino pueda leerlo.

Figura 49. Modulo Max 485



El sistema cuenta con un maestro y un esclavo. El maestro se instaló en un Arduino Mega, el cual tuvo como esclavo al Arduino nano, en

cada uno de los sistemas. El Arduino Mega recibe directamente las señales de los tableros de control.

Para cada uno de los seguidores se usó el mismo modelo de control y circuito electrónico. La diferencia fue que en el seguidor solar de un eje y seguidor solar de dos ejes no se le implemento el sensor GPS, pero si los demás sensores como el LDR, el pirómetro y el sensor de luz ultravioleta. En el caso del seguidor astronómico si se utilizaron todos los sensores incluyendo el GPS

Como se puede ver en la imagen se inició la construcción con la ubicación del encoder en el motor para ser usado como un limitador de giro, evitando que la rotación sobrepase la estructura y genere daños.

Figura 50. Armado del encoder



Figura 51. Montaje del circuito de control



Como se observa el datalogger fue instalado en su caja correspondiente para tener un control y monitoreo de datos adecuados, midiendo Voltaje y Corriente para posteriormente calcular las potencias en el momento de la experimentación.

Figura 52. Armado del seguidor de 2 ejes y astronómico



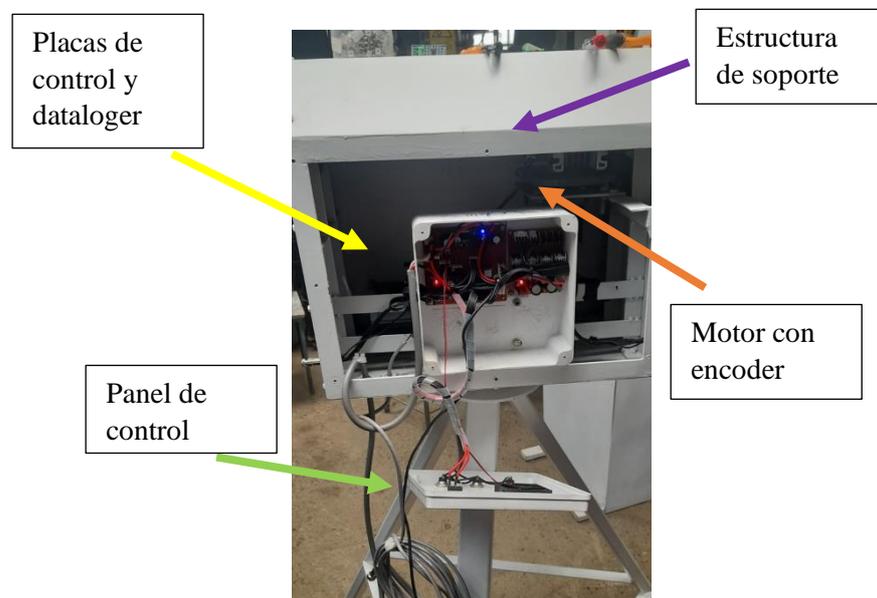
Como se muestra en la figura, se empezó con el armado del seguidor de 2 ejes, desde la estructura metálica, colocando los soportes y ejes correspondientes para el movimiento. Esta misma estructura es usada para el seguidor astronómico

Figura 53. Base giratoria



En la imagen de arriba se puede ver la ubicación del eje de rotación de la base, eje que se usa para el seguidor de 2 ejes y el astronómico.

Figura 54. Integración de elementos en la estructura



En esta figura podemos observar cómo se integran todos los elementos, la estructura, el panel de control, el datalogger y los motores con el encoder integrado.

Figura 55. Ensamblaje sin celdas solares



En la figura 55 se observa el resultado final de la estructura acabada, en donde está ubicado el soporte para las celdas solares, la estructura de 2 ejes de rotación.

Instalación

Figura 56. Instalación de los seguidores solares en a UNCP



Se realizó la instalación de los seguidores solares en el tejado de la UNCP en el que se ubicaron 3 seguidores, de 1 eje, 2 ejes y el astronómico.

Figura 57. Instalación de periféricos



Como se observa en la imagen se instaló en los paneles sensores periféricos, los cuales son los sensores de luz, radiación y el perímetro

Figura 58. Sistema de protección



En la figura superior se puede ver que se realizó una instalación de protección en caso de sobrecarga para poder cuidar las instalaciones de la universidad, cumpliendo asimismo, los estándares de seguridad requeridos en trabajos con paneles solares.

Figura 59. Verificación final de la instalación



Se puede observar que se realizó la verificación de todas las instalaciones para garantizar un correcto funcionamiento, seguridad y realización de pruebas.

Figura 60. Resultado final de la instalación



En la figura 60 se muestra el resultado de la instalación de los seguidores solares, listos para la realización de la experimentación correspondiente.

Experimentación:

Figura 61. Muestra panorámica del día de experimentación



En la imagen de arriba se puede observar el estado del día de experimentación, donde se tiene un cielo nublado, con indicios de lluvia. Así mismo vuelve a resaltar que no existe obstáculos físicos como, techos, lunas, aves u otros en la ubicación de los paneles solares.

Se verifico la recolección de datos del datalogger durante la experimentación, de este modo garantizamos que los datos sean adecuados y no se haya tenido un error durante la recolección.

Referente al costo de los equipos, se puede indicar que el proyecto fue ganador del concurso de proyectos de investigación en el ecosistema I+D+i+e en el año 2021 el cual fue organizado por la UNCP.

El presupuesto financiado se describe en la siguiente tabla.

Tabla 12 Presupuesto del proyecto de investigación

ITEM	ESPECÍFICA	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	PRESUPUESTO
EQUIPOS Y BIENES DURADEROS						S/. 23,000.00
1	2.6.3.2.9.99	1	unidad	Seguidor Solar de un eje	6500	S/. 6,500.00
2	2.6.3.2.9.100	1	unidad	Seguidor Solar de dos ejes	7500	S/. 7,500.00
3	2.6.3.2.9.101	1	unidad	Seguidor Solar Astronómico	9000	S/. 9,000.00
MATERIALES E INSUMOS						S/. 34,500.00
1	2.3.1.5.4.1	4	unidad	Paneles de 330 watts	950	S/. 3,800.00
2	2.3.1.5.4.1	4	unidad	Bateria 260 Ah	2500	S/. 10,000.00
3	2.3.1.5.4.1	1	unidad	Controlador de carga MPPT	2500	S/. 2,500.00
4	2.3.1.5.4.1	2	unidad	Sistema de adquisicion de datos (DAQ)	6000	S/. 12,000.00
5	2.3.1.5.4.1	4	unidad	Piranómetro	700	S/. 2,800.00
6	2.3.1.6.1.3	1	unidad	Gabinete metalico de protección y soporte de materiales e insumos.	2000	S/. 2,000.00
7	2.3.1.5.4.1	1	unidad	Kit de conectores y cables para sistemas fotovoltaicos	1400	S/. 1,400.00
TOTAL						S/. 57,500.00

5.1.5 Resultados descriptivos de Irradiación

Para observar la variación de radiación que impacta en el panel solar se instaló un piranómetro en cada seguidor solar.

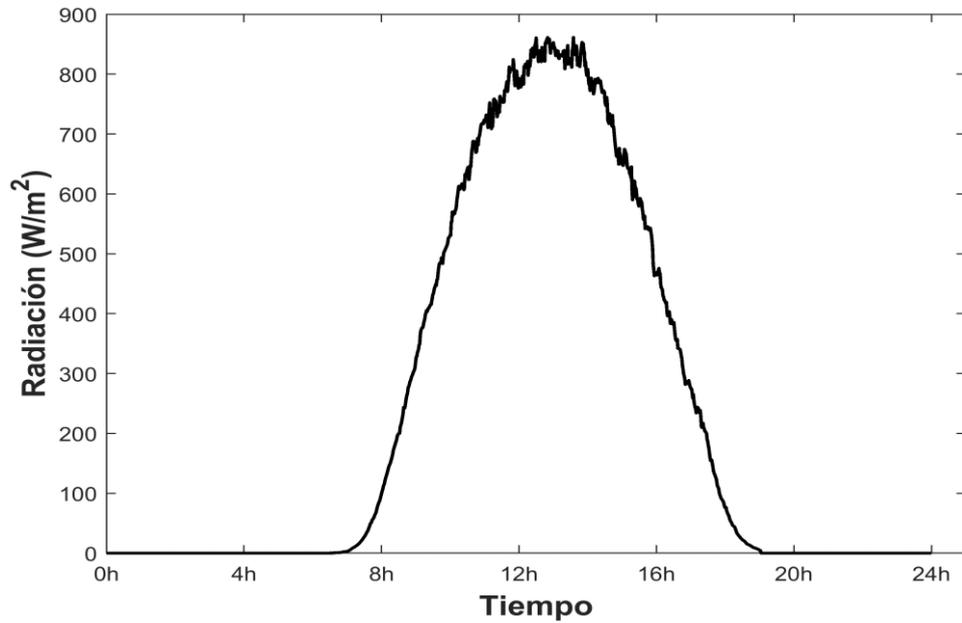
La tabla 12 da a conocer el registro de las radiaciones, observándose valores desde 0.02 W/m² que empiezan a partir de las 6:24:00 horas hasta valores máximos 861.44 W/m² que se obtiene a las 13:34:00 horas y se oculta el sol a las 19:00:00 horas con valores de radiación de 4.49 W/m². En el anexo 03 se muestra con mayor detalle la base de datos.

Tabla 13 Información del piranómetro del seguidor estático

HORA	IRRADIACIÓN W/m ²
6:24:00	0.02
13:34:00	861.44
19:00:00	4.49

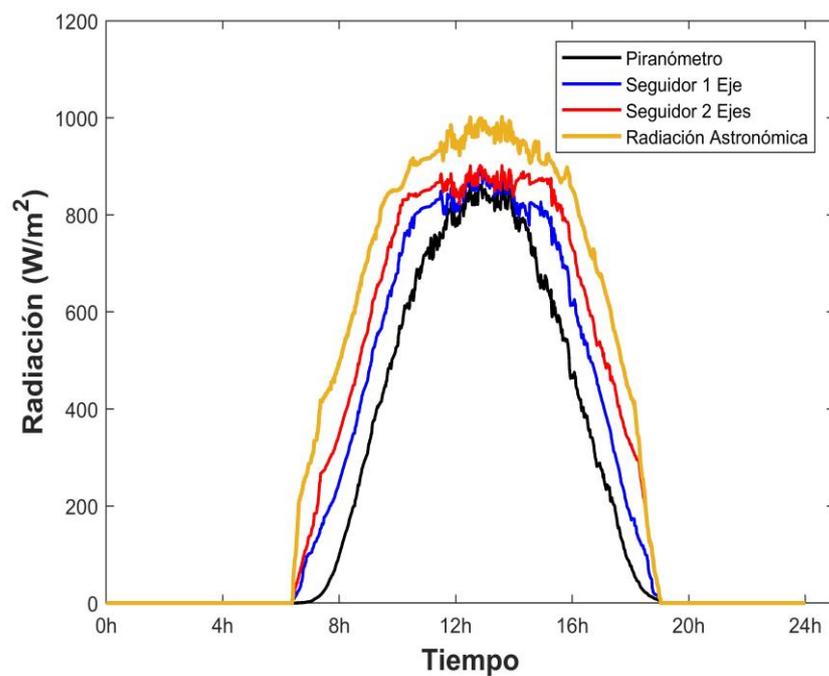
En la gráfica 62 se da a conocer la irradiación de un día.

Figura 62. Grafica de Irradiación de un día.



En la figura 63 se muestra la Irradiación de los 4 piranómetros ubicados en los seguidores solares se logra observar la diferencia de los valores y el incremento de estos al cambiar de tipo de seguidor.

Figura 63. Comparación de Irradiancia con diferentes seguidores.

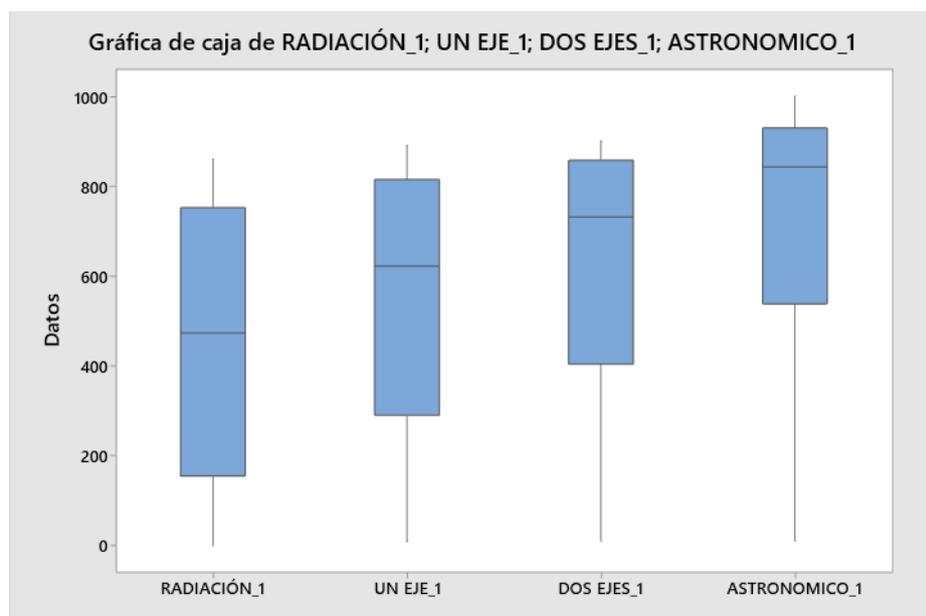


También se observa el gráfico de cajas donde los valores de irradiación alcanzan valores elevados para el seguidor astronómico. También se observa que los datos se concentran en el tercer cuartil y los datos se encuentran muy dispersos en el primer cuartil.

No existen datos atípicos o anómalos es decir todos los datos se encuentran ubicados en los cuartiles.

Con una simple inspección se puede indicar que la tecnología de seguidor astronómico puede capturar mayor irradiación en comparación al piranómetro ubicado en el panel solar fijo.

Figura 64. Diagrama de cajas



La tabla 13 indica valores descriptivos de radiación solar, si comparamos los valores altos de irradiación se observa que el piranómetro ubicado en el panel fijo tiene un valor de 861.4 w/m², el piranómetro ubicado en el panel con seguidor de un eje tiene un valor de 891.8 W/m², el piranómetro ubicado en el seguidor de dos ejes tiene un valor de 901.8 W/m² y el

piranómetro ubicado en el seguidor astronómico tiene un valor máximo de 1001.7 W/m².

Tabla 14 Descripción de datos de radiación

Variable	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
RADIACIÓN_1	663	0	449,7	11,7	301,7	0,0	154,5	473,9	753,4	861,4
UN EJE_1	663	0	552,8	11,1	285,4	8,3	290,3	623,0	816,5	891,8
DOS EJES_1	663	0	623,1	10,4	267,7	9,1	404,7	732,9	859,4	901,8
ASTRONOMICO_1	663	0	723,4	10,0	257,9	9,5	539,0	844,4	931,3	1001,7

5.1.6 Resultados descriptivos de energía eléctrica.

Para realizar la experimentación y análisis de la energía eléctrica se utilizó el mismo panel solar del sistema con conexión a la red de la UNCP el cual es de 350 Watts de la marca Canadian Solar. La tabla 14 indica valores de energía producida durante los meses de enero hasta julio del año 2022. Es importante destacar que los seguidores solares incrementan la potencia de generación del panel solar y en consecuencia la energía generada durante el mes de prueba.

Tabla 15 Energía generada por cada seguidor

MESES	ESTÁTICO (kWh)	SEGUIDOR UN EJE (kWh)	SEGUIDOR DOS EJES (kWh)	SEGUIDOR ASTRONÓMICO (kWh)
ENERO	63	73.02	96.52	115.3
FEBRERO	50.13	58.21	81.71	102.43
MARZO	54.13	66.15	89.65	106.43
ABRIL	49.43	65.42	88.92	101.73
MAYO	46.59	70.7	94.2	98.89
JUNIO	43.43	73.08	96.58	98.73
JULIO	46.77	74.73	98.23	99.07

En la tabla 5 se observa con respecto a la media de la generación de energía que un seguidor solar astronómico puede mejorar la generación de energía en más del 50% con respecto a un panel estático.

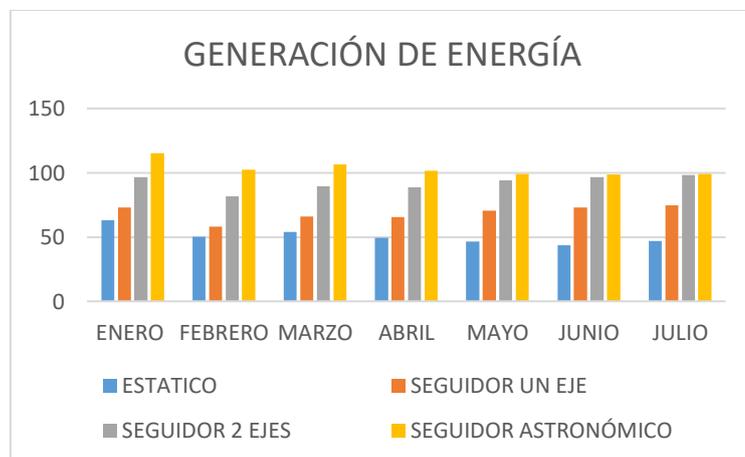
También se observa que los seguidores con baja tecnología mejoran la generación de energía en más de 20%.

Tabla 16 Datos descriptivos de la generación de energía

DATOS_TOTAL_KWH						
TOTAL_KWH	Media	N	Desv. Desviación	Mínimo	Máximo	Suma
ESTATICO	50.4971	7	6.45361	43.43	63.00	353.48
S_UN_EJE	68.7586	7	5.85213	58.21	74.73	481.31
S_DOS_EJES	92.2586	7	5.85213	81.71	98.23	645.81
ASTRONÓMICO	103.2257	7	5.98896	98.73	115.30	722.58
Total	78.6850	28	21.63084	43.43	115.30	2203.18

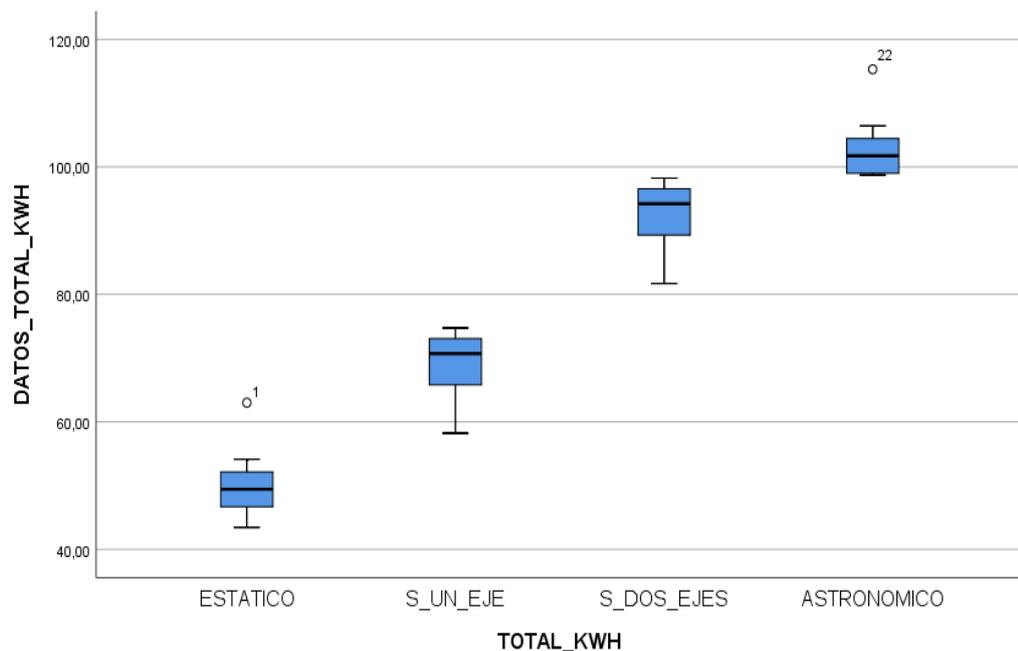
En la figura 65 se da a conocer el grafico de barras de la comparación de energía generada por tecnologías durante los meses de realizado el estudio en todos los casos el seguidor astronómico tiene mayor energía eléctrica.

Figura 65. Comparación de generación de energía por tecnología



En el gráfico de cajas se observa que existen dos valores que salen de los cuartiles los cuales son mediciones atípicas pero están cerca de la concentración de los datos. Al igual que las gráficas anteriores el seguidor astronómico tiene mayor generación de energía

Figura 66. Gráfico de cajas de generación de energía



5.2 Resultados inferenciales.

El estudio inferencial nos permitió determinar si los datos analizados son normales a esta técnica inferencial se denomina estudio de idoneidad de modelo de los datos, para nuestro caso se realizó el análisis con el estadígrafo shapiro -Wilk por que se tiene datos menores a 50.

La tabla 16 ilustra que todos los valores p (Sig.) superan el umbral del nivel de significancia 0,05, lo que lleva a la inferencia de que las muestras de datos de energía se ajustan a la normalidad. En consecuencia, la prueba de hipótesis se realiza utilizando el estadístico F descriptivo de Fisher.

Tabla 17 Prueba de normalidad

TOTAL_KWH		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístic	o	gl	Sig.	Estadístic	o
DATOS_TOTAL_KW H	ESTATICO	0.237	7	,200*	0.895	7	0.300
	S_UN_EJE	0.201	7	,200*	0.898	7	0.319
	S_DOS_EJES	0.201	7	,200*	0.898	7	0.319
	ASTRONÓMIC O	0.237	7	,200*	0.895	7	0.300

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

En las figuras 67, 68, 69 y 70 se muestra que todos los valores están cerca de la media de los datos no existiendo datos dispersos que indicarían datos que no se encuentran correctamente procesados.

Figura 67. Visualización de distribución de datos del panel estático

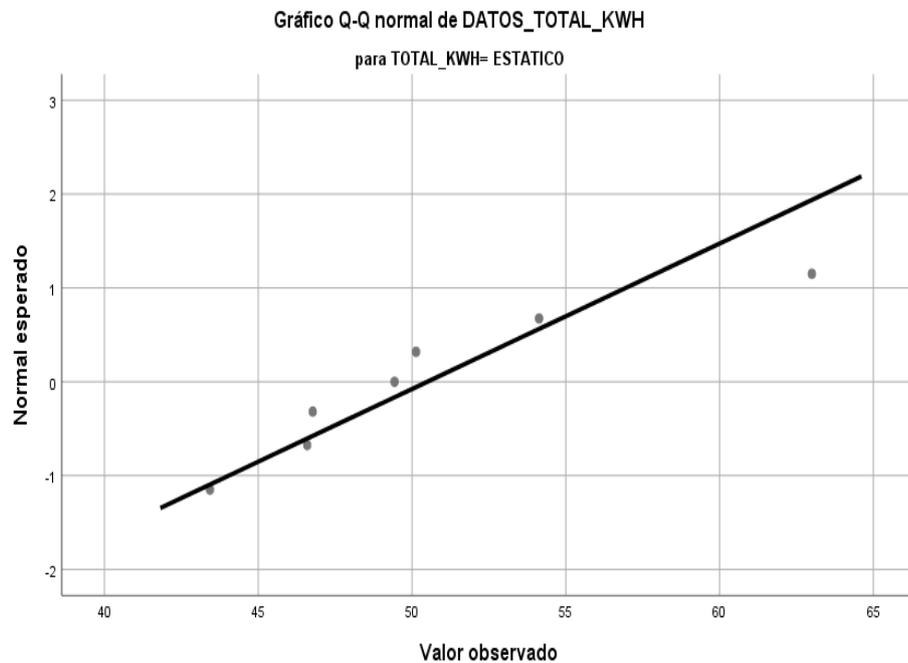


Figura 68. Visualización de distribución de datos seguidor de un eje

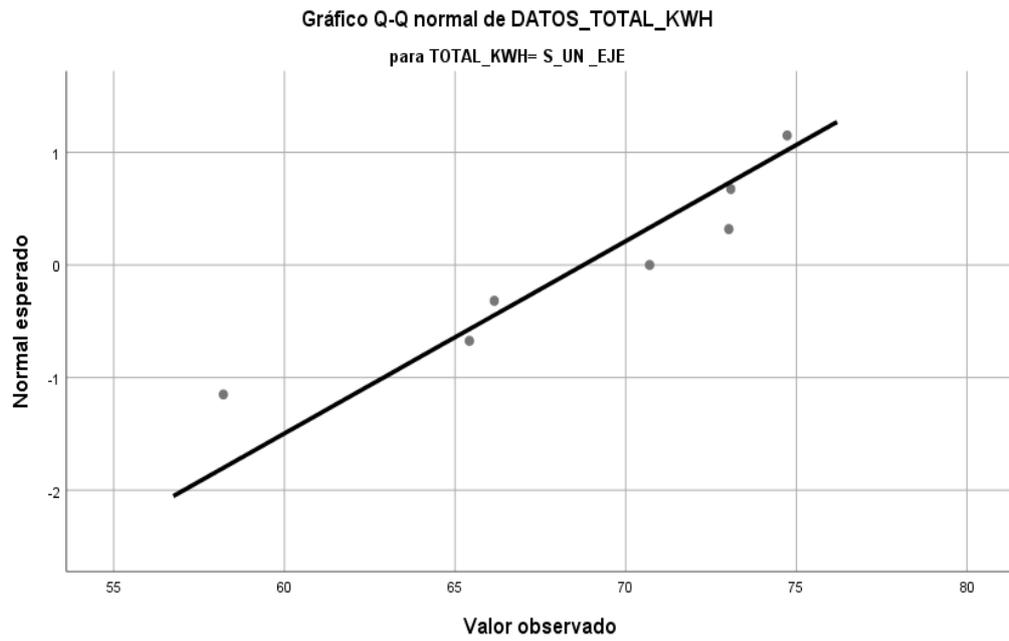


Figura 69. Gráfico de Q-Q normal para seguidor solar de dos ejes

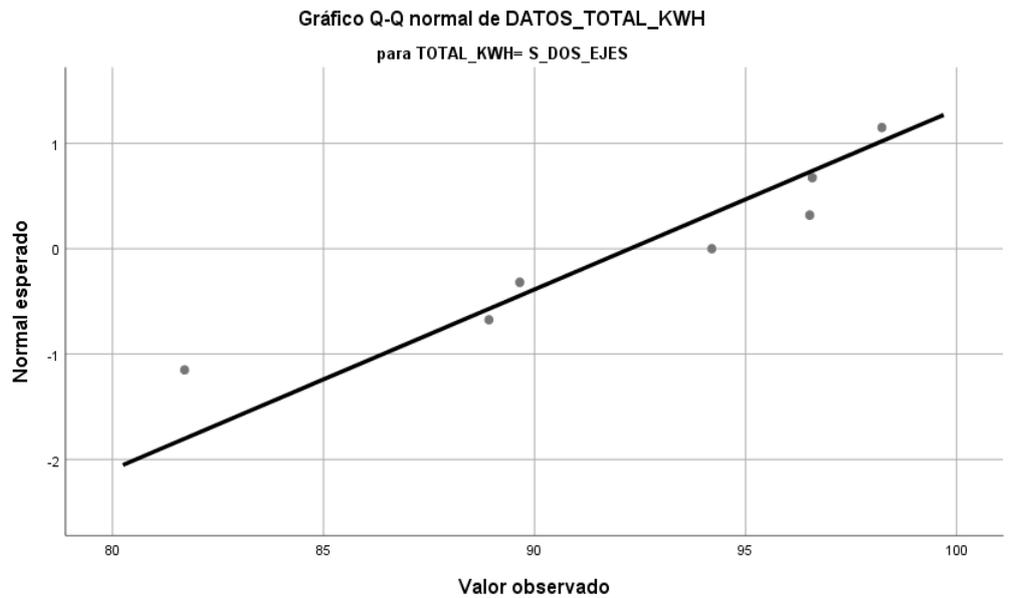
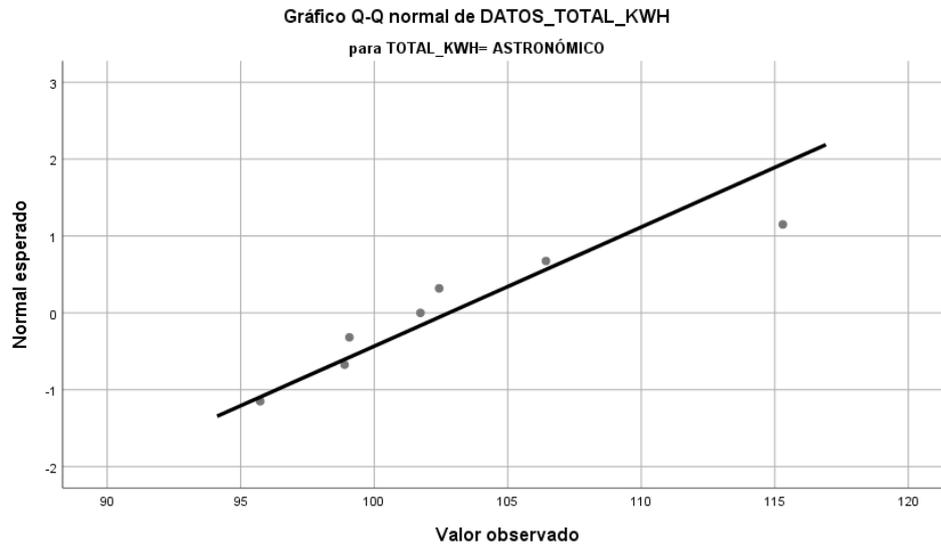


Figura 70. Gráfico de Q-Q normal para seguidor astronómico



5.3 Otro tipo de resultados estadísticos, de acuerdo a la naturaleza del problema y la Hipótesis.

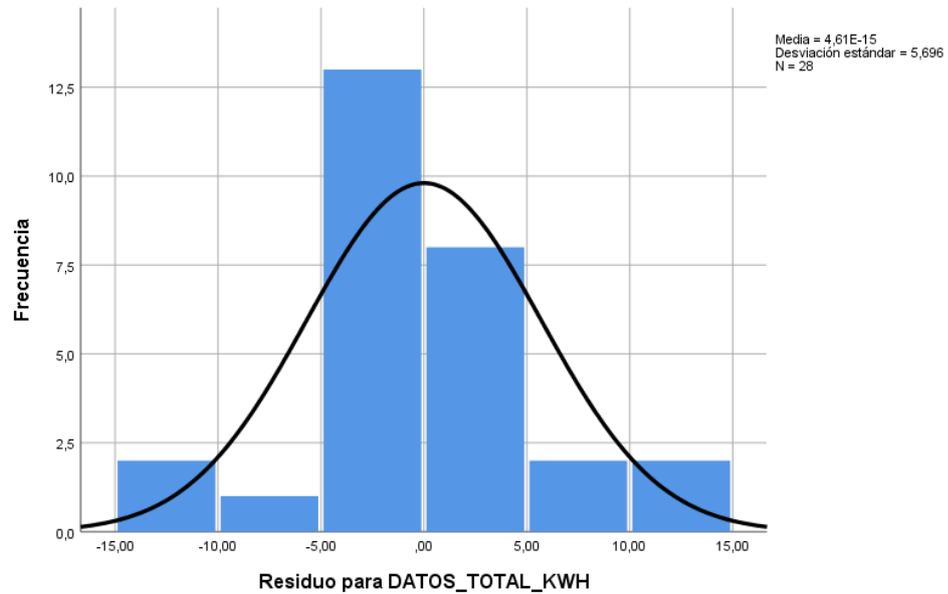
A partir de un análisis de los datos sobre la generación de electricidad, se realizó una evaluación de la normalidad basada en la independencia de los residuos. Los residuos se salvan mediante la utilización del software SPSS.

Figura 71. Valores de residuos para cada tipo de tecnología

TOTAL_KWH	RES_1	var
ESTATICO	12.50	
ESTATICO	-.37	
ESTATICO	3.63	
ESTATICO	-1.07	
ESTATICO	-3.91	
ESTATICO	-7.07	
ESTATICO	-3.73	
S_UN_EJE	4.26	
S_UN_EJE	-10.55	
S_UN_EJE	-2.61	
S_UN_EJE	-3.34	
S_UN_EJE	1.94	
S_UN_EJE	4.32	
S_UN_EJE	5.97	
S_DOS_E...	4.26	
S_DOS_E...	-10.55	
S_DOS_E...	-2.61	
S_DOS_E...	-3.34	
S_DOS_E...	1.94	
S_DOS_E...	4.32	
S_DOS_E...	5.97	
ASTRONÓ...	12.07	
ASTRONÓ...	-.80	
ASTRONÓ...	3.20	

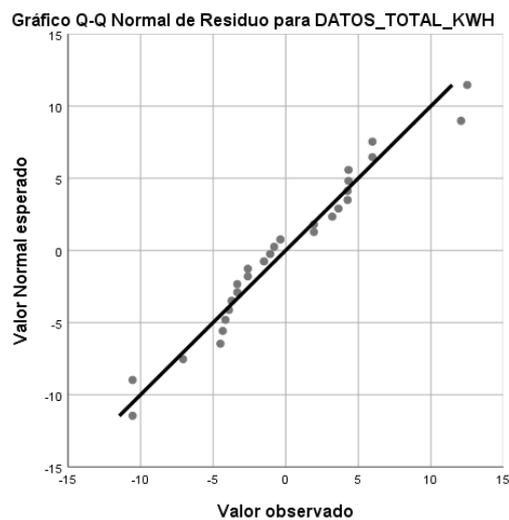
El histograma de los residuos nos da a conocer que existen algunas desviaciones, pero no implica en la normalidad de los datos.

Figura 72. Histograma de residuos de generación de energía



La figura 73 se analiza que no se presenta desviaciones de los datos porque la mayoría de los mismos se encuentran cercano a la línea diagonal.

Figura 73. Gráfica de Q-Q para valores de residuo de los datos de generación de energía eléctrica



Además, para examinar la normalidad de los residuos, se lleva a cabo la prueba de Kolmogorov-Smirnov, en la que se encuentra que el nivel de significancia predeterminado es superior a 0,05. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de normalidad para el conjunto de datos dado.

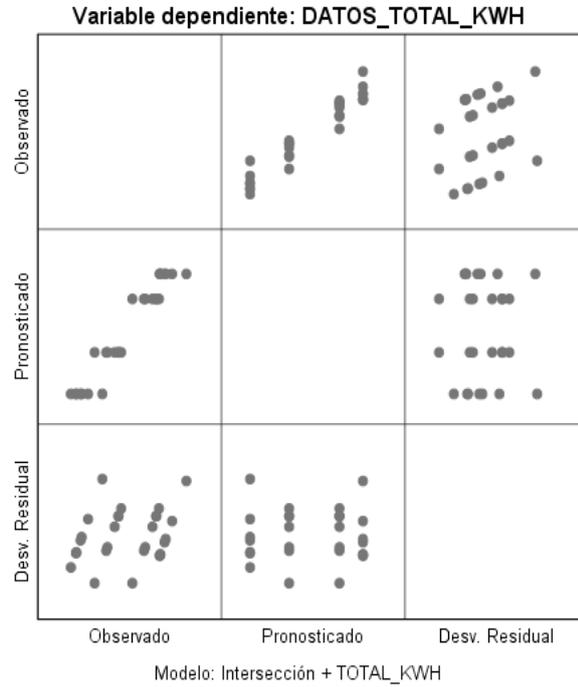
Tabla 18 Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra residuos

		Residuo para DATOS_TOTAL_KWH
N		28
Parámetros normales ^{a,b}	Media	0.0000
	Desv. Desviación	5.69623
Máximas diferencias extremas	Absoluto	0.108
	Positivo	0.105
	Negativo	-0.108
Estadístico de prueba		0.108
Sig. asintótica(bilateral)		,200 ^{c,d}

a. La distribución de prueba es normal.
b. Se calcula a partir de datos.
c. Corrección de significación de Lilliefors.
d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

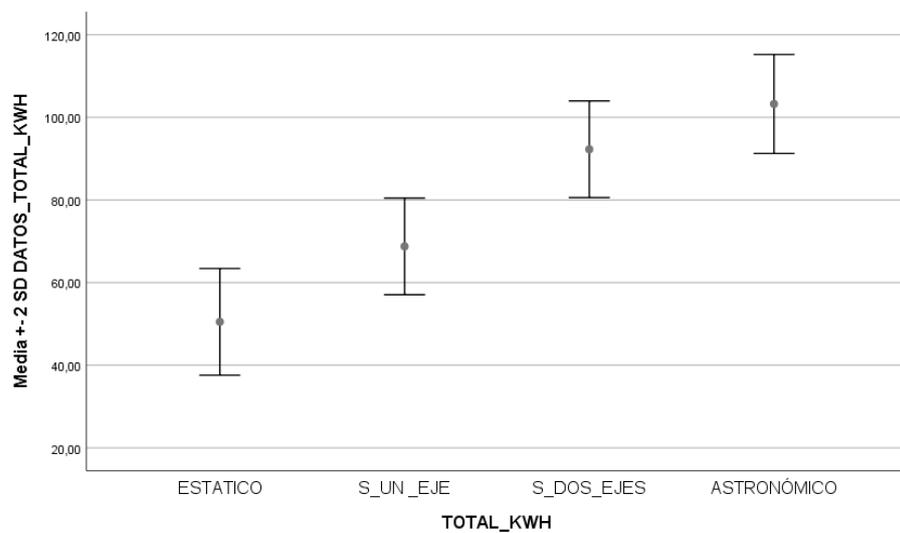
En el análisis subsiguiente, analizaremos el supuesto de independencia entre los residuos y los valores previstos o proyectados por el modelo. Cualquier indicio de inclinación en él puede sugerir una violación de esta conjetura. Al examinar detenidamente la figura 74, la fila tres y la columna dos, resulta evidente que no existe un patrón atípico, por lo que aceptamos la hipótesis de la independencia de los datos.

Figura 74. Análisis de independencia de residuos



Para el análisis de homocedasticidad de los datos se realizó la gráfica de barras de error en la figura 75 se observa que la desviación típica es multiplicada por 2, cada grupo de datos tiene su promedio en el círculo de las barras. En todos los casos se observa igual dispersión de los datos.

Figura 75. Barras de error



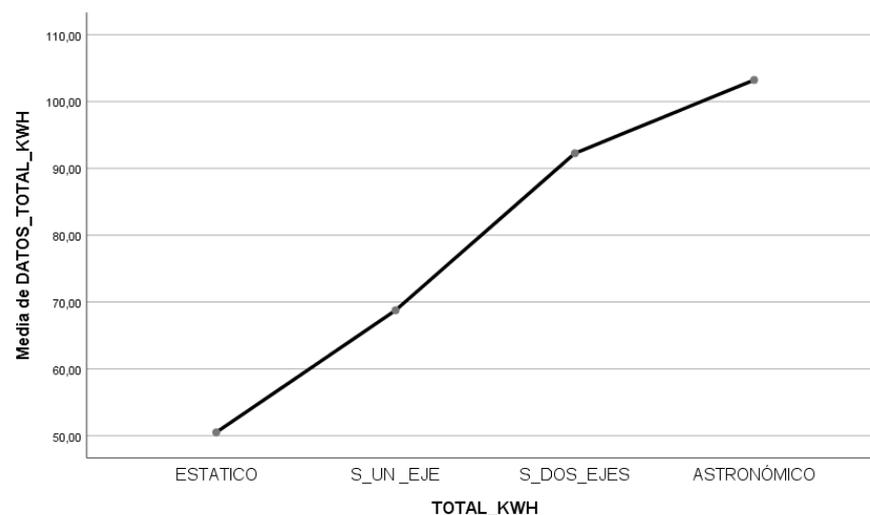
Para conocer la homogeneidad de las varianzas recurrimos a la prueba de Levene. En la tabla 18 en todos los grupos de datos observamos que no se supera el valor de 0.05 del estadístico de Levene por lo que se supone varianzas distintas aceptando la hipótesis de homogeneidad de las varianzas y se concluye que los cuatro grupos tienen varianzas homogéneas.

Tabla 19 Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
DATOS_TOTAL_KWH	Se basa en la media	0.016	3	24	0.997
	Se basa en la mediana	0.023	3	24	0.995
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	0.023	3	23.554	0.995
	Se basa en la media recortada	0.029	3	24	0.993

En la figura 76 se observa que cuando mejor es la tecnología se incrementa la generación de potencia y en consecuencia la energía eléctrica.

Figura 76. Gráfica de medias



Luego de comprobar las hipótesis de homogeneidad o hipótesis de modelo se puede utilizar el ANOVA en la prueba de hipótesis de la investigación.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados.

Para demostrar la hipótesis se plantearon dos posibles soluciones al problema planteado las cuales son:

La hipótesis nula o falsa es:

H0: El análisis y la instalación de un seguidor solar no incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

La hipótesis alterna o verdadera es:

H1: El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

Para validar la hipótesis primero se observa si los datos si son normales para lo cual se realizaron las pruebas en las líneas arriba.

Es importante reiterar que se tiene 28 unidades experimentales como se muestra en la tabla 19, asimismo queremos estudiar si el análisis e instalación de un seguidor solar incrementará la generación de potencia y energía eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a la red.

Tabla 20 Factores inter-sujetos

		Etiqueta de valor	N
TOTAL_KWH	1,00	ESTATICO	7
	2,00	S_UN_EJE	7
	3,00	S_DOS_EJES	7
	4,00	ASTRONÓMICO	7

En la tabla 19 se observa 7 unidades experimentales en cada tipo de seguidor solar

El planteamiento de la hipótesis es el siguiente:

H0 Las medias son iguales en todos los grupos (La energía generada al utilizar un seguidor solar son iguales)

H1: Las medias son diferentes en al menos un grupo (La energía generada al utilizar un seguidor solar son iguales son diferentes)

$$H_0 = u_1 = u_2 = u_3 \text{ vs } H_1 = u_1 \neq u_2 \neq u_3$$

Es decir, “contrastamos que no hay diferencia en las medias de los cuatro tratamientos frente a la alternativa de que al menos una sea diferente al otro”.

El modelo matemático que estudia el efecto que realiza un solo factor en la variable dependiente, las unidades experimentales se realizan de forma aleatoria. El modelo es llama también “Diseño de la Varianza de un Factor o una Via”, para utilizar el modelo es importante que los valores experimentales sean homogéneos.

Se puede generalizar con la siguiente ecuación:

$$y_{ij} = u + \tau_i u_{ij}, i = 1, 2, \dots; j = 1, 2, \dots, n_i$$

y_{ij} : “es la variable aleatoria que representa la observación j-ésima del i-ésimo tratamiento” (Variable respuesta).

u : “Es un efecto constante, común a todos los niveles del factor, denominado media global”.

τ_i : “es la parte de debida a la acción del nivel i-ésimo, que será común a todos los elementos sometidos a ese nivel del factor, llamado efecto del tratamiento i-ésimo”.

u_{ij} : “son variables aleatorias que engloban un conjunto de factores”.

Con respecto a los tamaños de las muestras de los tratamientos, se puede inferir que los modelos muestran una distribución equilibrada o equitativa ya que las muestras son de magnitudes idénticas.

El contraste hipotético antes mencionado está íntimamente relacionado con la descomposición de la variabilidad de la variable de respuesta. El desglose de esta variabilidad es el siguiente:

$$SCT = SCTr + SCR$$

SCT: “es la suma total de cuadrados o variabilidad total de Y”

$$SCT = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y})^2$$

SCTr: “es la suma de cuadrados entre tratamientos o variabilidad explicada.”

$$SCTr = \sum_{i=1}^I n_i (\bar{y}_i - \bar{y})^2$$

SCR: “es la suma dentro de los tratamientos, variabilidad no explicada o residual”.

$$SCR = \sum_{i=1}^I (y_{ij} - \bar{y})^2$$

La tabla ANOVA, que se deriva de la descomposición antes mencionada, se utiliza para calcular el valor estadístico F que permite evaluar la hipótesis nula propuesta.

Para obtener el valor de F se utilizó el software SPSS 25 en la tabla 20 se indica que se tiene un valor de significancia de 4,822E-14 es decir es menor que 0.05 por lo tanto se comprueba de forma estadística que los cuatro grupos de datos de generación de energía eléctrica son distintos. Es decir, no se rechaza la hipótesis alterna o verdadera concluyéndose que el análisis y la instalación de un seguidor solar incrementa la generación de potencia

eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.

Tabla 21 Análisis de la Varianza de un Factor o una Vía

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	11757,044 ^a	3	3919.015	107.362	0.000
Intersección	173357.218	1	173357.218	4749.134	0.000
TOTAL_KWH	11757.044	3	3919.015	107.362	0.000
Error	876.070	24	36.503		
Total	185990.333	28			
Total corregido	12633.114	27			

Variable dependiente:
a. R al cuadrado = ,931 (R al cuadrado ajustada = ,922)

6.2 Contratación de los resultados con otros estudios similares.

El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementa la generación de potencia eléctrica en un sistema fotovoltaico conectado a red porque al realizar la experimentación con diferentes seguidores se observa el incremento de captura de irradiación desde valores de 473.9 W/m² en promedio hasta 844.4 W/m². De todo el estudio se observó que el uso de un seguidor básico como de un solo eje mejora la captura de la irradiación. Luego de realizado la investigación se observó que el mejor seguidor es el astronómico porque cuenta con sensores de luz LDR y sensor GPS que es capaz de seguir el sol en cualquier posición. La energía generada en los siete meses de estudio puede incrementarse en más de un 50% en la ubicación donde se encuentra el sistema fotovoltaico conectado a la red es decir la energía que genera un sistema estático es de 50.49 kWh en promedio y usando el seguidor astronómico se puede generar en promedio 103.23 kWh. Arian Bahrami en el año 2018 en su tesis titulada “El efecto de la latitud sobre el rendimiento de diferentes rastreadores en Europa y África” da a conocer el incremento en la ganancia de energía de los seguidores de doble eje en comparación con el panel fijo desde 17,72% al 31,23%, por lo

que enfatiza el empleo de los seguidores solares. Hassan Fathabadi en el año 2016 realiza la investigación titulada “Novedoso sistema de seguimiento solar de doble eje sin sensores de alta precisión controlado por la unidad de seguimiento del punto de máxima potencia de fotovoltaica sistemas” la investigación tuvo como resultado el aumento del 28,8% al 43,6% de la generación de energía concluyendo que la eficiencia energética es la principal ventaja de utilizar el sistema de seguimiento solar. El sistema fotovoltaico con conexión a la red de la Universidad incrementa la potencia de generación y la energía si se emplea seguidores solares de uno o dos ejes con sensores GPS para orientar el panel fotovoltaico de forma libre según la zona y la hora que se ubique el sol.

6.3 Responsabilidad ética de acuerdo con los reglamentos vigentes (el autor de la investigación se responsabiliza por la información emitida en el informe)

Yo David Elvis Condezo Hurtado soy responsable de la información emitida en la presente tesis según la normativa y código de ética del investigador (Res. 260-2019-CU) establecidos por la Universidad Nacional del Callao. Específicamente en base al Artículo 8 sobre Los principios éticos del investigador de la UNAC que comprende: “Probidad, profesionalismo, transparencia, objetividad, igualdad, compromiso, honestidad, confidencialidad, independencia, diligencia y dedicación”.

CONCLUSIONES

- El análisis y la instalación de un seguidor solar astronómico en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú puede incrementar la generación de energía eléctrica en un 50% .
- El empleo de diferentes seguidores solares incrementa la captura de irradiación de 473.9 W/m² en promedio hasta 844.4 W/m².
- El uso de un seguidor básico de un solo eje puede mejorar la captura de la irradiación.
- Un panel solar de 330 Watts instalado de forma fija, en el mes de marzo época de mayor radiación puede generar 54.13 kWh y si utilizamos un seguidor astronómico puede generar 106.43 kWh.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda el empleo de seguidores solares para mejorar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos instalados de forma fija.
- Es recomendable utilizar un seguidor astronómico en instalaciones de sistemas fotovoltaicos conectados a la red porque se aprovechará la radiación durante varias horas del día.
- Se recomienda emplear un seguidor básico de un solo eje para mejorar la captura de la radiación.
- Se recomienda continuar con la investigación de seguidores solares para mejorar la tecnología y en consecuencia capturar mayor radiación solar.
- Se recomienda realizar investigaciones sobre aspectos económicos y paquetes tecnológicos para que la tecnología pueda escalar a nivel del Perú.
- Es recomendable utilizar estaciones meteorológicas o sensores de radiación precisos para realizar investigaciones confiables.
- Se recomienda que el Ministerio de Energía y Minas implemente en sus programas fotovoltaicos el uso de seguidores solares.
- Se recomienda que el gobierno nacional realice proyectos de generación de energía con tecnología que aprovecha recursos renovables alineados a los objetivos de desarrollo sostenible para así contrarrestar el cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Price, J., & Murnan, J. (2004). *Limitaciones de la investigación y la necesidad de informarlas*. American Journal of Health Education.
- Abdollahpour, M. (2018,). *Desarrollo de un sistema de seguimiento solar de doble eje con visión artificial*. Iran: University of Mashhad.
- Aldo, Á. R. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. Lima: Universidad de Lima.
- Arturo, C. H. (2018). *Modelamiento, simulación y control comparativo de un panel solar con autoposicionamiento para la empresa Ayni SAC - Trujillo*. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Arturo, C. H. (2018). *MODELAMIENTO, SIMULACIÓN Y CONTROL COMPARATIVO DE UN PANEL SOLAR CON AUTOPOSICIONAMIENTO PARA LA EMPRESA AYNi SAC - TRUJILLO*. Trujillo, Perú: Universidad Nacional de Trujillo.
- Bahrami, A. (2016). *El efecto de la latitud sobre el rendimiento de diferentes rastreadores en Europa y África*. Turquía.
- Bahrami, A. (2018). *El patrón de rendimiento y clasificación de los sistemas fotovoltaicos incorporados con energía solar rastreadores en el hemisferio norte*. Turquía.
- Bardales, C. T. (2005). *El proyecto de investigación científica*. Lima-Perú: Ediciones del autor.
- Causas, D. (2014). *Definición de las variables, enfoque y tipode investigación*.
- Chekired, F. (2014). *Seguidores inteligentes del punto de máxima potencia para fotovoltaica aplicaciones que utilizan chip FPGA: un estudio comparativo*. Argelia.
- Contatto Rossi, V. E., da Silva, A. L., & Silva Fonseca, G. S. (2015). *ADESÃO AO TRATAMENTO MEDICAMENTOSO ENTRE PESSOAS COM DIABETES MELLITUS TIPO 2*. *Revista de Tratamiento Medico Oeste*, 1820-1830.
- Contreras, L. M. (2011). *Tendencias de los paradigmas de investigación en educación*. Caracas: niversidad Pedagógica Experimental Libertador.
- Eisman, L. B. (2012). *Métodos de investigación*. Madrid: McGraw-Hill.
- Escobar, G. D. (2014). *Guía Astronómica* . Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Espitia, H. E. (2013). *Diseño e implementación de controladores análogos para un seguidor solar*. Caldas Colombia: Visión Electrónica.

- Fathabadi, H. (2016). *Estudio comparativo entre dos novedosos sensores duales sin sensor y basados en sensores seguidores solares de eje*. Grecia.
- Fathabadi, H. (2016). *Novedoso sistema de seguimiento solar de doble eje sin sensores de alta precisión controlado por la unidad de seguimiento del punto de máxima potencia de fotovoltaica sistemas*. Grecia.
- Flores, L. J. (2018). *Método para la mejora del suministro sostenible de energía eléctrica renovable con celdas fotovoltaicas en las zonas rurales de la región Arequipa, 2018*. AREQUIPA - PERU: UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA.
- Gallegos, G. (2016). *Disponibilidad y características de la radiación solar en Latinoamérica*. Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional de Luján – Servicio Meteorológico Nacional.
- García Flores, A. N., Moyano Alulema, J. C., & Guamán Lozano, Á. G. (2018). *GESTIÓN ORGANIZACIONAL EN LA SATISFACCIÓN AL CLIENTE EN EL SECTOR HOTELERO EN BAÑOS DE AGUA SANTA*. 2(1).
- Hassaine, L. (2010). *Implementación de un Control Digital de Potencia Activa y Reactiva para Inversores. Aplicación a Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Red*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Hernandez Air, J. A., Fernandez Mendoza, J. J., & Baptista Arica, J. M. (2014). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN CIENTIFICA*. ARGENTINA: RUBELECSA.
- Hidalgo, L. (2020). Perú cuenta con solo siete centrales solares. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/centrales-solares-peru-cuenta-con-solo-siete-centrales-solares-con-una-potencia-de-24848-mw-noticia/>
- Hill, M. G. (2014). *Componentes de una instalación fotovoltaica*. Madrid-España: MC Gran Hill.
- Hill, M. G. (2018). *Componentes de una instalación fotovoltaica*. Madrid - España: Mc Griw Hill.
- Hurtado, E. (2006). *El requerimiento del marco epistemológico en las tesis de post grado*. Lima.
- Lamotte, B. V. (2009). *Guía para elaborar un anteproyecto de investigación*. Guadalajara: niversidad de Guadalajara.
- LARICO, J. A. (2018). *Método para la mejora del suministro sostenible de energía eléctrica renovable con celdas fotovoltaicas en las zonas rurales de la región Arequipa, 2018*. AREQUIPA - PERU: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

- Luque, L. W. (2017). *Diseño y simulación de un sistema energético fotovoltaico*. Puno – Perú: Universidad Nacional del Altiplano.
- Masih, A. (2018). *Comparación de rendimiento de Dual Axis Solar Rastreador con Sistema Solar Estático en la Región Ural de Rusia*. Rusia.
- Mejía, D. A. (2021). Control de posicionamiento de arreglos cuádruples de paneles solares por seguimiento solar utilizando lógica fuzzy. *South Florida Journal of Development, Miami*, 14.
- Mejía, E. (2010). Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para la Optimización de un Sistema Fotovoltaico. *Scientia Et Technica*, p.245-250.
- Mendoza Caloretti, J., & Soto Canchaya, M. (2017). *Condominio Sostenible en la Ciudad de Huancayo*. Lima: Universidad Ricardo palma.
- Mitrofanov, S. (2019). *Operation of solar power plant with solar tracker in orenburg region during the winter*. International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon).
- Montes, C. E. (2014). *Metodología de investigación tecnológica*. Huancayo, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Niño, M. D. (2022). *Taller de Tesis Doctoral - I*. Lima: Universidad Nacional del Callao.
- Ñaupas Paitán, H., Mejía Mejía, E., Novoa Ramírez, E., & Villagómez Paucar, A. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.
- Ochoa, F. R. (2012). *Diseño e Implementación de un Seguidor Solar para el Control Electrónico de un Reflector Scheffler*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ozerdem, & Shahin. (2014). *A PV Solar Tracking System Controlled By Arduino/Matlab/Simulink*. Turquía: Near East University, Lefkosa, Northern Cypru.
- Ramadan. (2020). Environmental Impacts on the Performance of Solar. *Sustainability*, 3.
- Raúl, H. B. (2017). *Estudio de factibilidad técnico-económico, para un sistema de generación eléctrica fotovoltaico del sitio la playita de la parroquia San Antonio*. Chone-Manabí-Ecuador: Universidad Laica.
- Robles Algarín, C., Ospino Castro, A., & Casas Naranjo, J. (2017). *Dual-Axis Solar Tracker for Using in Photovoltaic*. Colombia: Universidad del Magdalena.

- Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la investigación*. Ciudad de México: McGRAW-HILL.
- Sánchez, & Reyes. (2015). *Metodología y Diseños en la Investigación Científica*. Lima: Business Suport Aneth SRL .
- Saucedo, J. I. (2016). *Caracterización estructural y eléctrica de celdas fotovoltaicas de doble y triple capa*. Chihuahua - Mexico: entro de Investigación en Materiales Avanzados Departamento de Estudios de Posgrado.
- segib. (2017). Obtenido de <https://www.segib.org/agenda/foro-economico-mundial-2017>
- Serrano, A. A. (2010). *Métodos de investigación de enfoque experimental*. Madrid.
- Sierra, H. E. (2013). *Diseño e Implementación de Controladores Análogos para un Seguidor Solar*. Caldas, Colombia: Editorial Vision Electronica.
- Toranzo, N. M. (2015). *Seguidor Solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar*. Cuba: Aplicaciones industriales.
- Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación*. Universidad de La Sabana, Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.
- UNCP, N. (27 de Junio de 2019). Instalan paneles solares en la uncp para promover uso de energías renovables y buscar el cuidado del medio ambiente. *NOTICIA UNCP*, pág. 1. Obtenido de <http://intranet.uncp.edu.pe/?q=noticia/instalan-paneles-solares-en-la-uncp-para-promover-uso-de-energias-renovables-y-buscar-el>
- Vásquez Chigne, L. C., & Zúñiga Anticona, B. (2015). *Proyecto de Prefactibilidad para la Implementación de Energía Solar Fotovoltaica y Térmica en el Campamento Minero Comihuasa*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Vega-Malagón, G. (2014). *Paradigmas en la investigación. enfoque cuantitativo y cualitativo*. European Scientific Journal.
- Velilla, J. P. (2018). *Desarrollo de un prototipo mecatrónico de seguidor solar parabólico para la edificación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Viñas, L. P. (2015). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos*. Barcelona, España: Departamento de Ingeniería Electrónica Universitat Politècnica de Catalunya.
- Zúñiga, T. N. (2013). *Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica-aplicación en el Perú*. Lima-Perú: PAIDEIA XXI.

ANEXOS

1. Matriz de consistencia.

TÍTULO: “ANÁLISIS E INSTALACIÓN DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE SEGUIDORES SOLARES PARA INCREMENTAR LA GENERACIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, 2020

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODO
<p>Problema general: ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú 2020)</p>	<p>Objetivo general: Analizar e instalar diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Hipótesis general El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Variable : X (Independiente) Análisis de diferentes tecnologías de seguidores solares Estudiar los diferentes dispositivos adicionales a los sistemas fotovoltaicos con el fin de aumentar la captación de radiación solar.</p>	<p>Analizar las tecnologías de seguidores solares mediante la determinación del tipo de movimiento, elaboración del algoritmo de seguimiento y evaluación de la energía captada.</p>
<p>Problema específico N°1 ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la Incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?</p>	<p>Objetivo específico N°1 Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la Incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Hipótesis específico N°1 El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la Incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Variable Y: (Independiente) Instalación de seguidores solares. Montaje del seguidor solar en un lugar para que funcione correctamente o realice la función que le corresponde.</p>	<p>Instalar el seguidor solar mediante la ubicación del lugar, el diseño y construcción del equipo.</p>
<p>Problema específico N°2 ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares mejorará las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?</p>	<p>Objetivo específico N°2 Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para mejorar las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Hipótesis específico N°2 El análisis y la instalación de un seguidor solar mejorará las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Variable z: (Dependiente) Generación de potencia eléctrica Es la cantidad de energía eléctrica entregada por un sistema fotovoltaico en un momento determinado.</p>	<p>Medir la incidencia solar con un pirómetro, la variación de las magnitudes eléctricas con un analizador de redes y variación de la eficiencia del panel solar mediante fórmulas establecidas.</p>
<p>Problema específico N°3 ¿En qué medida el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?</p>	<p>Objetivo específico N°3 Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Hipótesis específico N°3 El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>		

ESLABONAMIENTO DE LA MATRIZ DE CONSISTENCIA CON LA MATRIZ COREA

TÍTULO: “ANÁLISIS E INSTALACIÓN DE DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE SEGUIDORES SOLARES PARA INCREMENTAR LA GENERACIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ, 2020					
MATRIZ DE CONSISTENCIA			MATRIZ COREA		
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES	APORTES
<p>Problema general: ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú 2020)</p>	<p>Objetivo general: Analizar e instalar diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Hipótesis general El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la generación de potencia eléctrica en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>El análisis y la instalación de seguidores solares en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú incrementa la generación de energía eléctrica.</p>	<p>Se recomienda el empleo de seguidores solares para mejorar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos instalados de forma fija.</p>	<p>La instalación de un seguidor solar astronómico en el sistema fotovoltaico estáticos conectado a red incrementa la generación de energía eléctrica en un 50% .</p>
<p>Problema específico N°1 ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la Incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?</p>	<p>Objetivo específico N°1 Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la Incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Hipótesis específico N°1 El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la Incidencia de la radiación solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>El empleo de estructura de aluminio, el panel de control, el dataloger y los motores con el encoder integrado y sensores de luz permiten el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares que permiten el incremento de incidencia de radiación en sistemas fotovoltaicos conectados a la red.</p>	<p>Se recomienda utilizar diferentes tecnologías de seguidores solares para conocer que tecnología permite mayor incidencia de radiación solar.</p>	<p>Se utilizó un dataloger para el registro de datos de radiación de las diferentes tecnologías de seguidores solares durante la experimentación garantizando datos adecuados si presencia de errores.</p>

<p>Problema específico N°2 ¿Cómo el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares mejorará las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?</p>	<p>Objetivo específico N°2 Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para mejorar las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Hipótesis específico N°2 El análisis y la instalación de un seguidor solar mejorará las magnitudes eléctricas en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Las magnitudes eléctricas de tensión, corriente y potencia se incrementaron cuando se utilizaron seguidores solares.</p>	<p>Se recomienda emplear un seguidor básico de un solo eje para mejorar los parámetros eléctricos de instalaciones fijas.</p>	<p>La utilización de seguidor astronómico permite el mayor incremento de parámetros eléctricos.</p>
<p>Problema específico N°3 ¿En qué medida el análisis e instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares incrementará la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020?</p>	<p>Objetivo específico N°3 Evaluar la instalación de diferentes tecnologías de seguidores solares para incrementar la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>Hipótesis específico N°3 El análisis y la instalación de un seguidor solar incrementará la eficiencia del panel solar en el sistema fotovoltaico conectado a red de la Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.</p>	<p>El empleo de diferentes seguidores solares incrementa la captura de irradiación en consecuencia se mejora la eficiencia del panel solar.</p>	<p>Se recomienda utilizar seguidores solares para mejorar la eficiencia de paneles solares.</p>	<p>Los seguidores astronómicos mejoran la eficiencia del panel aproximadamente en un 50% en comparación a un panel solar instalado de forma estática.</p>

2. Instrumentos de recolección de datos.

Instrumentos de recolección de datos para radiación solar

VALORES DE IRRADIACIÓN (W/m²)					
ITEM	TIEMPO	ESTATICO	UN EJE	DOS EJES	ASTRONOMICO
1	0:00:00				
2	0:01:00				
3	0:02:00				
.	.				
.	.				
.	.				
.	.				
.	.				
.	.				
.	.				
.	.				
.	.				
1054	23:51:00				
1055	23:52:00				
1056	23:54:00				
1057	23:56:00				
1058	23:57:00				
1059	23:58:00				

Instrumento de recolección de datos para energía eléctrica generada

ENERGIA GENERADO				
MESES	ESTÁTICO (kWh)	SEGUIDOR UN EJE (kWh)	SEGUIDOR DOS EJES (kWh)	SEGUIDOR ASTRONÓMICO (kWh)

3. Base de datos

VALORES DE IRRADIACIÓN (W/m2)					
ITEM	TIEMPO	RADIACIÓN	UN EJE	DOS EJES	ASTRONOMICO
1	0:00:00	0	0	0	0
2	0:01:00	0	0	0	0
3	0:02:00	0	0	0	0
4	0:03:00	0	0	0	0
5	0:04:00	0	0	0	0
6	0:05:00	0	0	0	0
7	0:06:00	0	0	0	0
8	0:07:00	0	0	0	0
9	0:08:00	0	0	0	0
10	0:10:00	0	0	0	0
11	0:11:00	0	0	0	0
12	0:13:00	0	0	0	0
13	0:14:00	0	0	0	0
14	0:15:00	0	0	0	0
15	0:16:00	0	0	0	0
16	0:18:00	0	0	0	0
17	0:20:00	0	0	0	0
18	0:23:00	0	0	0	0
19	0:25:00	0	0	0	0
20	0:27:00	0	0	0	0
21	0:28:00	0	0	0	0
22	0:29:00	0	0	0	0
23	0:31:00	0	0	0	0
24	0:33:00	0	0	0	0
25	0:34:00	0	0	0	0
26	0:35:00	0	0	0	0
27	0:36:00	0	0	0	0
28	0:38:00	0	0	0	0
29	0:40:00	0	0	0	0
30	0:46:00	0	0	0	0
31	0:47:00	0	0	0	0
32	0:49:00	0	0	0	0
33	0:55:00	0	0	0	0
34	0:56:00	0	0	0	0
35	1:00:00	0	0	0	0
36	1:01:00	0	0	0	0
37	1:03:00	0	0	0	0
38	1:05:00	0	0	0	0
39	1:07:00	0	0	0	0
40	1:09:00	0	0	0	0
41	1:10:00	0	0	0	0
42	1:13:00	0	0	0	0
43	1:14:00	0	0	0	0

44	1:15:00	0	0	0	0
45	1:16:00	0	0	0	0
46	1:18:00	0	0	0	0
47	1:21:00	0	0	0	0
48	1:22:00	0	0	0	0
49	1:24:00	0	0	0	0
50	1:31:00	0	0	0	0
51	1:32:00	0	0	0	0
52	1:35:00	0	0	0	0
53	1:40:00	0	0	0	0
54	1:41:00	0	0	0	0
55	1:42:00	0	0	0	0
56	1:44:00	0	0	0	0
57	1:45:00	0	0	0	0
58	1:47:00	0	0	0	0
59	1:48:00	0	0	0	0
60	1:51:00	0	0	0	0
61	1:54:00	0	0	0	0
62	1:55:00	0	0	0	0
63	1:56:00	0	0	0	0
64	1:57:00	0	0	0	0
65	1:59:00	0	0	0	0
66	2:00:00	0	0	0	0
67	2:01:00	0	0	0	0
68	2:02:00	0	0	0	0
69	2:04:00	0	0	0	0
70	2:05:00	0	0	0	0
71	2:08:00	0	0	0	0
72	2:09:00	0	0	0	0
73	2:11:00	0	0	0	0
74	2:12:00	0	0	0	0
75	2:15:00	0	0	0	0
76	2:18:00	0	0	0	0
77	2:19:00	0	0	0	0
78	2:21:00	0	0	0	0
79	2:22:00	0	0	0	0
80	2:23:00	0	0	0	0
81	2:24:00	0	0	0	0
82	2:26:00	0	0	0	0
83	2:28:00	0	0	0	0
84	2:29:00	0	0	0	0
85	2:32:00	0	0	0	0
86	2:33:00	0	0	0	0
87	2:34:00	0	0	0	0
88	2:35:00	0	0	0	0

89	2:37:00	0	0	0	0
90	2:40:00	0	0	0	0
91	2:43:00	0	0	0	0
92	2:44:00	0	0	0	0
93	2:46:00	0	0	0	0
94	2:52:00	0	0	0	0
95	2:53:00	0	0	0	0
96	2:54:00	0	0	0	0
97	2:58:00	0	0	0	0
98	2:59:00	0	0	0	0
99	3:01:00	0	0	0	0
100	3:04:00	0	0	0	0
101	3:05:00	0	0	0	0
102	3:06:00	0	0	0	0
103	3:07:00	0	0	0	0
104	3:08:00	0	0	0	0
105	3:10:00	0	0	0	0
106	3:11:00	0	0	0	0
107	3:14:00	0	0	0	0
108	3:15:00	0	0	0	0
109	3:16:00	0	0	0	0
110	3:21:00	0	0	0	0
111	3:22:00	0	0	0	0
112	3:23:00	0	0	0	0
113	3:24:00	0	0	0	0
114	3:27:00	0	0	0	0
115	3:28:00	0	0	0	0
116	3:34:00	0	0	0	0
117	3:35:00	0	0	0	0
118	3:37:00	0	0	0	0
119	3:38:00	0	0	0	0
120	3:39:00	0	0	0	0
121	3:40:00	0	0	0	0
122	3:41:00	0	0	0	0
123	3:43:00	0	0	0	0
124	3:44:00	0	0	0	0
125	3:47:00	0	0	0	0
126	3:49:00	0	0	0	0
127	3:50:00	0	0	0	0
128	3:52:00	0	0	0	0
129	3:55:00	0	0	0	0
130	3:56:00	0	0	0	0
131	4:04:00	0	0	0	0
132	4:07:00	0	0	0	0
133	4:08:00	0	0	0	0

134	4:09:00	0	0	0	0
135	4:12:00	0	0	0	0
136	4:13:00	0	0	0	0
137	4:14:00	0	0	0	0
138	4:15:00	0	0	0	0
139	4:16:00	0	0	0	0
140	4:17:00	0	0	0	0
141	4:18:00	0	0	0	0
142	4:19:00	0	0	0	0
143	4:22:00	0	0	0	0
144	4:23:00	0	0	0	0
145	4:24:00	0	0	0	0
146	4:25:00	0	0	0	0
147	4:27:00	0	0	0	0
148	4:29:00	0	0	0	0
149	4:31:00	0	0	0	0
150	4:32:00	0	0	0	0
151	4:36:00	0	0	0	0
152	4:38:00	0	0	0	0
153	4:39:00	0	0	0	0
154	4:43:00	0	0	0	0
155	4:46:00	0	0	0	0
156	4:48:00	0	0	0	0
157	4:49:00	0	0	0	0
158	4:50:00	0	0	0	0
159	4:51:00	0	0	0	0
160	4:55:00	0	0	0	0
161	4:57:00	0	0	0	0
162	4:58:00	0	0	0	0
163	5:05:00	0	0	0	0
164	5:06:00	0	0	0	0
165	5:07:00	0	0	0	0
166	5:08:00	0	0	0	0
167	5:09:00	0	0	0	0
168	5:12:00	0	0	0	0
169	5:13:00	0	0	0	0
170	5:15:00	0	0	0	0
171	5:16:00	0	0	0	0
172	5:17:00	0	0	0	0
173	5:21:00	0	0	0	0
174	5:23:00	0	0	0	0
175	5:24:00	0	0	0	0
176	5:26:00	0	0	0	0
177	5:27:00	0	0	0	0
178	5:29:00	0	0	0	0

179	5:30:00	0	0	0	0
180	5:31:00	0	0	0	0
181	5:33:00	0	0	0	0
182	5:34:00	0	0	0	0
183	5:35:00	0	0	0	0
184	5:38:00	0	0	0	0
185	5:40:00	0	0	0	0
186	5:41:00	0	0	0	0
187	5:45:00	0	0	0	0
188	5:47:00	0	0	0	0
189	5:48:00	0	0	0	0
190	5:49:00	0	0	0	0
191	5:54:00	0	0	0	0
192	5:55:00	0	0	0	0
193	5:56:00	0	0	0	0
194	5:57:00	0	0	0	0
195	5:59:00	0	0	0	0
196	6:00:00	0	0	0	0
197	6:03:00	0	0	0	0
198	6:04:00	0	0	0	0
199	6:05:00	0	0	0	0
200	6:06:00	0	0	0	0
201	6:07:00	0	0	0	0
202	6:08:00	0	0	0	0
203	6:09:00	0	0	0	0
204	6:10:00	0	0	0	0
205	6:11:00	0	0	0	0
206	6:12:00	0	0	0	0
207	6:13:00	0	0	0	0
208	6:15:00	0	0	0	0
209	6:16:00	0	0	0	0
210	6:17:00	0	0	0	0
211	6:18:00	0	0	0	0
212	6:19:00	0	0	0	0
213	6:22:00	0	0	0	0
214	6:24:00	0.02	8.3	9.18	12.02
215	6:25:00	0.04	8.4	10.55	54.26
216	6:26:00	0.05	8.7	14.88	67.57
217	6:27:00	0.07	10.3	27.33	76.95
218	6:28:00	0.08	12.4	28.61	89.33
219	6:29:00	0.1	13.7	33.38	94.68
220	6:30:00	0.12	14.7	34.61	100.54
221	6:31:00	0.14	17.6	39.35	120.15
222	6:32:00	0.16	18	40.48	135.99
223	6:33:00	0.18	22.24	42.6	146.48

224	6:34:00	0.2	23.78	48.7	165.6
225	6:35:00	0.23	24.23	50.89	180.75
226	6:36:00	0.5	26.78	54.67	204.11
227	6:37:00	0.56	27.45	61.52	211.2
228	6:38:00	0.61	30.23	62.45	212.93
229	6:39:00	0.66	32.24	65.34	215.64
230	6:40:00	0.71	35.23	72.13	222.69
231	6:41:00	0.75	42.78	74.55	224.27
232	6:42:00	0.79	43.47	75.54	225.71
233	6:43:00	0.84	48.28	83.97	233.99
234	6:44:00	0.87	54.56	84.45	234.94
235	6:45:00	0.91	65.75	93.55	243.36
236	6:46:00	0.95	72.53	95.76	250.11
237	6:47:00	1.02	74.53	98.9	248.63
238	6:48:00	1.1	76.01	104.05	254.31
239	6:49:00	1.22	79.38	108.2	258.9
240	6:50:00	1.48	82.99	109.24	259.42
241	6:51:00	1.8	85.29	110.27	260.86
242	6:52:00	2.03	94.92	114.68	264.28
243	6:54:00	2.29	96.4	120.73	270.77
244	6:56:00	2.56	100.73	135.33	285.46
245	6:58:00	2.79	101.9	137.88	287.63
246	6:59:00	2.99	102.46	138.62	288.06
247	7:01:00	3.56	103.44	140.16	290.64
248	7:03:00	4.45	104.99	153.9	303.62
249	7:04:00	4.97	110.55	154.53	304.14
250	7:05:00	5.6	112.7	158.2	308.73
251	7:06:00	6.27	114.59	160.3	310.43
252	7:07:00	6.95	118.3	170.9	320.12
253	7:08:00	7.68	122.6	183.7	333.95
254	7:09:00	8.51	124.9	184.7	334.86
255	7:12:00	10.05	127.1	185.16	335.6
256	7:13:00	10.7	130.4	187.2	337.49
257	7:14:00	11.37	133.6	199.8	349.74
258	7:15:00	12	134.8	200.2	350.57
259	7:16:00	12.65	136.7	210	360.63
260	7:17:00	13.38	138.7	220.8	370.1
261	7:18:00	14.14	141.8	235.3	385.89
262	7:19:00	14.98	143.9	248.2	398.65
263	7:20:00	15.82	152.4	250.1	401.85
264	7:21:00	16.84	153.1	266.7	417.83
265	7:22:00	17.88	154.3	267.6	416.04
266	7:23:00	19.03	158.4	268.3	415.69
267	7:24:00	20.19	163.7	269.9	415.12
268	7:25:00	21.36	161.2	270.67	419.31

269	7:26:00	22.53	162.7	271.7	420.01
270	7:27:00	23.91	165.2	272.3	422
271	7:28:00	25.46	176.7	273.5	424.57
272	7:29:00	26.65	177.4	274.7	424.91
273	7:30:00	27.97	178.1	275.4	425.57
274	7:31:00	29.56	179.9	279.7	430.81
275	7:32:00	31.06	181.4	281.2	429.13
276	7:33:00	33.12	183.1	283.78	432.37
277	7:34:00	34.97	184.8	284.9	433.18
278	7:36:00	38.12	188.6	288.7	436.68
279	7:37:00	41.29	191.1	291	439.1
280	7:38:00	43.6	193.7	293.8	440.32
281	7:39:00	46.09	196.3	296.1	441.8
282	7:40:00	49.27	199.7	299.2	444.05
283	7:42:00	51.66	201.1	301.6	440.76
284	7:43:00	54.72	204.2	304.6	455.55
285	7:44:00	56.45	206.2	306.6	454.99
286	7:46:00	58.96	208.6	308.3	457.82
287	7:47:00	61.88	211.4	311.2	459.68
288	7:48:00	64.28	214.5	314.8	463.7
289	7:49:00	65.89	215.7	315.5	455.51
290	7:50:00	68.5	218.5	318.2	466.8
291	7:51:00	72.47	222.7	322.9	469.9
292	7:52:00	76.5	226.6	326.1	474.2
293	7:53:00	79.73	229.7	329.5	473.1
294	7:54:00	82.52	232.4	332.7	480.28
295	7:55:00	85.21	235.7	335.8	483.3
296	7:56:00	86.91	236.41	336.1	482.4
297	7:57:00	90.15	240.2	340.1	487.4
298	7:58:00	94.21	244.4	344.1	493.7
299	7:59:00	97.42	247.9	347	492.2
300	8:00:00	101.89	251.8	351.1	498.1
301	8:01:00	104.65	254.6	354.3	500.3
302	8:02:00	108.76	258.5	358.3	503.5
303	8:03:00	112.82	262.6	362.3	506.7
304	8:04:00	114.47	264.5	364.7	506.9
305	8:05:00	118.89	268.6	368.1	515.8
306	8:06:00	123.17	273.4	373	519.7
307	8:07:00	126.52	276.6	376.32	523.7
308	8:08:00	129.72	279.2	379.9	526.4
309	8:09:00	133	283	383.9	532.2
310	8:10:00	136.47	286.7	386.1	533.9
311	8:11:00	140.13	290.3	390.2	537.7
312	8:12:00	143.95	293.51	393.5	545.2
313	8:13:00	146.52	296.7	396.1	544.3

314	8:14:00	148.41	298.9	398.7	545.2
315	8:15:00	151.06	301.5	401	550.7
316	8:16:00	154.54	304.6	404.9	553.9
317	8:17:00	157.75	307.5	407.1	551.8
318	8:18:00	161.54	311.5	411.4	559.1
319	8:19:00	165.72	315.1	415.9	564.8
320	8:20:00	171.81	321.9	421.4	570.07
321	8:21:00	174.5	324.9	424.5	570.6
322	8:22:00	178.31	328.9	428.1	576.84
323	8:23:00	180.81	330.3	430	578.6
324	8:24:00	184.42	334.1	434.1	583.2
325	8:25:00	186.87	336.7	436.9	585.6
326	8:26:00	190.8	340.8	440.1	591.6
327	8:27:00	195.92	345.8	445.6	594.9
328	8:28:00	197.4	347.6	447.9	594.1
329	8:29:00	199.63	349.8	449.4	598.6
330	8:31:00	200.09	350	450.3	598.4
331	8:32:00	210.44	360.1	460.6	611.2
332	8:33:00	213.91	363.7	463.9	612.1
333	8:34:00	216.49	366.1	466	614.3
334	8:35:00	221.96	371.9	471.29	620.4
335	8:36:00	227.28	377.3	477.3	626.1
336	8:37:00	232.82	382	482.1	633.9
337	8:38:00	243.5	393.9	493.1	640.5
338	8:39:00	243.25	393.3	493.3	642.5
339	8:40:00	242.38	392.7	492.3	641.1
340	8:41:00	248.03	398.8	498.6	647.9
341	8:42:00	255.15	405.9	505.2	654.9
342	8:43:00	260.99	410.7	510.8	659.9
343	8:44:00	264.63	414.1	514.4	654.7
344	8:45:00	268.58	418.2	518.1	667.3
345	8:46:00	277.29	427.3	527.7	674.6
346	8:47:00	278.04	428.3	528.1	676.4
347	8:48:00	282.02	432.8	532.8	679.37
348	8:49:00	286.07	436.7	536	681.17
349	8:50:00	288.28	438.5	538.7	684.2
350	8:51:00	291.36	441.4	541	687.1
351	8:52:00	294.99	444.4	544.99	690.4
352	8:53:00	296.59	446	546.8	693.6
353	8:54:00	299.69	449.1	549.8	698.5
354	8:55:00	302.19	452.1	552.1	701.1
355	8:57:00	306.6	456.7	556.8	703.1
356	8:58:00	311.41	461.2	561	709.9
357	8:59:00	319.95	469.1	569.7	714.4
358	9:00:00	327.82	477.1	577.3	725.7

359	9:01:00	328.61	478.9	578.3	726.7
360	9:02:00	334.56	484.8	584.3	732.1
361	9:03:00	337.59	487.7	587.4	735.3
362	9:04:00	340.73	490.2	590.7	738.2
363	9:05:00	347.93	497.4	597.7	739.1
364	9:06:00	348.94	498.9	598.1	740.5
365	9:07:00	364.45	514.9	614.5	744.7
366	9:08:00	371.74	521.74	621.6	748.8
367	9:09:00	373.91	523.81	623.5	751.1
368	9:10:00	376.46	526.56	626.3	752.6
369	9:11:00	376.17	526.57	626.3	753.3
370	9:12:00	378.24	528.94	628.7	758.3
371	9:13:00	384.25	534.55	634.6	760.1
372	9:14:00	388.08	538	638.5	750.9
373	9:15:00	392.06	542.9	642.5	768.5
374	9:16:00	399.06	549.1	649.3	770.63
375	9:17:00	400.84	550.1	650.4	774.74
376	9:18:00	405.33	555.9	655.8	775.5
377	9:19:00	403.41	553.4	653.6	776.24
378	9:21:00	409.11	559.4	659.4	782.23
379	9:22:00	409.22	559.5	659.9	784.51
380	9:23:00	411.49	561.3	661.6	789.64
381	9:24:00	413.29	563.3	663	804.23
382	9:25:00	415.14	565.3	665.9	813.14
383	9:26:00	415	565.3	665.8	814
384	9:27:00	420.75	570.7	670.6	818.9
385	9:29:00	432.17	582.8	682.9	820.14
386	9:30:00	433.68	583.7	683.8	824.7
387	9:31:00	439.01	589.3	689.9	825.2
388	9:32:00	443.39	593.7	693.3	828
389	9:33:00	445.16	595.5	695.1	830.3
390	9:34:00	449.26	599.5	699.2	834.9
391	9:35:00	447.03	597.7	697.8	835.4
392	9:36:00	456.63	606.9	706.6	836.7
393	9:37:00	457.12	607.4	707.5	838.4
394	9:38:00	467.88	617.2	717.3	840.8
395	9:39:00	475.63	625.9	725.3	842.8
396	9:40:00	482.22	632.8	732.9	843.6
397	9:41:00	484.41	634.2	734.7	844.4
398	9:43:00	484.41	634.2	734.3	846.1
399	9:44:00	493.36	643.4	743.1	847.7
400	9:45:00	486.8	636.5	736.67	848.3
401	9:46:00	483.41	633.1	733.7	848.2
402	9:47:00	493.95	643.2	743.7	848.6
403	9:48:00	502.19	652.4	752.87	848

714	15:42:00	542.08	692.3	793.84	875.89
715	15:43:00	545.14	695.5	792.7	875.46
716	15:44:00	544.84	694.6	791.74	880.96
717	15:45:00	539.89	689.1	787.2	885.41
718	15:46:00	542.84	692.6	786.2	890.12
719	15:48:00	542.91	692.5	785.5	897.8
720	15:49:00	536.38	686.3	784.8	892
721	15:50:00	530.43	680.8	783.2	885.9
722	15:51:00	520.88	670.6	778.8	886
723	15:52:00	508.07	658	767.1	882.7
724	15:53:00	482.27	632.9	750.4	879.2
725	15:54:00	473.87	623	747.42	862.1
726	15:55:00	463	613	741.6	858.3
727	15:58:00	468.92	618	734.4	854.1
728	16:00:00	464.25	614	728.32	850.3
729	16:03:00	475.55	625.4	724.1	844.1
730	16:04:00	467	617.8	721.8	840.1
731	16:05:00	467.28	617.2	712.18	837
732	16:06:00	449.53	599.2	700.15	832.7
733	16:07:00	443.55	593.9	697.18	828.7
734	16:08:00	441.59	591	692.2	824
735	16:09:00	440.32	590	687.2	820
736	16:10:00	429.99	579	674.3	811.5
737	16:11:00	428.2	578	673.6	808.4
738	16:12:00	422.83	572.02	672.1	800.9
739	16:13:00	422.11	572.07	671.91	797.2
740	16:15:00	417.12	567.2	668.8	794.4
741	16:16:00	419.13	569.26	666.1	791.3
742	16:17:00	402.32	552.36	658.12	787.7
743	16:18:00	396.25	546.42	655.1	784.1
744	16:19:00	400.94	550.38	654.7	779.7
745	16:21:00	403.35	553.35	652.6	776.7
746	16:22:00	394.6	544.37	648.8	773.4
747	16:23:00	383.28	533.3	646.8	769.2
748	16:24:00	388.83	538.37	644.87	765.8
749	16:25:00	390.01	540.5	639.2	762.2
750	16:26:00	385.53	535.42	634.1	751.7
751	16:28:00	381.57	531.41	629.35	748.2
752	16:29:00	385.33	535.4	622.9	744.1
753	16:31:00	365.22	515.4	610.2	738.4
754	16:32:00	357.7	507.33	604.1	734.9
755	16:33:00	354.97	504.44	603.9	731.6
756	16:34:00	354.14	504.51	602.7	727.7
757	16:35:00	357.09	507.57	597.2	724.1
758	16:36:00	341.87	500.62	591.8	719

759	16:37:00	342.3	497.57	592.9	715.9
760	16:40:00	340.02	494.45	590.2	713.4
761	16:41:00	334.78	491.41	584.82	709.6
762	16:42:00	329.17	487.47	579.5	729.17
763	16:43:00	324.65	484.34	574.1	724.58
764	16:44:00	313.02	479.7	563.8	723.6
765	16:45:00	307.56	476.7	557.1	708.7
766	16:46:00	299.24	473.4	549.1	698.2
767	16:47:00	296.44	469.2	546.44	693.4
768	16:48:00	290.92	465.8	540.5	689.7
769	16:49:00	281.68	462.2	531.3	687.4
770	16:50:00	282.6	451.7	532.6	681.3
771	16:52:00	282.92	448.2	532.3	680.4
772	16:53:00	286.85	444.1	536.5	679.21
773	16:54:00	285.88	438.4	535.9	675.7
774	16:55:00	288.36	434.9	538.3	677.7
775	16:56:00	283.65	431.6	533.9	672.5
776	16:57:00	278.98	427.7	528.8	677.8
777	16:58:00	276.67	424.1	526.8	675.1
778	16:59:00	274.11	419	524.2	673.7
779	17:00:00	274.22	415.9	524.8	665.2
780	17:01:00	267.01	413.4	517.8	663.6
781	17:02:00	258.67	409.6	508.2	659.1
782	17:03:00	265	405.4	515	655.7
783	17:04:00	253.79	401	503.3	651.1
784	17:05:00	248.07	397.5	498.04	647.6
785	17:06:00	243.63	393.7	493.5	643.2
786	17:07:00	240.43	389.9	490	639.5
787	17:08:00	234.04	386.3	484.5	636.1
788	17:09:00	235.58	383	485.4	633
789	17:10:00	243.85	379.7	493.3	629.7
790	17:11:00	242.81	375.7	492.9	625.7
791	17:12:00	241.04	371.7	491.9	621.7
792	17:13:00	236.72	368	486.3	618
793	17:14:00	234.04	365.3	484.23	615.3
794	17:15:00	238.31	361.9	488.7	611.9
795	17:16:00	227.61	358.2	477.8	608.2
796	17:17:00	211.24	353.8	461.4	603.8
797	17:18:00	209.67	349.4	459.2	599.4
798	17:19:00	215.21	340	465.2	590
799	17:20:00	216.91	335.8	466.3	585.8
800	17:21:00	208.76	328.1	458.1	578.1
801	17:22:00	207.65	324.8	457.7	574.8
802	17:23:00	203.6	316.7	453.1	566.7
803	17:24:00	203.03	312.4	453.1	562.4

804	17:26:00	199.8	309	449.8	559
805	17:27:00	189.72	305.2	439.3	555.2
806	17:28:00	186.71	301	436.3	551
807	17:29:00	179.91	296.6	429.9	546.6
808	17:30:00	175.27	292.3	425.8	542.3
809	17:31:00	167.14	289	417.35	539
810	17:32:00	159.57	285.6	409.78	535.6
811	17:33:00	154.46	281.8	404.72	531.8
812	17:34:00	156.3	277.8	406.98	527.8
813	17:35:00	155.52	273.5	405.82	523.5
814	17:36:00	150.02	269.1	400.55	519.1
815	17:37:00	144.26	261.6	394.47	511.6
816	17:38:00	137.39	258	387.3	508
817	17:39:00	133.88	249.6	383.26	499.6
818	17:40:00	131.77	246	381.84	496
819	17:43:00	123.94	238.1	373.01	488.1
820	17:44:00	117.25	233.9	367.33	483.9
821	17:45:00	111.61	229.8	361.51	479.8
822	17:46:00	110.55	225.9	360.51	475.9
823	17:47:00	107.93	217.4	357.58	467.4
824	17:48:00	101.95	214	351.45	464
825	17:49:00	97.62	210.4	347.34	460.4
826	17:50:00	95.51	206.7	345.44	456.7
827	17:51:00	92.13	199	342.69	449
828	17:53:00	89.38	195.1	339.9	445.1
829	17:55:00	86.33	191.2	336.97	441.2
830	17:56:00	83.51	187.5	333.13	437.5
831	17:57:00	79.1	183.3	329.28	433.3
832	17:58:00	76.25	179.6	326.33	429.6
833	17:59:00	77.04	176.1	327.34	426.1
834	18:00:00	76.29	171.2	326.88	421.2
835	18:01:00	70.86	174.23	320.65	420.36
836	18:02:00	68.24	174.2	318.09	419.86
837	18:03:00	65.59	173.89	315.25	418.34
838	18:05:00	61.95	173.26	311.23	410.27
839	18:06:00	58.03	173.45	308.38	415.07
840	18:07:00	54.95	160	304.49	400.89
841	18:08:00	53.16	160.12	303.66	398.03
842	18:09:00	51.78	158.23	301.84	385.43
843	18:10:00	49.65	157.24	299.28	374.56
844	18:11:00	46.98	143.5	296.21	364.15
845	18:12:00	45.91	142.21	295.35	350.64
846	18:15:00	43.63	132.4	293.61	340.32
847	18:16:00	41.16	131.89	290.03	330.12
848	18:17:00	38.48	128.25	280.5	320.74

849	18:18:00	35.68	127.45	270.73	300.58
850	18:19:00	32.9	124.3	260.32	287.54
851	18:21:00	30.82	119.24	250.17	270.45
852	18:22:00	29.05	118.24	240.96	260.14
853	18:24:00	27.26	118.23	230.33	255.47
854	18:25:00	25.53	112.3	220.75	243.2
855	18:27:00	23.83	110.5	210.63	230.15
856	18:28:00	22.62	104	200.25	220.89
857	18:29:00	21.78	100	190.08	200.45
858	18:31:00	20.86	98.3	180.29	180.7
859	18:32:00	19.91	98.42	170.64	169.9
860	18:33:00	19.04	90.47	160.12	158.3
861	18:34:00	18.1	87.39	150.21	155.8
862	18:35:00	16.87	72.47	140.47	145.6
863	18:36:00	15.45	64.4	130.23	135.9
864	18:39:00	14.24	53.6	120.13	125.4
865	18:42:00	12.96	48.4	110.8	115.98
866	18:43:00	11.98	32.3	100.04	100.9
867	18:45:00	11.16	22.7	90.9	90.9
868	18:46:00	10.32	21.3	80.11	80.8
869	18:47:00	9.54	19.5	70.17	70.3
870	18:49:00	8.89	17.85	60.25	60.12
871	18:52:00	8.18	16.9	50.76	50.12
872	18:53:00	7.36	15.7	40.67	40.96
873	18:56:00	6.53	14.4	30.21	30.19
874	18:57:00	5.76	13.3	20.77	20.97
875	18:58:00	5.03	12.2	10.88	10.95
876	19:00:00	4.49	10.4	9.06	9.5
877	19:01:00	0	0	0	0
878	19:03:00	0	0	0	0
879	19:06:00	0	0	0	0
880	19:07:00	0	0	0	0
881	19:09:00	0	0	0	0
882	19:11:00	0	0	0	0
883	19:12:00	0	0	0	0
884	19:13:00	0	0	0	0
885	19:15:00	0	0	0	0
886	19:17:00	0	0	0	0
887	19:19:00	0	0	0	0
888	19:23:00	0	0	0	0
889	19:24:00	0	0	0	0
890	19:27:00	0	0	0	0
891	19:28:00	0	0	0	0
892	19:30:00	0	0	0	0
893	19:34:00	0	0	0	0

894	19:36:00	0	0	0	0
895	19:37:00	0	0	0	0
896	19:42:00	0	0	0	0
897	19:43:00	0	0	0	0
898	19:44:00	0	0	0	0
899	19:45:00	0	0	0	0
900	19:48:00	0	0	0	0
901	19:49:00	0	0	0	0
902	19:53:00	0	0	0	0
903	19:54:00	0	0	0	0
904	19:55:00	0	0	0	0
905	19:56:00	0	0	0	0
906	19:58:00	0	0	0	0
907	19:59:00	0	0	0	0
908	20:01:00	0	0	0	0
909	20:03:00	0	0	0	0
910	20:06:00	0	0	0	0
911	20:09:00	0	0	0	0
912	20:10:00	0	0	0	0
913	20:11:00	0	0	0	0
914	20:12:00	0	0	0	0
915	20:13:00	0	0	0	0
916	20:15:00	0	0	0	0
917	20:16:00	0	0	0	0
918	20:18:00	0	0	0	0
919	20:21:00	0	0	0	0
920	20:22:00	0	0	0	0
921	20:24:00	0	0	0	0
922	20:25:00	0	0	0	0
923	20:26:00	0	0	0	0
924	20:27:00	0	0	0	0
925	20:29:00	0	0	0	0
926	20:30:00	0	0	0	0
927	20:31:00	0	0	0	0
928	20:32:00	0	0	0	0
929	20:34:00	0	0	0	0
930	20:35:00	0	0	0	0
931	20:36:00	0	0	0	0
932	20:37:00	0	0	0	0
933	20:39:00	0	0	0	0
934	20:40:00	0	0	0	0
935	20:41:00	0	0	0	0
936	20:42:00	0	0	0	0
937	20:43:00	0	0	0	0
938	20:45:00	0	0	0	0

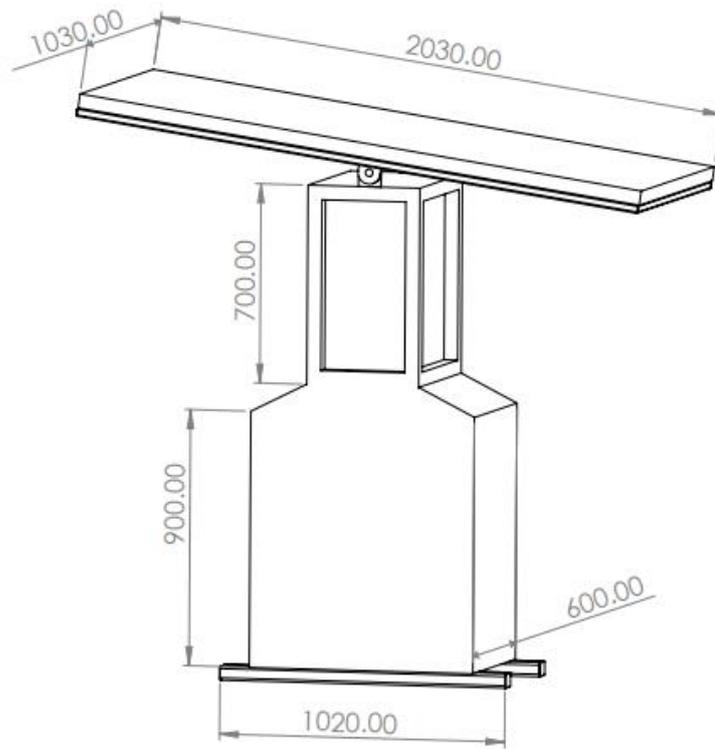
939	20:46:00	0	0	0	0
940	20:47:00	0	0	0	0
941	20:48:00	0	0	0	0
942	20:51:00	0	0	0	0
943	20:52:00	0	0	0	0
944	20:53:00	0	0	0	0
945	20:56:00	0	0	0	0
946	20:58:00	0	0	0	0
947	21:00:00	0	0	0	0
948	21:03:00	0	0	0	0
949	21:06:00	0	0	0	0
950	21:09:00	0	0	0	0
951	21:10:00	0	0	0	0
952	21:12:00	0	0	0	0
953	21:13:00	0	0	0	0
954	21:17:00	0	0	0	0
955	21:18:00	0	0	0	0
956	21:19:00	0	0	0	0
957	21:22:00	0	0	0	0
958	21:24:00	0	0	0	0
959	21:26:00	0	0	0	0
960	21:29:00	0	0	0	0
961	21:32:00	0	0	0	0
962	21:33:00	0	0	0	0
963	21:34:00	0	0	0	0
964	21:36:00	0	0	0	0
965	21:38:00	0	0	0	0
966	21:40:00	0	0	0	0
967	21:41:00	0	0	0	0
968	21:42:00	0	0	0	0
969	21:45:00	0	0	0	0
970	21:46:00	0	0	0	0
971	21:47:00	0	0	0	0
972	21:50:00	0	0	0	0
973	21:51:00	0	0	0	0
974	21:52:00	0	0	0	0
975	21:53:00	0	0	0	0
976	21:55:00	0	0	0	0
977	21:56:00	0	0	0	0
978	21:57:00	0	0	0	0
979	21:58:00	0	0	0	0
980	22:00:00	0	0	0	0
981	22:02:00	0	0	0	0
982	22:03:00	0	0	0	0
983	22:04:00	0	0	0	0

984	22:05:00	0	0	0	0
985	22:08:00	0	0	0	0
986	22:10:00	0	0	0	0
987	22:12:00	0	0	0	0
988	22:13:00	0	0	0	0
989	22:15:00	0	0	0	0
990	22:18:00	0	0	0	0
991	22:19:00	0	0	0	0
992	22:20:00	0	0	0	0
993	22:22:00	0	0	0	0
994	22:24:00	0	0	0	0
995	22:25:00	0	0	0	0
996	22:26:00	0	0	0	0
997	22:27:00	0	0	0	0
998	22:28:00	0	0	0	0
999	22:29:00	0	0	0	0
1000	22:30:00	0	0	0	0
1001	22:31:00	0	0	0	0
1002	22:32:00	0	0	0	0
1003	22:33:00	0	0	0	0
1004	22:36:00	0	0	0	0
1005	22:37:00	0	0	0	0
1006	22:38:00	0	0	0	0
1007	22:39:00	0	0	0	0
1008	22:41:00	0	0	0	0
1009	22:44:00	0	0	0	0
1010	22:45:00	0	0	0	0
1011	22:47:00	0	0	0	0
1012	22:48:00	0	0	0	0
1013	22:50:00	0	0	0	0
1014	22:53:00	0	0	0	0
1015	22:55:00	0	0	0	0
1016	22:56:00	0	0	0	0
1017	22:57:00	0	0	0	0
1018	23:01:00	0	0	0	0
1019	23:03:00	0	0	0	0
1020	23:04:00	0	0	0	0
1021	23:06:00	0	0	0	0
1022	23:08:00	0	0	0	0
1023	23:09:00	0	0	0	0
1024	23:10:00	0	0	0	0
1025	23:12:00	0	0	0	0
1026	23:13:00	0	0	0	0
1027	23:16:00	0	0	0	0
1028	23:17:00	0	0	0	0

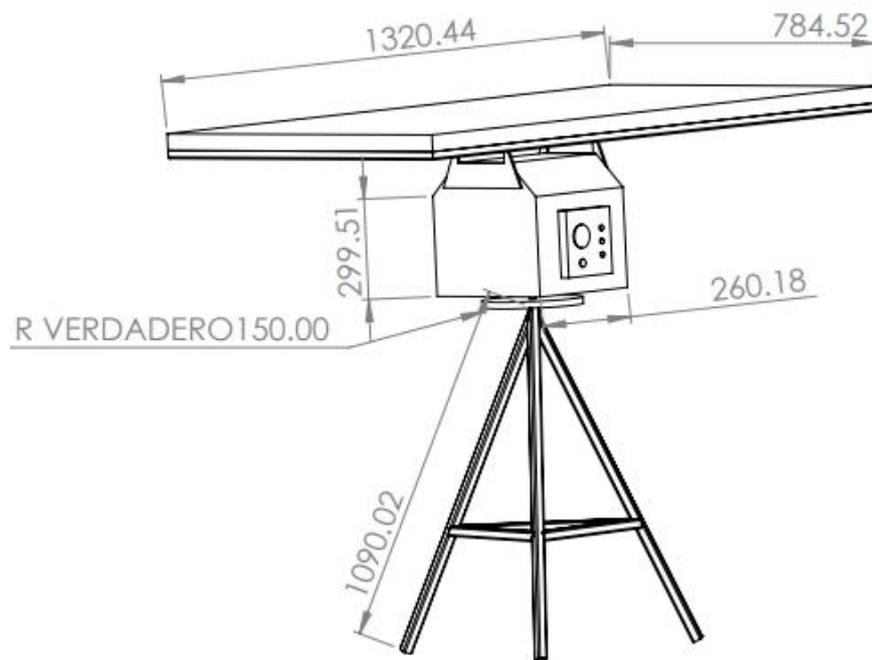
1029	23:18:00	0	0	0	0
1030	23:19:00	0	0	0	0
1031	23:21:00	0	0	0	0
1032	23:23:00	0	0	0	0
1033	23:25:00	0	0	0	0
1034	23:26:00	0	0	0	0
1035	23:27:00	0	0	0	0
1036	23:28:00	0	0	0	0
1037	23:30:00	0	0	0	0
1038	23:31:00	0	0	0	0
1039	23:32:00	0	0	0	0
1040	23:33:00	0	0	0	0
1041	23:35:00	0	0	0	0
1042	23:37:00	0	0	0	0
1043	23:38:00	0	0	0	0
1044	23:39:00	0	0	0	0
1045	23:40:00	0	0	0	0
1046	23:41:00	0	0	0	0
1047	23:42:00	0	0	0	0
1048	23:43:00	0	0	0	0
1049	23:44:00	0	0	0	0
1050	23:45:00	0	0	0	0
1051	23:48:00	0	0	0	0
1052	23:51:00	0	0	0	0
1053	23:52:00	0	0	0	0
1054	23:54:00	0	0	0	0
1055	23:56:00	0	0	0	0
1056	23:57:00	0	0	0	0
1057	23:58:00	0	0	0	0

4. Plano de seguidores

Seguidor solar de un eje:

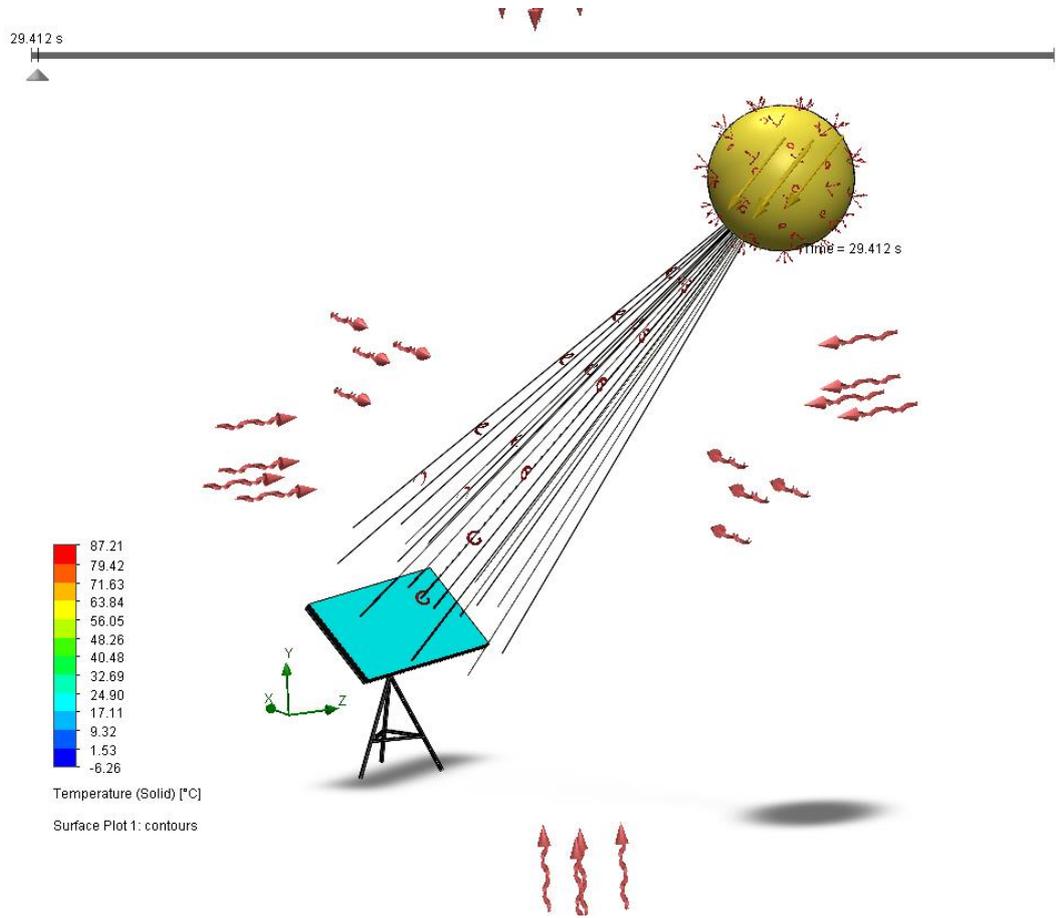


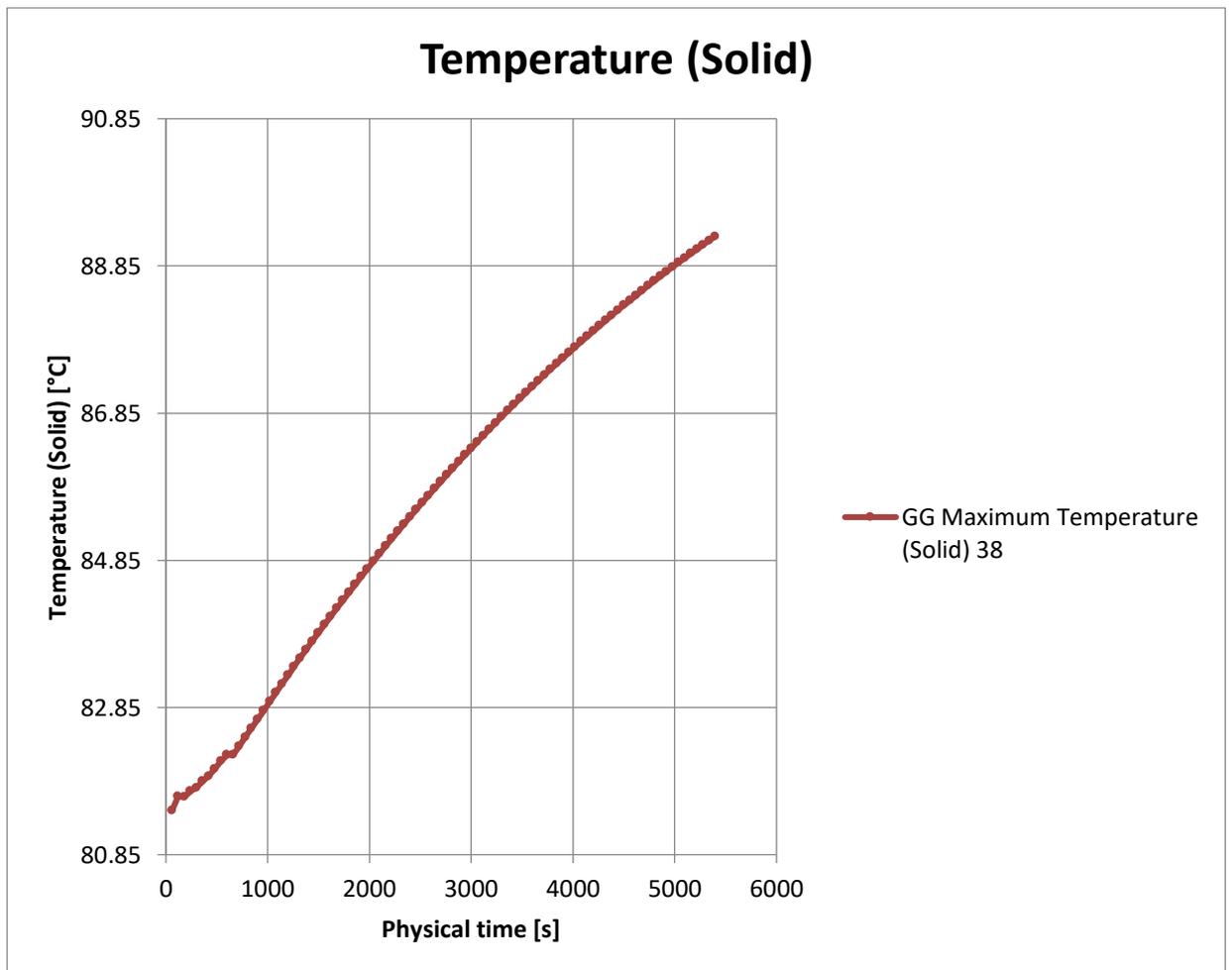
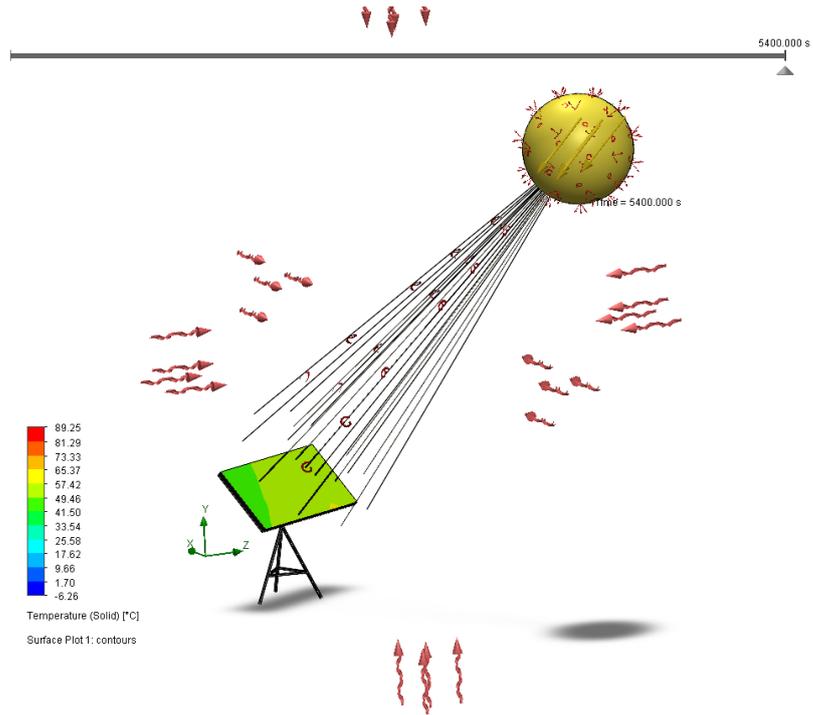
Seguidor solar dos ejes:



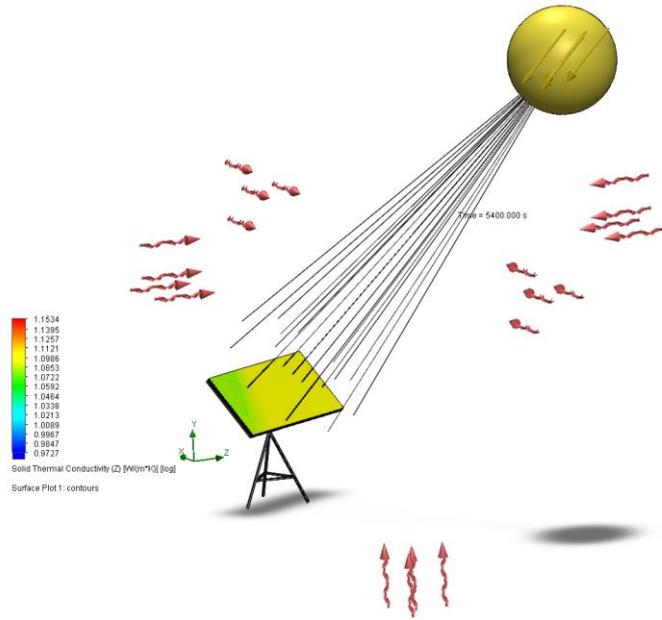
5. Pruebas de simulación de los paneles solares

Pruebas de simulación del panel estático prueba de temperatura en superficie

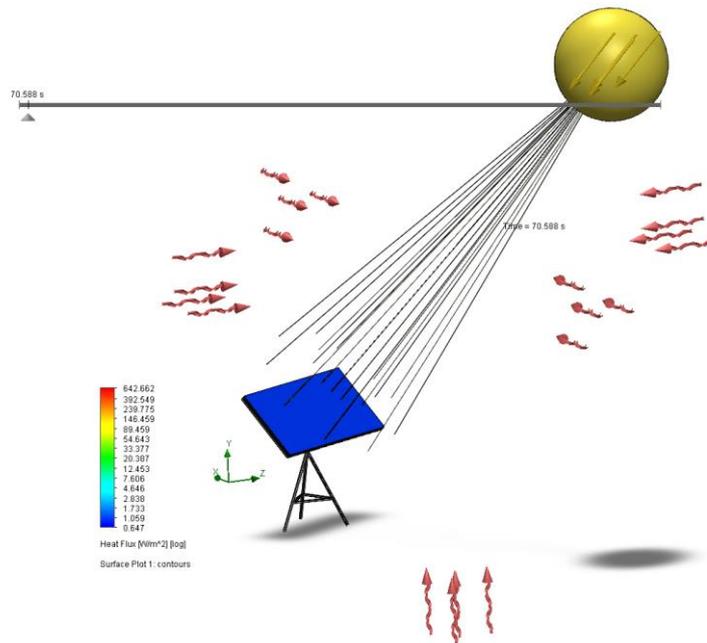


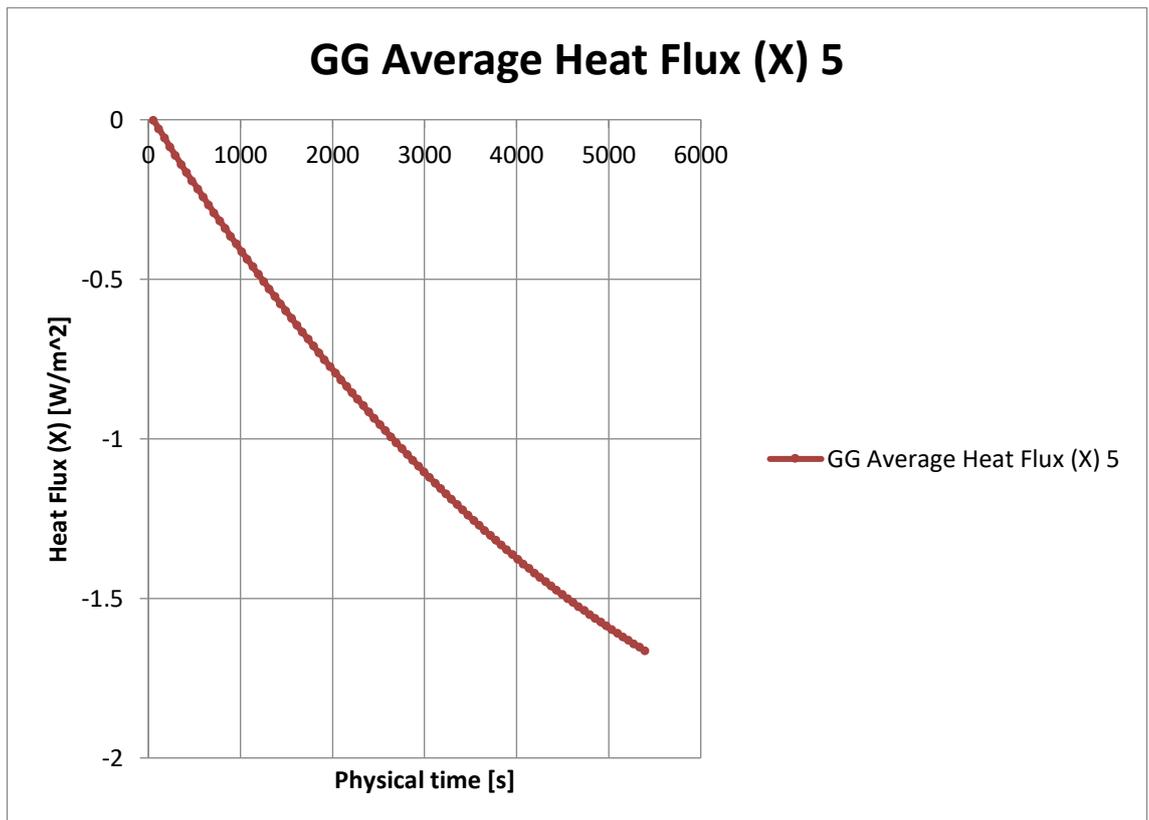
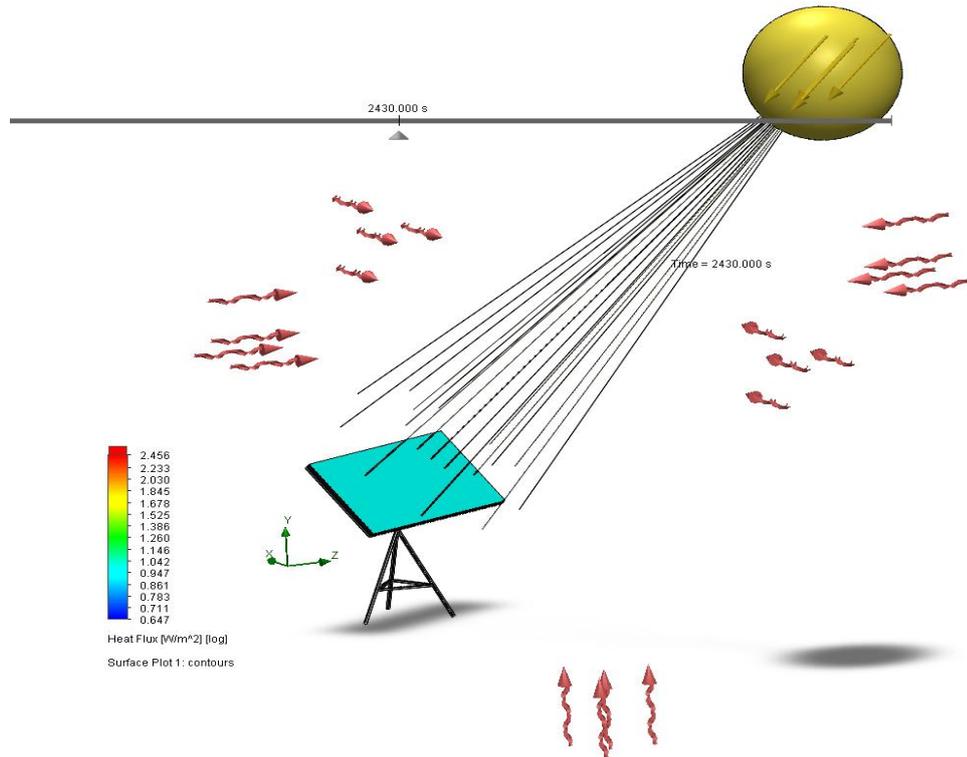


PRUEBA DE $W/(m \cdot K)$

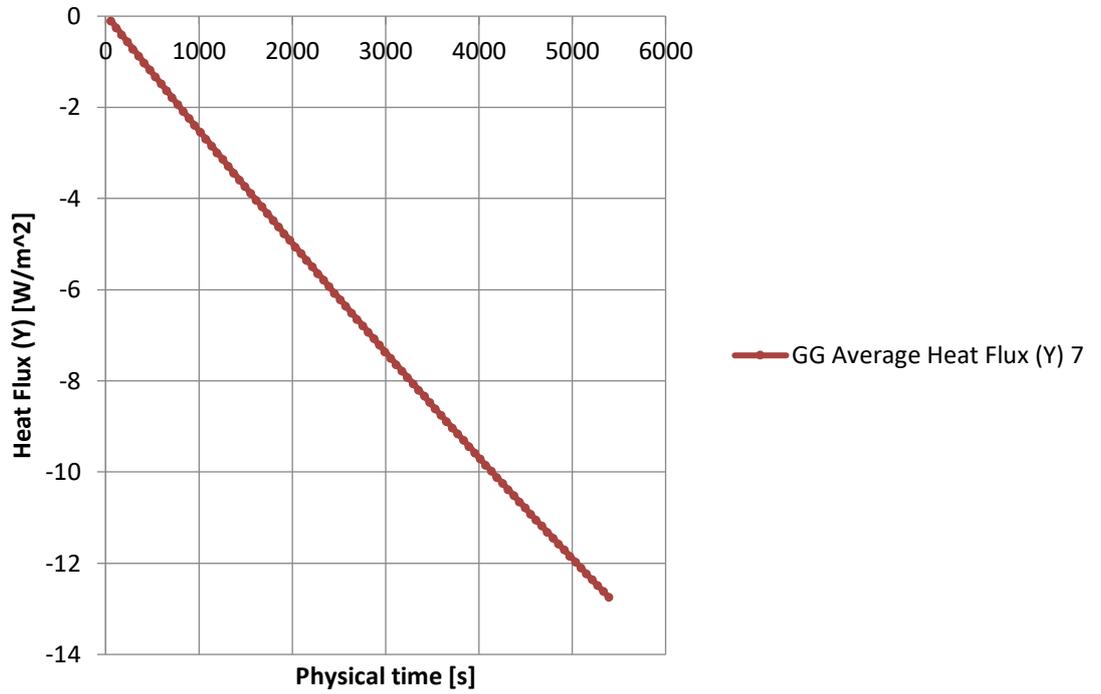


PRUEBA DE $W/(m^2)$

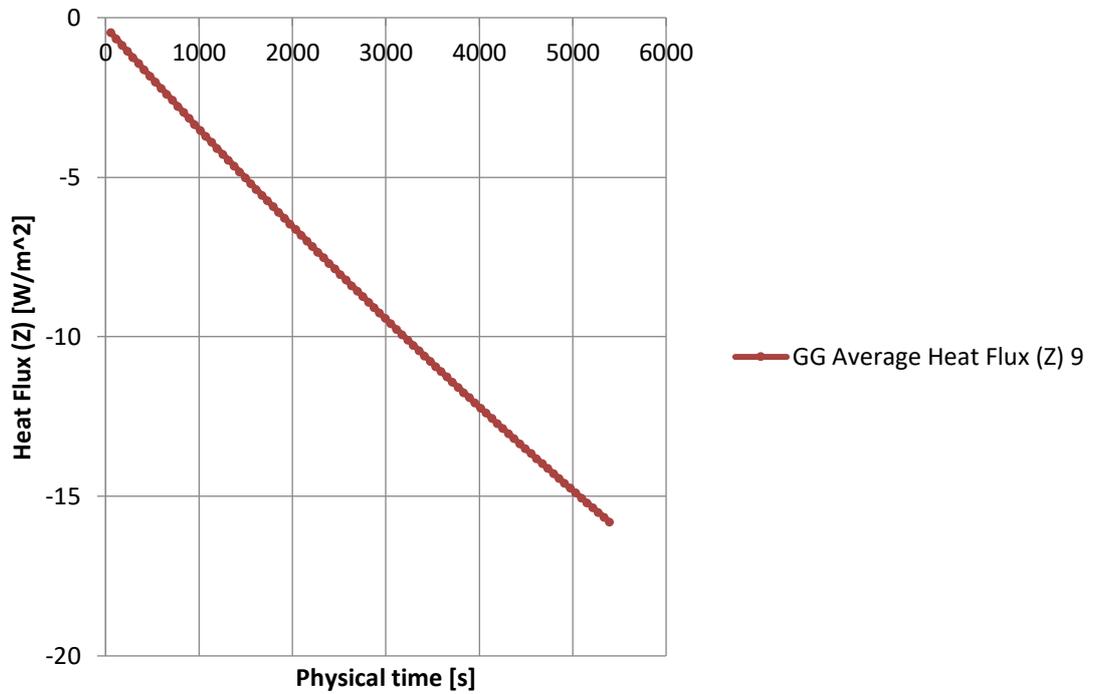


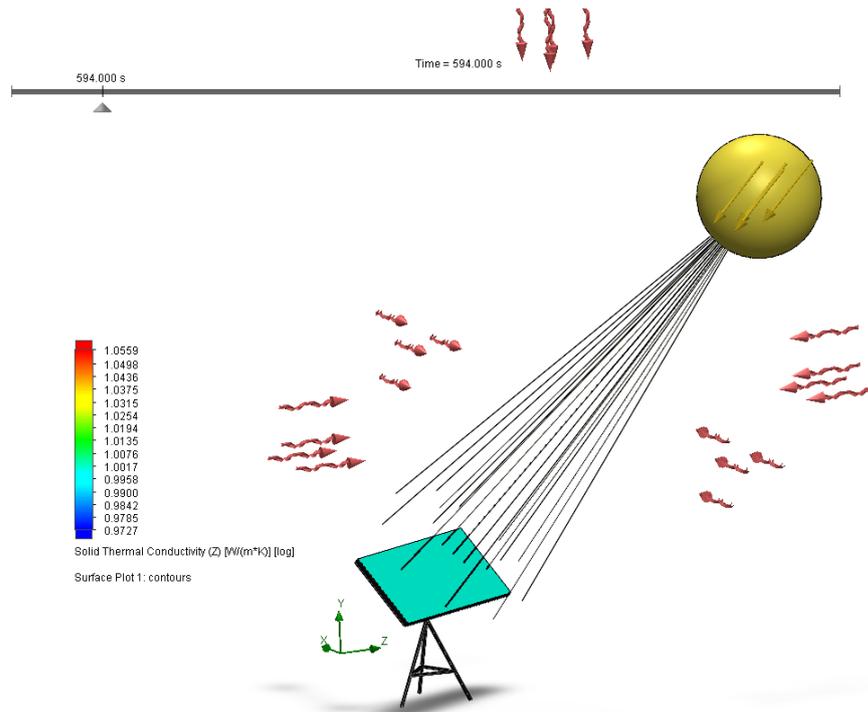


GG Average Heat Flux (Y) 7



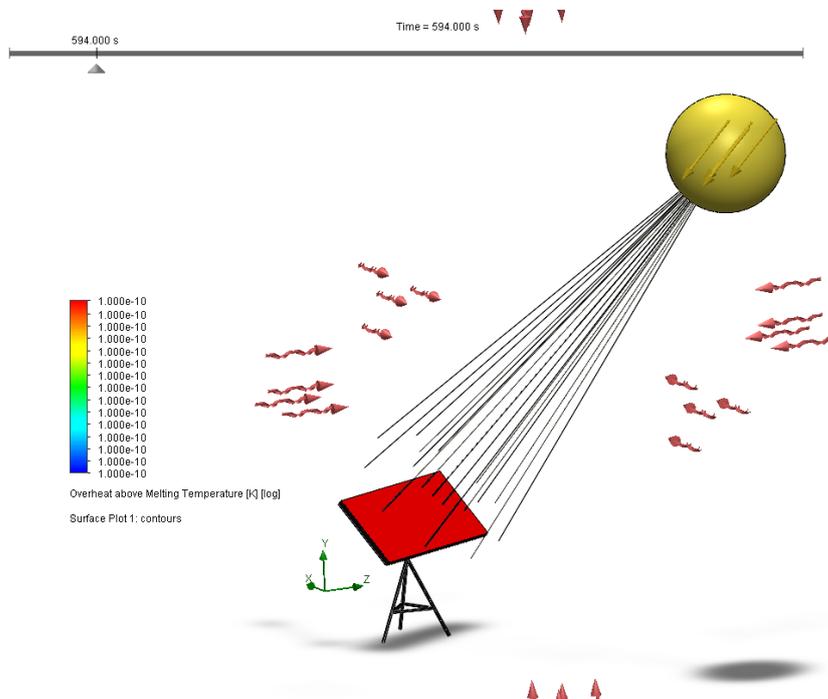
GG Average Heat Flux (Z) 9



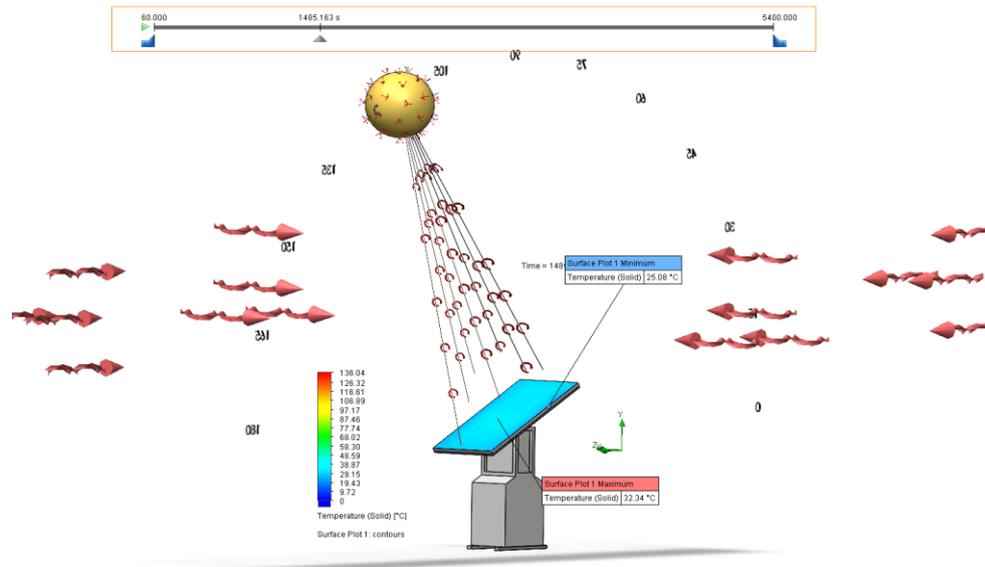


NO HAY VARIACIÓN EN EL TIEMPO

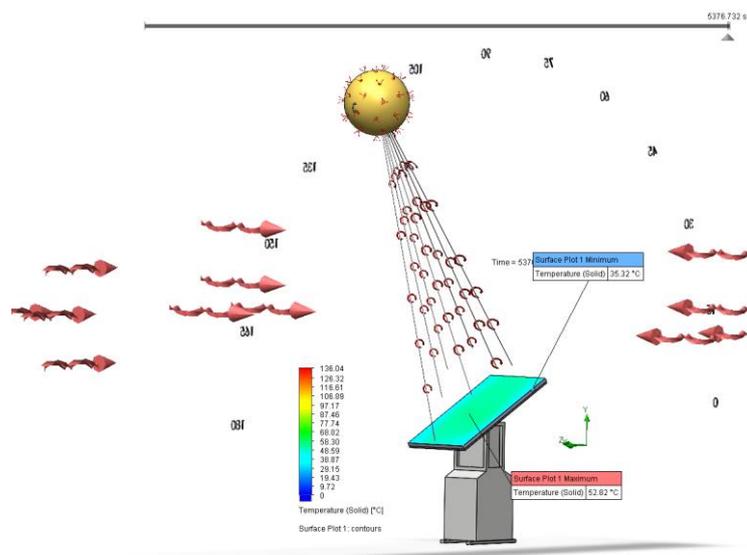
PRUEBA SOBRECALENTAMIENTO



Pruebas de simulación del panel de 1 Eje de movimiento prueba de temperatura en superficie

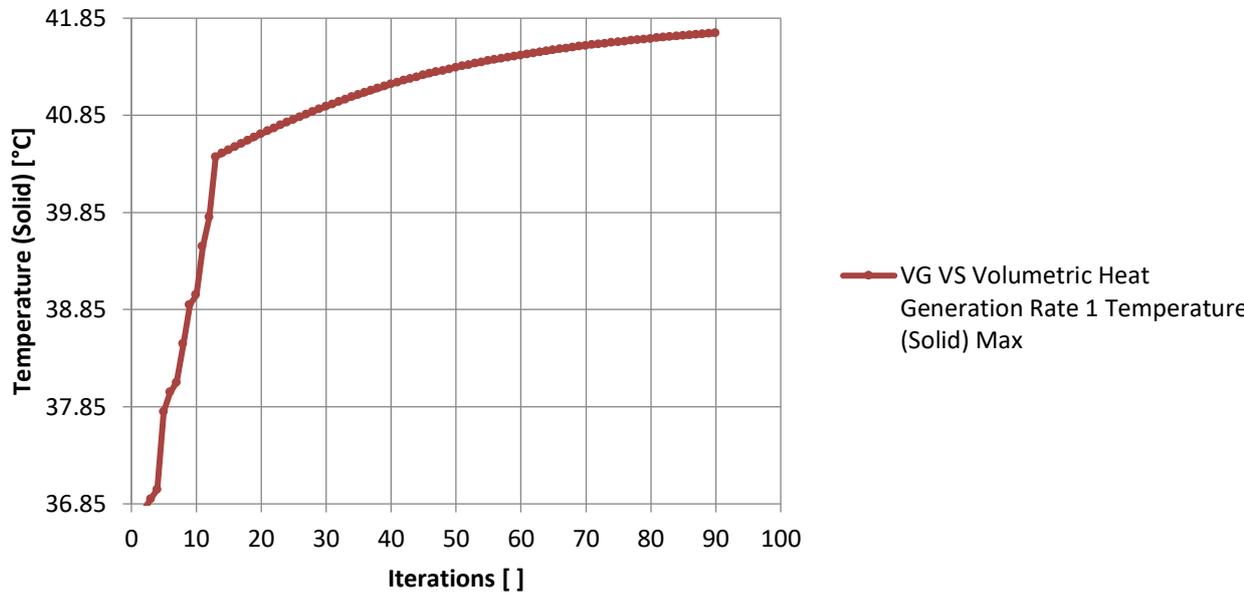


INICIO

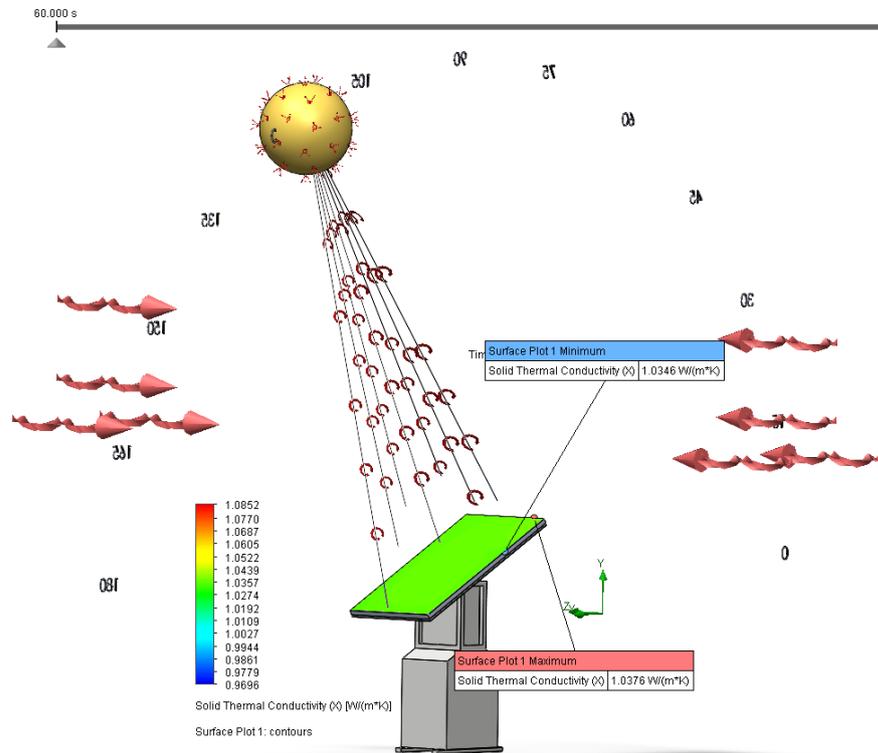


DESPUES DE 90 MINUTOS

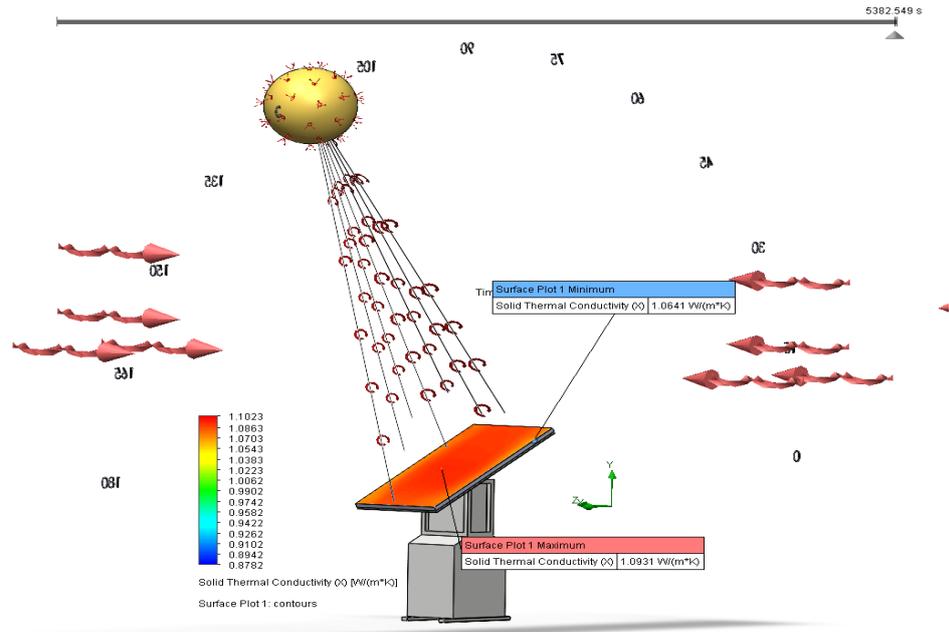
Temperature (Solid) Max



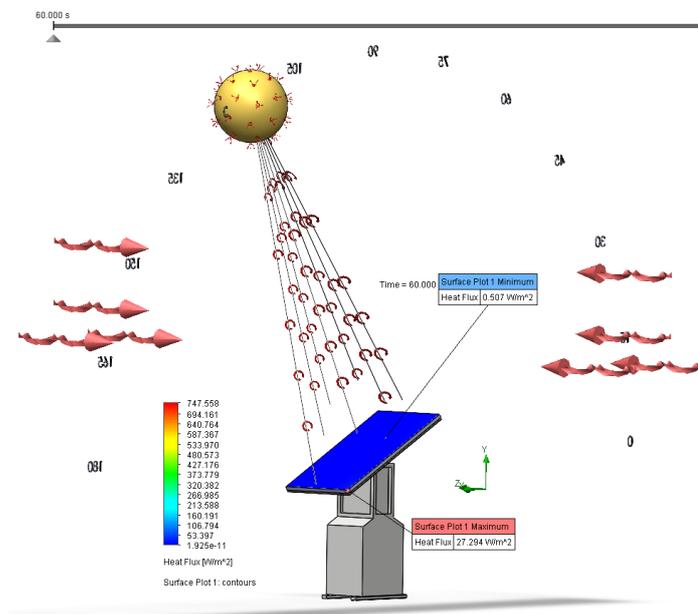
PRUEBA DE W/(m*K)



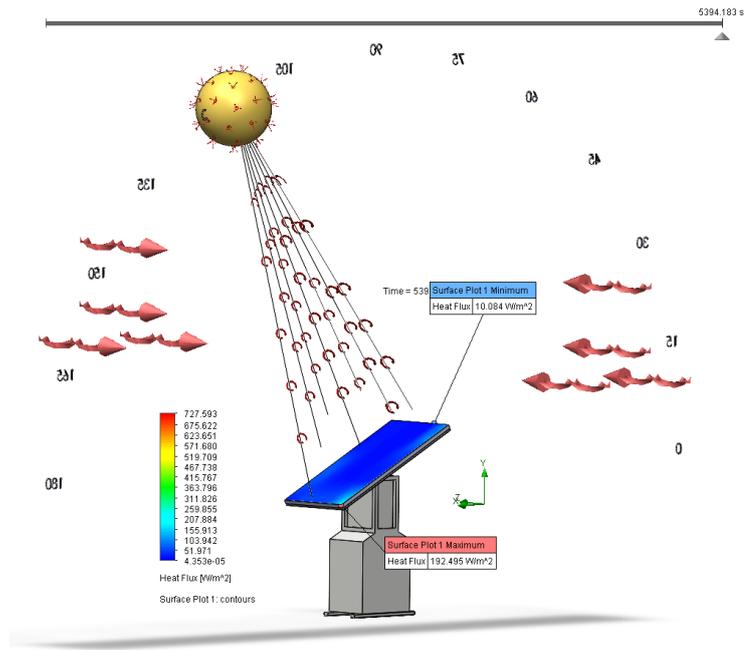
INICIO



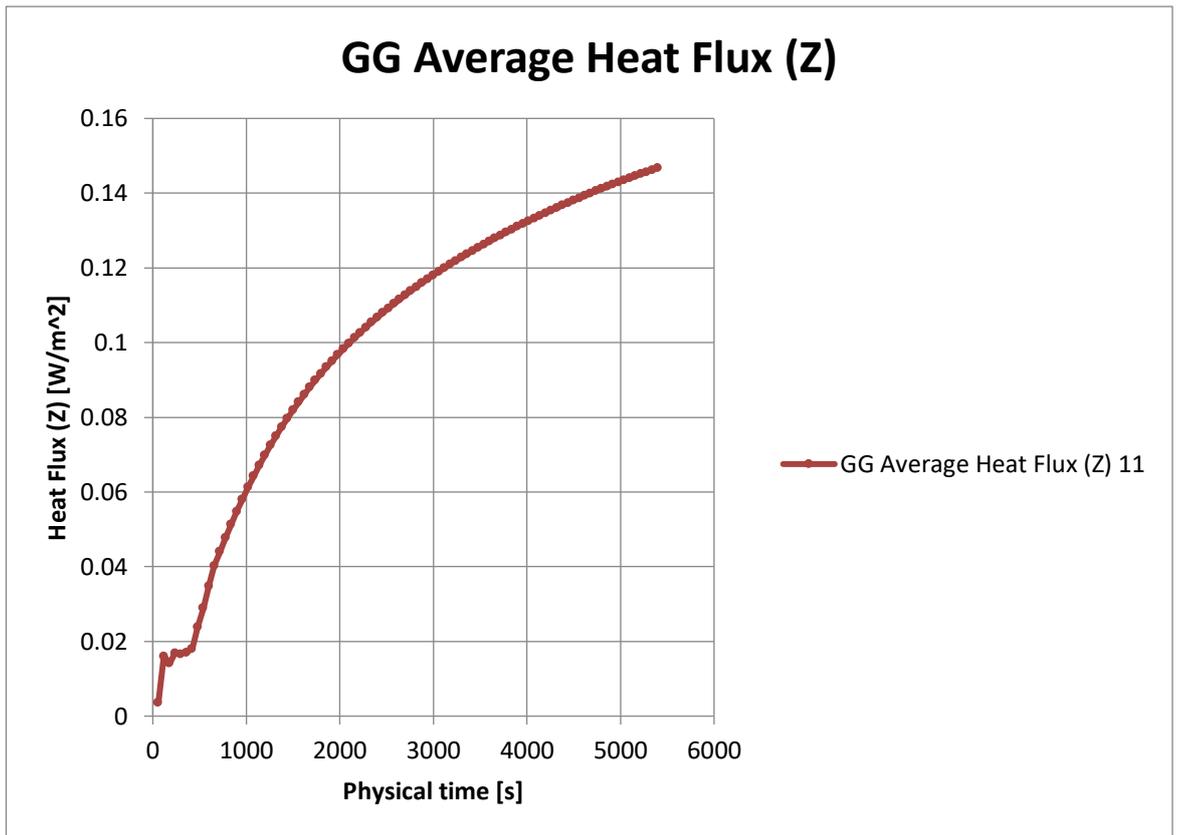
DESPUES DE 90 MIN
PRUEBA DE $W / (m^2)$



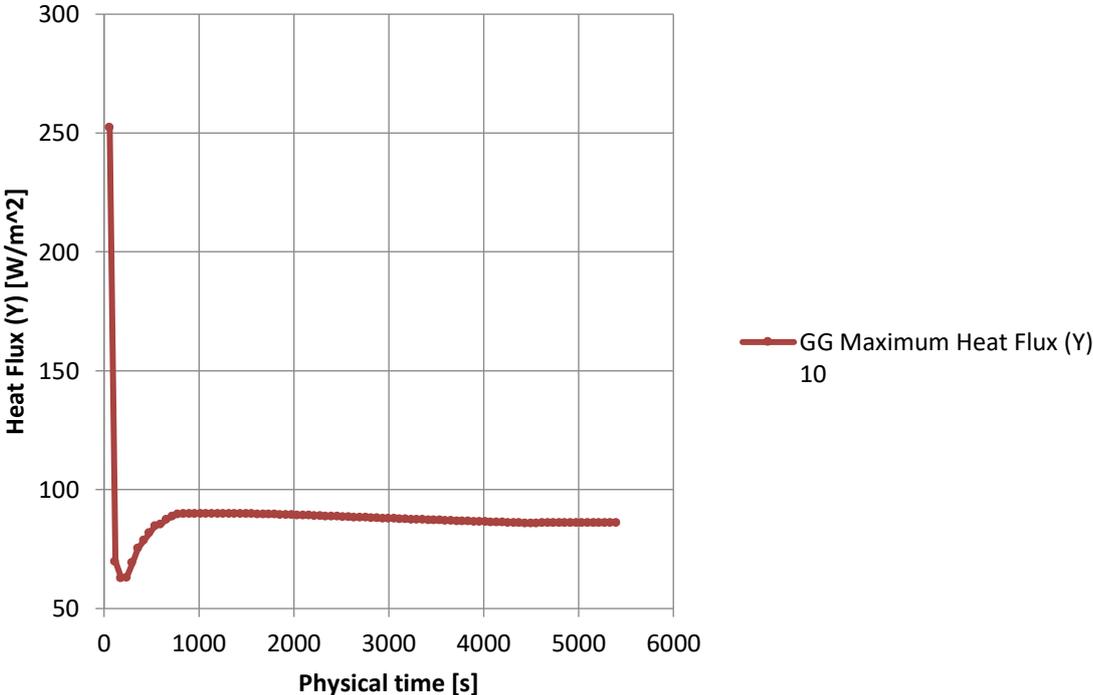
INICIO



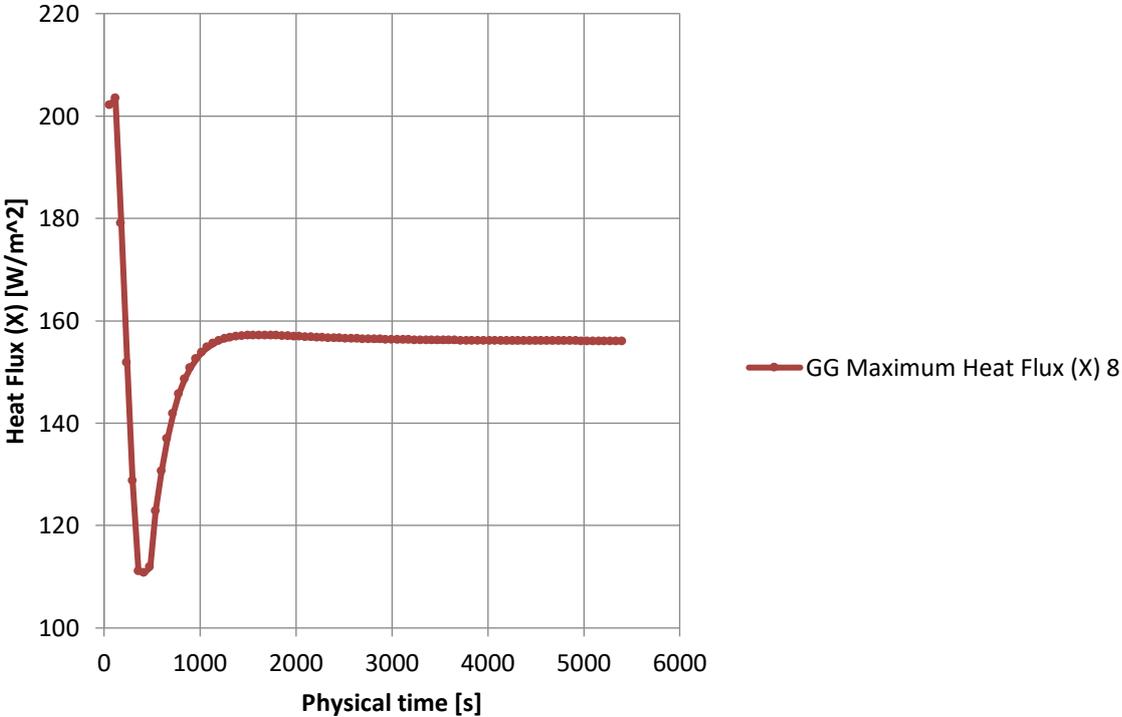
DEPUES DE 90 MIN



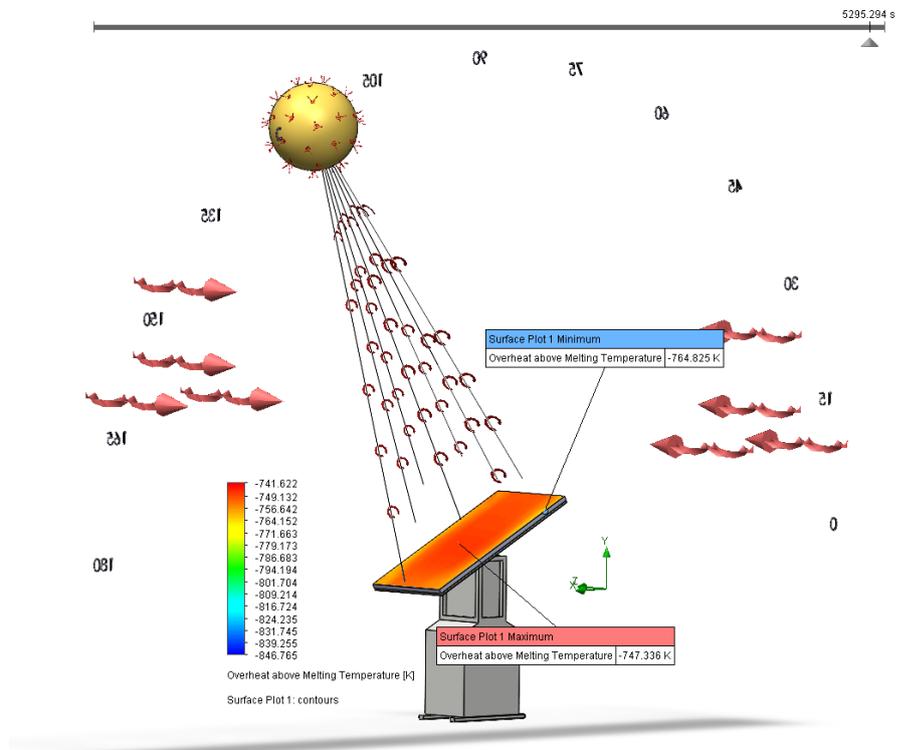
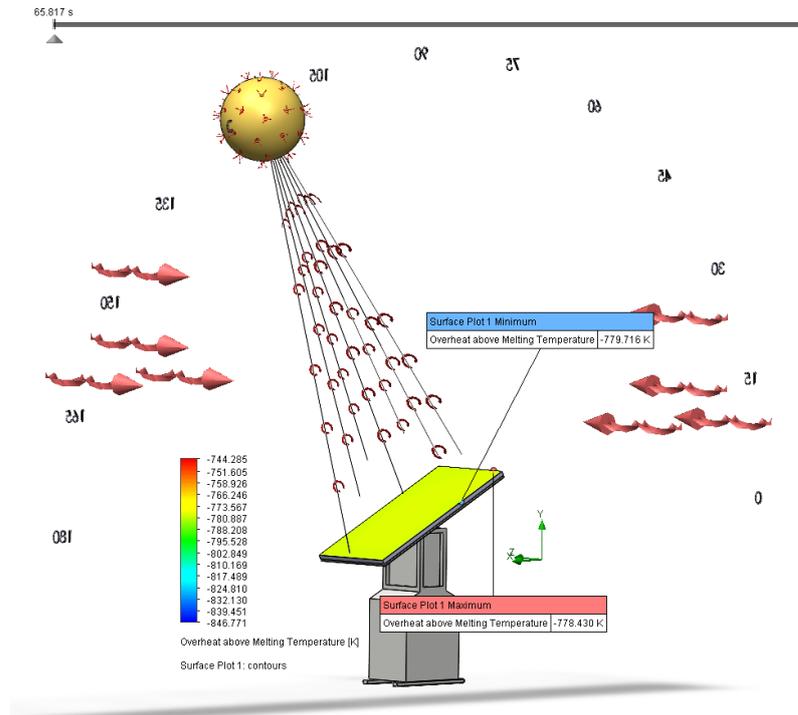
GG Maximum Heat Flux (Y)



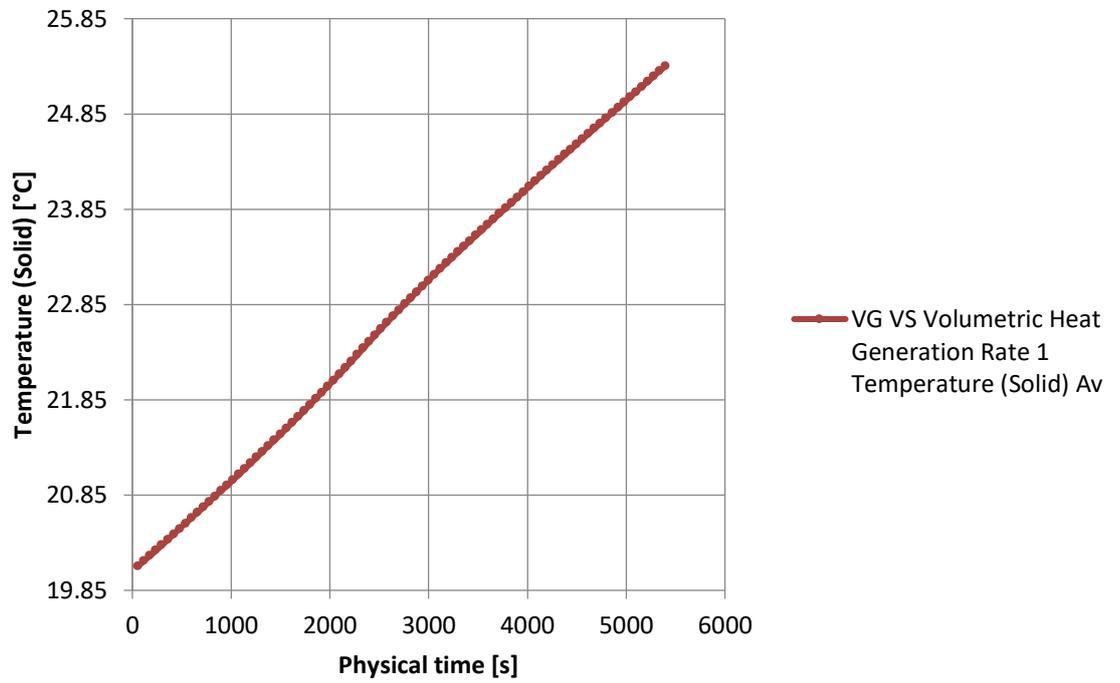
GG Maximum Heat Flux (X)



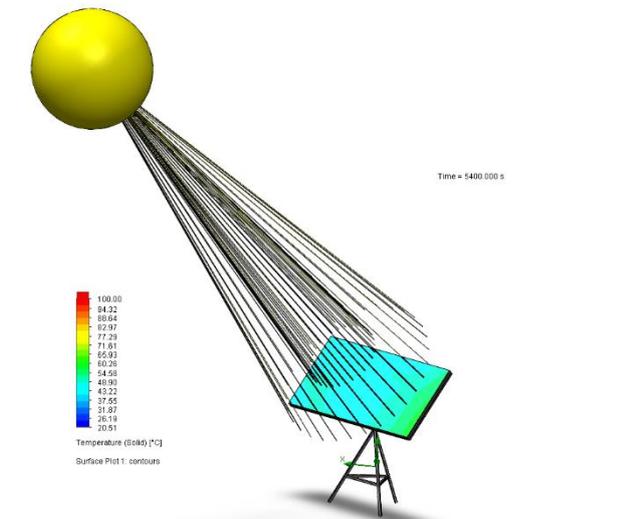
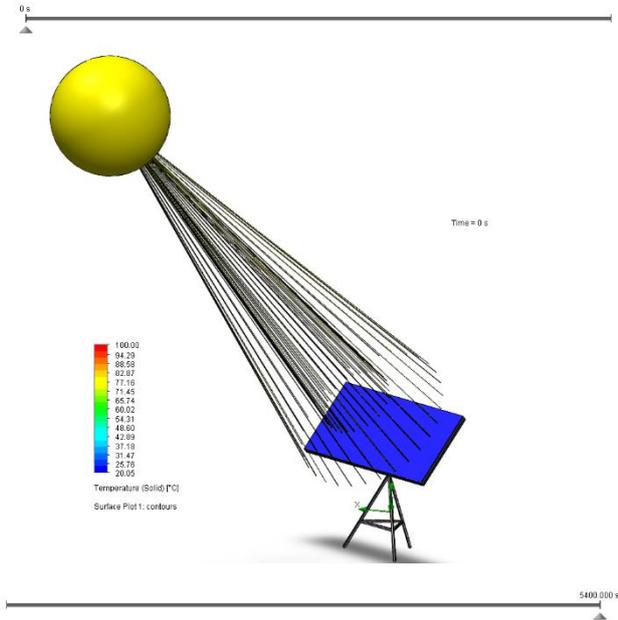
PRUEBA SOBRECALENTAMIENTO



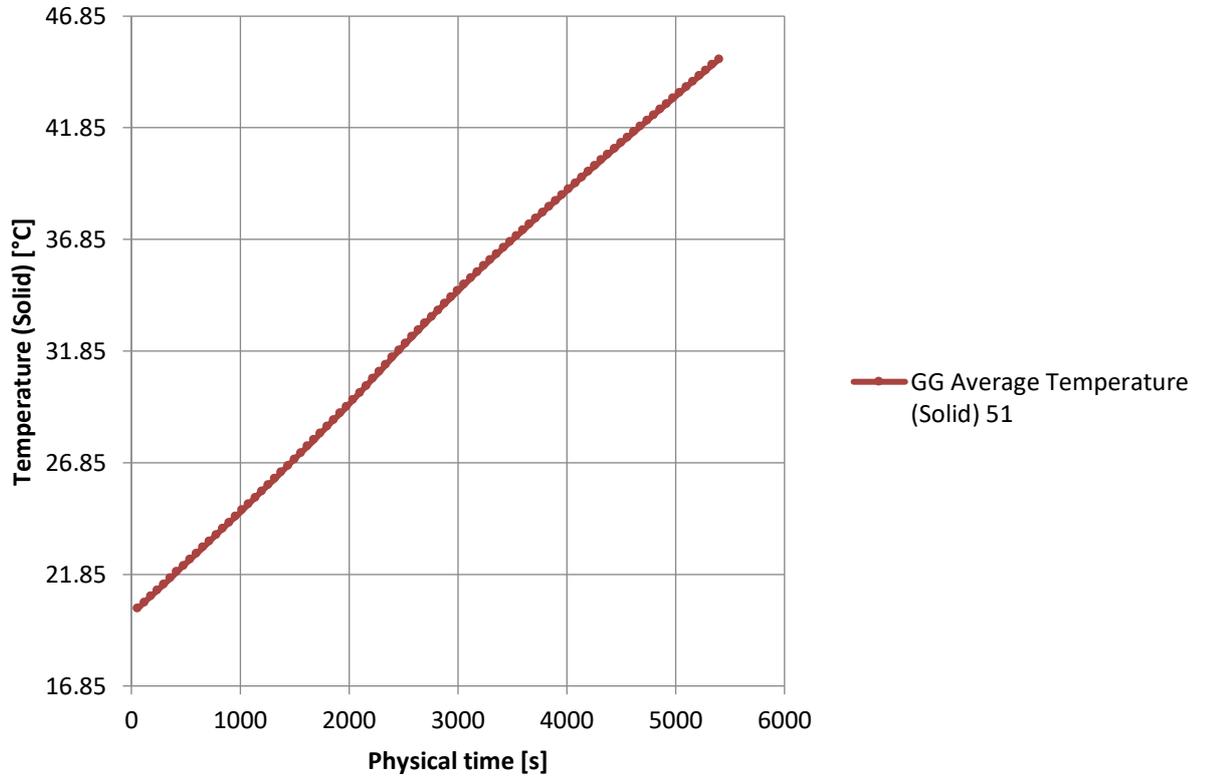
VG VS Volumetric Heat Generation Rate 1 Temperature (Solid) Av



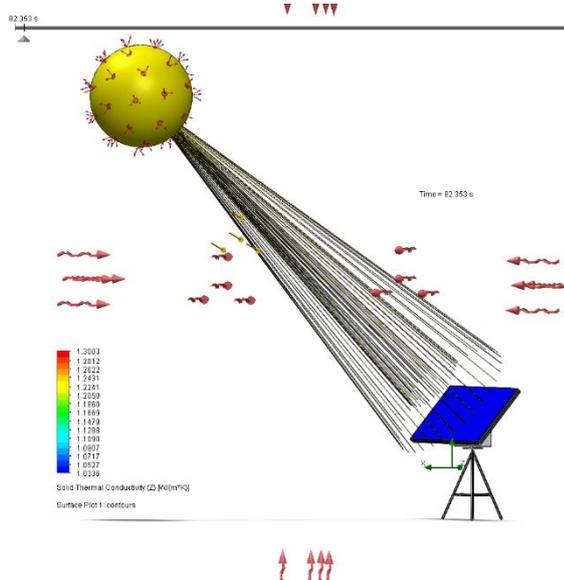
Pruebas de simulación del panel de 2 Eje de movimiento prueba de temperatura en superficie

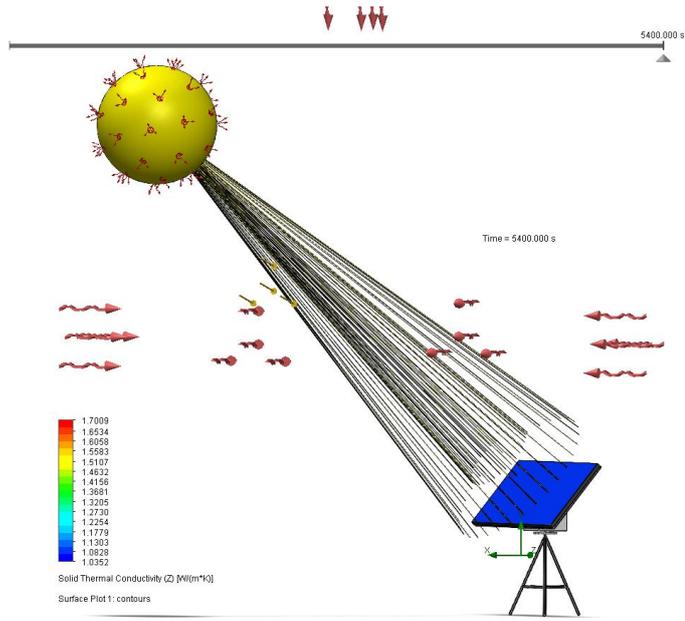


GG Average Temperature (Solid)

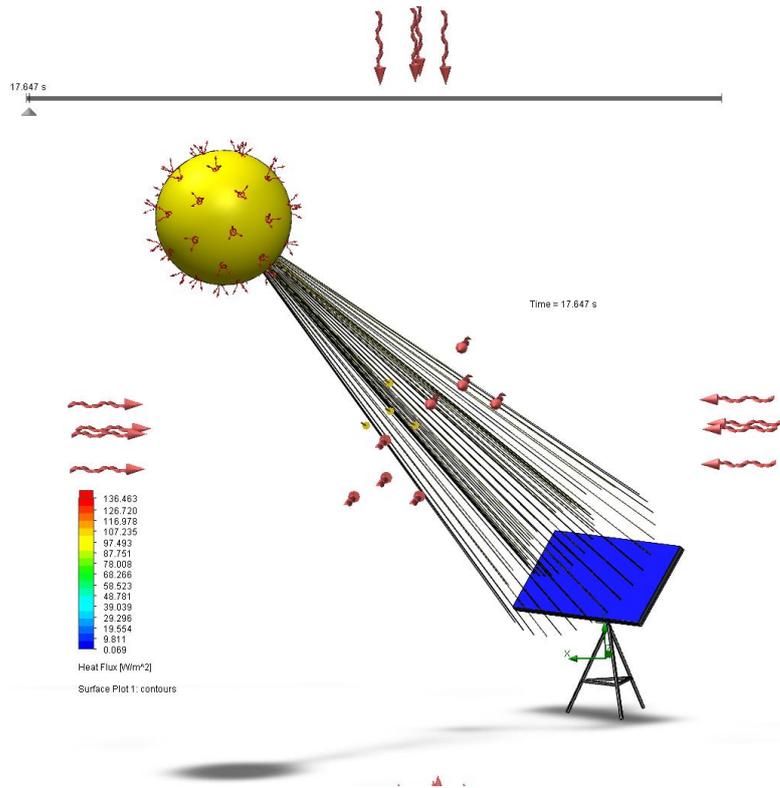


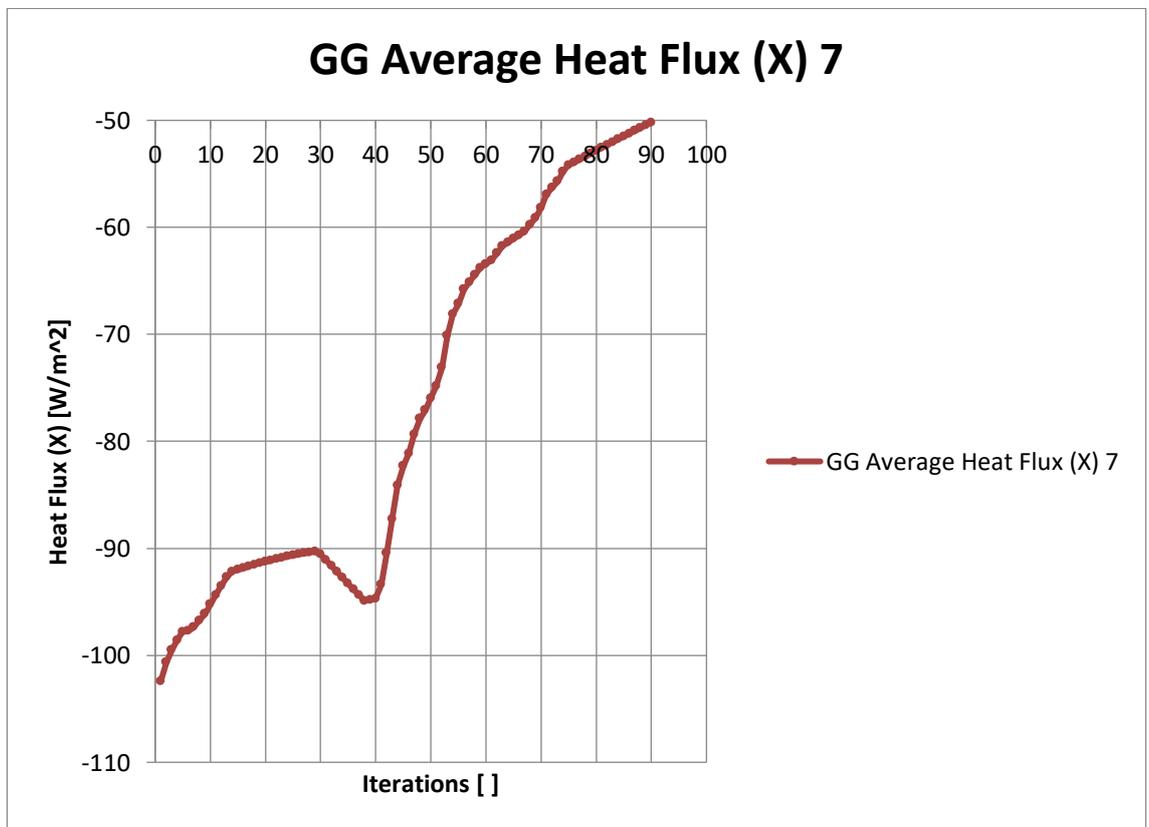
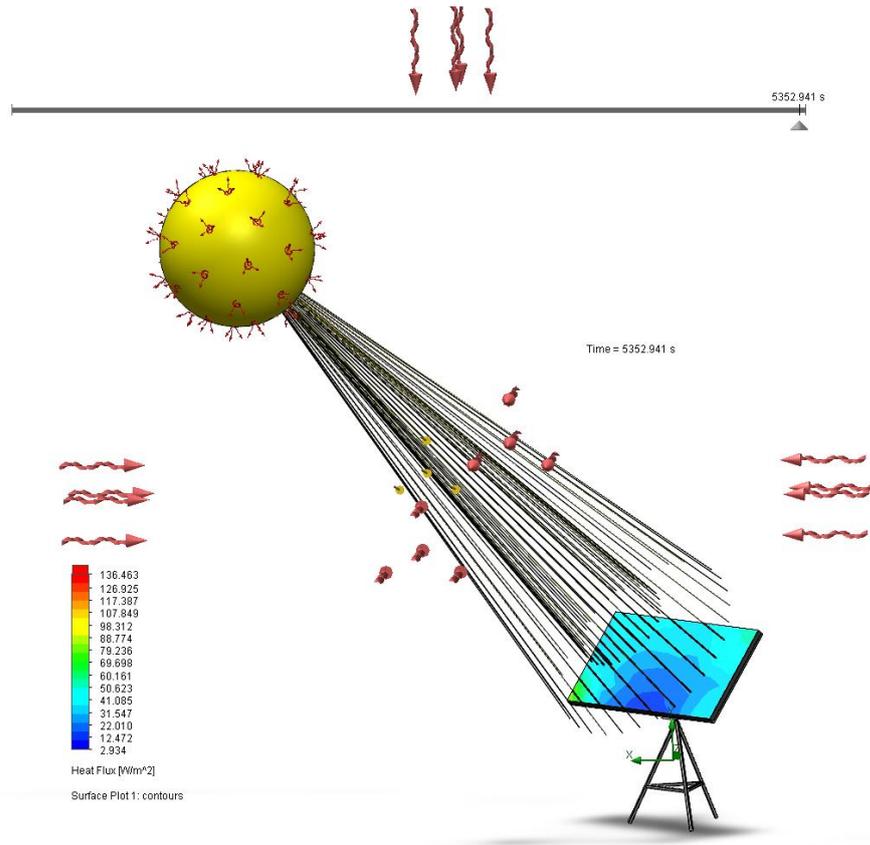
PRUEBA DE $W/(m^2K)$



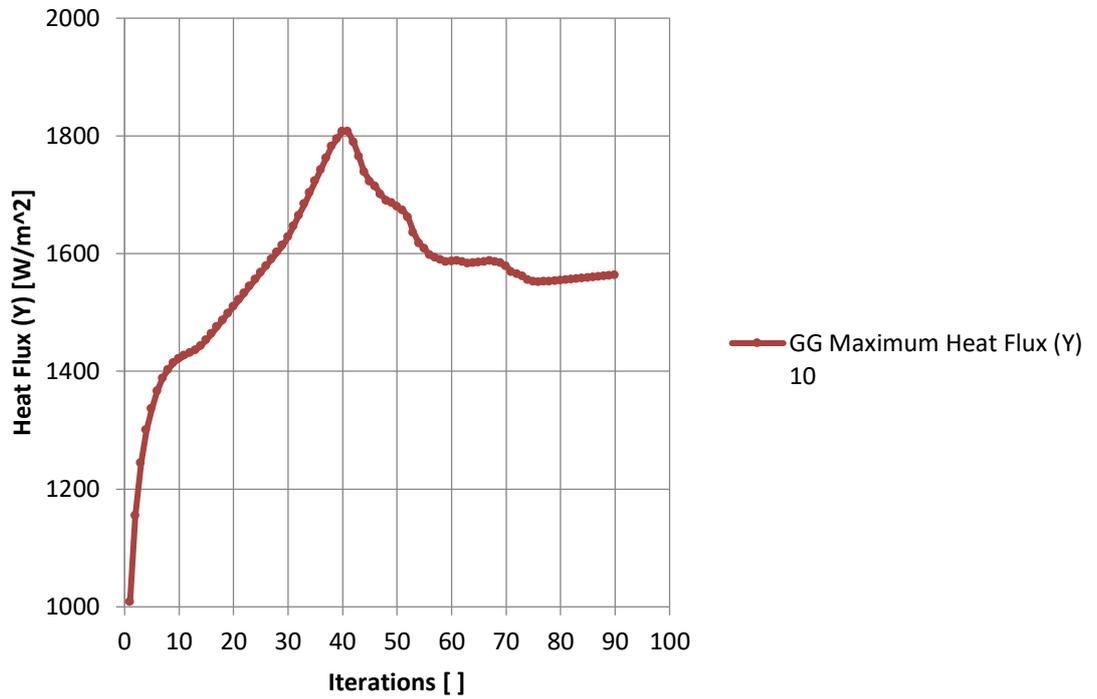


PRUEBA DE $W / (m^2)$

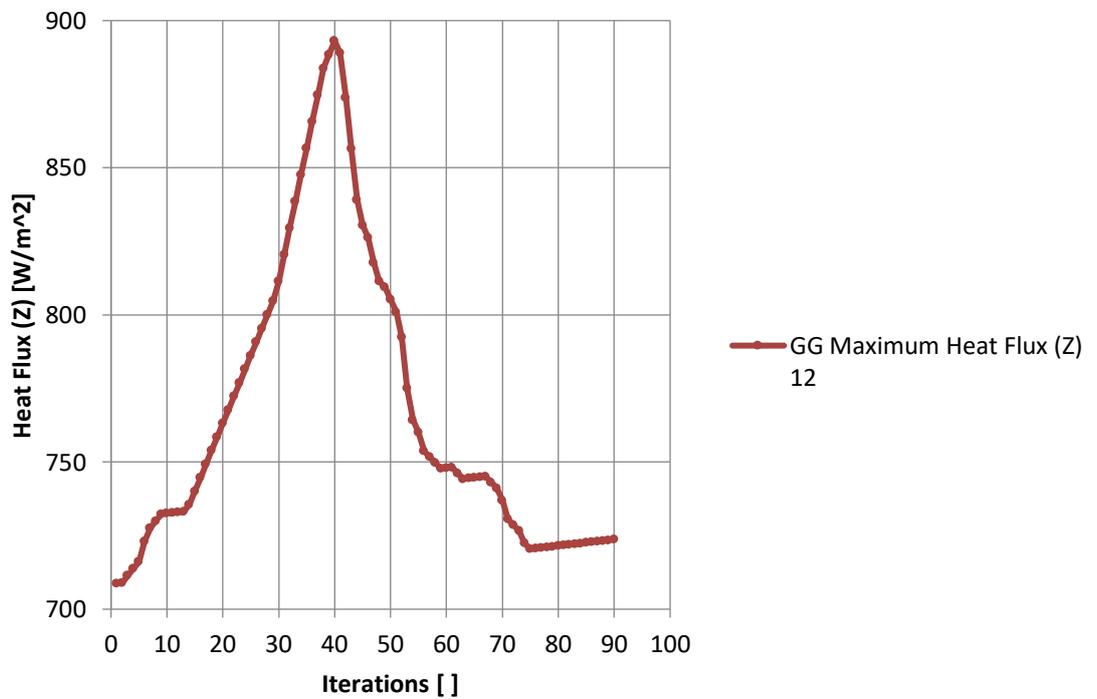




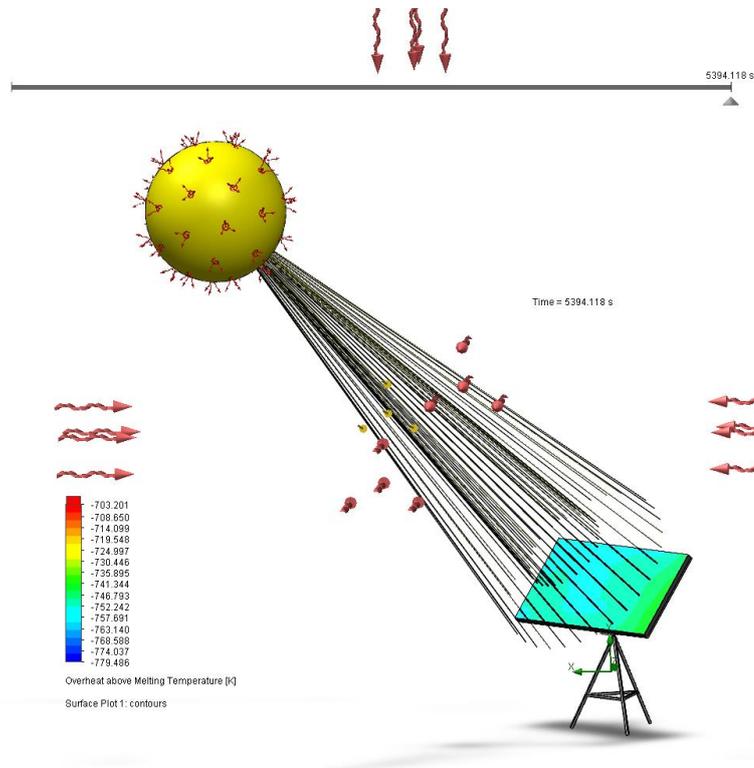
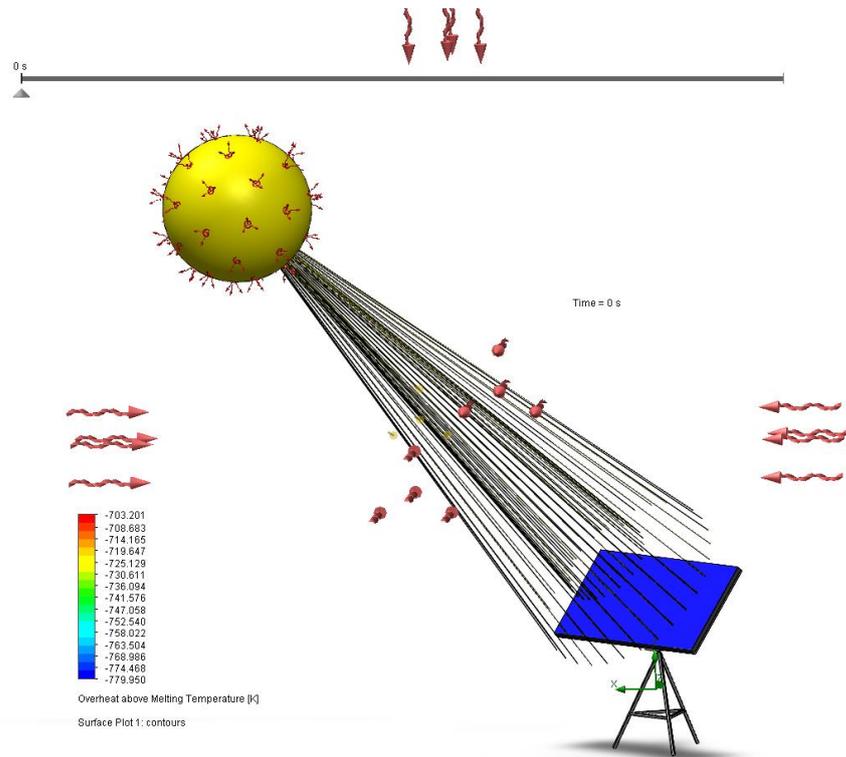
GG Maximum Heat Flux (Y) 10



GG Maximum Heat Flux (Z) 12



PRUEBA SOBRECALENTAMIENTO



6. Panel fotográfico de la construcción de seguidores

CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL



PRUEBAS DEL CIRCUITO



PRUEBAS DE MOTORES



PRUEBAS DEL ENCODER ANTICOLISIONES



ENCODER MODIFICADO



ENCODER COMO LÍMITE DE GIRO



ENSAMBLAJE DE LA ESTRUCTURA Y
CIRCUITO ELECTRÓNICO



EN SAMBLAJE DE SEGUIDOR SOLAR
DE UN EJE



7. Panel fotográfico de la experimentación

INSTALACIÓN DE ESTACIÓN DE TOMA DE DATOS



INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE



INSTALACIÓN DE BANCO DE BATERÍAS



INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS



REGISTROS DE DATOS



TOMA DE DATOS



SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS



VISTA PANORÁMICA DE LOS SEGUIDORES SOLARES

