

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“ESTUDIO, DISEÑO Y EVALUACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN
DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA
RURAL EN EL DISTRITO DE TRES DE DICIEMBRE -
PROVINCIA DE CHUPACA- REGIÓN JUNÍN”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

ALFREDO ALONSO NAVARRETE CORNEJO

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

Huancayo - Perú

ASESOR

Ing. Orlando Vilca Moreno

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a Dios por acompañarme a lo largo de mi carrera profesional, dándome su luz divina para alcanzar cada una de las metas que me propuse. A mis padres, Alfredo Navarrete y Rosina Cornejo, mi hija Jimena Navarrete; a mi hermana Sandra y a mi tío Antero Cornejo, por ser mí apoyo incondicional, por su cariño, su comprensión y por haber creído en mí; esto es una sencilla retribución a su generosidad y nobleza.

El autor

AGRADECIMIENTO

Los más sinceros agradecimientos al Ing. José Manuel Valer Silva, nuestro Director quien a lo largo de todo el desarrollo de esta investigación supo instruirnos, aconsejarnos e incluso corregirnos, ganándose de esta manera nuestro afecto y admiración.

De igual manera al Ing. Orlando Vilca Moreno, mi asesor, por sus correcciones y observaciones muy acertadas, las cuales me ayudaron a encontrar la mejor solución a los problemas suscitados a lo largo de esta investigación, por poner su confianza en mi persona y brindarnos su apoyo en todo momento.

A todos los docentes por su desempeño dentro del ámbito laboral, amigos, familiares más cercanos mis padres y hermanos que contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.

El autor

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|-----|
| CARATULA | i |
| PORTADA..... | ii |
| DEDICATORIA..... | iii |
| AGRADECIMIENTO | iv |
| INDICE DE CONTENIDOS | v |
| INDICE DE ABREVIATURAs..... | ix |
| INDICE DE TABLAS..... | x |
| INDICE DE FIGURAS..... | xi |
| RESUMEN..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 3 |
| INTRODUCCION..... | 5 |
| CAPITULO I..... | 8 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 8 |
| 1.1. Caracterización de la realidad problemática | 8 |
| 1.2. Formulación del problema | 11 |
| 1.2.1. Problema General | 11 |
| 1.2.2. Problemas específicos | 11 |
| 1.3. Objetivos de la investigación | 11 |
| 1.3.1. Objetivo General | 11 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos..... | 11 |
| 1.4 Justificación e importancia de la investigación..... | 12 |
| 1.4.1 Justificación de la Investigación | 12 |
| 1.4.1.1 Legal..... | 12 |
| 1.4.1.2 Académica..... | 12 |
| 1.4.1.3 Tecnológica | 12 |
| 1.4.1.4 Económica..... | 14 |
| 1.4.1.5 Científica..... | 15 |
| 1.4.1.6 Social..... | 15 |
| 1.4.1.7 Ambiental..... | 17 |

| | | |
|-------------------------|---|----|
| 1.5 | Importancia de la investigación..... | 18 |
| 1.5.1 | Tecnológica..... | 18 |
| 1.5.2 | De Política Ambiental..... | 18 |
| 1.5.3 | De la calidad ambiental en la generación de electricidad..... | 18 |
| 1.6 | Limitaciones de la investigación | 19 |
| 1.6.1 | Limitación teórica..... | 19 |
| 1.6.2 | Limitación metodológica | 19 |
| CAPÍTULO II | | 20 |
| FUNDAMENTO TEÓRICO..... | | 20 |
| 2.1 | Marco Referencial..... | 20 |
| 2.1.1 | Antecedentes de la investigación | 20 |
| 2.2 | Marco legal..... | 26 |
| 2.2.1 | leyes:..... | 27 |
| 2.2.2 | Resolución | 28 |
| 2.3 | Marco conceptual | 28 |
| 2.3.1 | Modulo fotovoltaico: | 28 |
| 2.3.2 | Panel solar fotovoltaico | 29 |
| 2.3.3 | Potencia eléctrica | 30 |
| 2.3.4 | Consumo eléctrico..... | 30 |
| 2.3.5 | Electricidad..... | 30 |
| 2.4 | Marco Teórico..... | 30 |
| 2.4.1 | Energía solar:..... | 30 |
| 2.4.2 | Radiación Solar | 32 |
| 2.4.3 | Irradiancia (I)..... | 35 |
| 2.4.4 | Irradiación diaria o insolación diurna (H)..... | 35 |
| 2.4.5 | Horas pico solar (HPS)..... | 36 |
| 2.4.5.1 | Instalaciones aisladas de la red eléctrica | 37 |
| 2.4.5.2 | Componentes de un sistema fotovoltaico..... | 38 |
| 2.4.5.3 | Paneles solares | 39 |
| 2.4.5.4 | Regulador de voltaje..... | 41 |
| 2.4.5.5 | Banco de baterías | 42 |
| 2.4.5.5.1 | Batería de ciclo profundo..... | 42 |

| | |
|---|----|
| 2.4.5.6 Inversor..... | 43 |
| 2.4.5.7 Angulo de inclinación..... | 43 |
| CAPÍTULO III | 45 |
| PLANTEAMIENTO METODOLOGICO | 45 |
| 3.1 Metodología | 45 |
| 3.1.1 Método de la investigación:..... | 45 |
| 3.1.1.1 Materiales y métodos para el sistema de monitoreo | 46 |
| 3.1.1.2 El módulo fotovoltaico | 47 |
| 3.1.1.3 Instalación del equipo de pruebas | 48 |
| 3.1.1.4 Solarímetro..... | 49 |
| 3.1.1.5 El termómetro digital modelo EV2536 | 50 |
| 3.1.1.6 Pinza amperimétrica..... | 51 |
| 3.1.1.7 Multímetros digitales..... | 51 |
| 3.1.2 Tipo de investigación:..... | 52 |
| 3.1.3 Nivel de investigación:..... | 52 |
| 3.2 Diseño de la investigación: | 52 |
| 3.3. Hipótesis de la investigación | 53 |
| 3.3.1 Hipótesis General... .. | 53 |
| 3.3.2 Hipótesis Específicas..... | 53 |
| 3.4 Variables e Indicadores | 53 |
| 3.4.1 Variables Dependientes | 53 |
| 3.4.2 Variable Independiente | 54 |
| 3.5 Cobertura de estudio | 54 |
| 3.5.1 Universo | 54 |
| 3.5.2 Población..... | 55 |
| 3.5.2.1 Ubicación del área de estudio | 55 |
| 3.5.3 Muestra | 56 |
| 3.5.4 Muestreo | 57 |
| 3.6 Técnicas e Instrumentos..... | 57 |
| 3.6.1 Técnicas de la Investigación | 57 |
| 3.6.2 Instrumentos de la Investigación: | 57 |
| 3.7 Procesamientos estadísticos de la información | 58 |

| | |
|---|----|
| 3.7.1 Estadísticos | 58 |
| 3.7.2 Representación | 60 |
| 3.7.3 Técnica de comprobación de la hipótesis | 60 |
| CAPÍTULO IV | 62 |
| ORGANIZACIÓN,PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS..... | 62 |
| 4.1 Presentación de resultados | 62 |
| 4.2 Discusión de Resultados | 63 |
| 4.3 Contrastacion de Hipotesis..... | 65 |
| CONCLUSIONES | 68 |
| RECOMENDACIONES | 69 |
| REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS | 70 |
| ANEXOS..... | 75 |
| BASE DE DATOS EXPRIMENTALES | 79 |

INDICE DE ABREVIATURAS

- A: Área de superficie de radiación (m^2)
- A_c : Área del panel fotovoltaico, (m^2)
- A_M : Área del marco de aluminio, (m^2)
- c: Capacidad del banco de baterías, (Ah)
- CA: Corriente Alterna, (V)
- CD: Corriente Directa, (V)
- E: Consumo energético real, (Wh)
- E_T : Consumo energético teórico, (Wh)
- f: Frecuencia de la radiación electromagnética. (Hz)
- G: Radiación, ($\frac{W}{m^2}$)
- I: Intensidad de corriente (A)
- I_{sc} : Intensidad de corriente de cortocircuito, (A)
- I_{mp} : Intensidad de corriente de máxima potencia (A)
- NP: Número de paneles.
- N_{PH} : Número de celdas monocristalinas verticalmente
- P_i : Potencia recibida por el panel, (W)
- P_{mp} : Potencia máxima, (W)
- °S: Latitud.
- S: Horas de sol efectivas, (h)
- σ : Constante de Stefan-Boltzman, ($\frac{W}{m^2 K^4}$)
- T_c : Temperatura del panel fotovoltaico, (K)
- T = Tiempo de operación del módulo fotovoltaico (*segundos*)
- V: Tensión o voltaje: Voltio (V)
- V_{oc} : Voltaje a circuito abierto, (V)
- V_{mp} : Voltaje de máxima potencia (V)

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1: Irradiación solar diaria media (Huancayo) | 36 |
| Tabla 2: Eficiencia de cada tipo de panel FV según los tipos de células. | 40 |
| Tabla 3: Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico de pruebas | 47 |
| Tabla 4: Especificaciones técnicas del medidor ES-2000 | 50 |
| Tabla 5: Diseño experimental | 52 |
| Tabla 6: Ingreso de los datos experimentales al software estadístico Polimath | 66 |
| Tabla 7: Procesamiento Estadístico de los Resultados Experimentales | 66 |
| Tabla 8: Evaluación porcentual de los resultados experimentales | 67 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura N°1:Consumo energético global del 2012..... | 10 |
| Figura N°2: Capacidad mundial existente de la generación fotovoltaica..... | 13 |
| Figura N°3: Diez primeros países con mayor capacidad fotovoltaica | 13 |
| Figura N°4:Inversión global en eerr..... | 14 |
| Figura N°5: Perú Incidencia de la Pobreza Total | 16 |
| Figura N°6: Mapa de la energía solar Incidente diaria | 16 |
| Figura N°7: módulo de instalación fotovoltaico..... | 29 |
| Figura N°8: Pérdidas de energía solar..... | 32 |
| Figura N°9: Radiación Solar sobre la tierra..... | 33 |
| Figura N°10: Distancia entre el sol y la tierra..... | 34 |
| Figura N°11:..Solarímetro marca erasmus es-2000..... | 35 |
| Figura N°12: Curva de Irradiancia y horas solares pico..... | 36 |
| Figura N°13: Central fotovoltaica..... | 37 |
| Figura N°14: Uso de energía solar y de la red eléctrica..... | 37 |
| Figura N°15:Uso del panel Solar..... | 38 |
| Figura N°16: Iluminación pública con paneles solares..... | 38 |
| Figura N°17: Sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica..... | 39 |
| Figura N°18: Regulador de voltaje..... | 41 |
| Figura N°19: Baterías powersafe..... | 42 |
| Figura N°20:Inversor de corriente de onda senoidal (4000w)..... | 43 |
| Figura N°21:Ángulo de incidencia de los rayos solares..... | 44 |
| Figura N°22: Inclinómetro | 44 |
| Figura N°23:Área de la zona de estudio..... | 46 |
| Figura N°24: Monitoreo de radiación solar y temperatura | 49 |
| Figura N° 25 : Solarímetro marca Erasmus modelo ES-2000..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura N° 26: Sensor de temperatura digital modelo EV2536..... | 51 |
| Figura N° 27: Pinza amperimétrica digital Prasek Premiun PR54..... | 51 |
| Figura N°28: Multímetro digital para medir tensión y corriente | 55 |
| Figura N°29: materiales de monitoreo..... | 57 |
| Figura 30 : Esquema del equipo experimental para optimizar la producción energética en un panel solar | 58 |
| Figura N°31: Potencia disipada por un televisor de" 14"..... | 62 |
| Figura N°32 : Potencia y energía generada por el panel solar fijo..... | 63 |
| Figura N°33: Base de datos experimentales en Polimath..... | 64 |
| Figura N°34: Comportamiento experimental Potencia vs Tiempo..... | 64 |
| Figura N°35: Comportamiento experimental de la Intensidad de Corriente ... | 65 |
| Figura 36: Comportamiento experimental del voltaje generado..... | 65 |
| Figura N°37: Comportamiento experimental del Ángulo de Inclinación vs la potencia generada..... | 65 |

RESUMEN

ESTUDIO, DISEÑO Y EVALUACION DE LA OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA RURAL EN EL DISTRITO DE TRES DE DICIEMBRE PROVINCIA DE CHUPACA - REGIÓN JUNÍN

Alfredo A. Navarrete Cornejo¹

El presente trabajo tiene como **propósito** evaluar, diseñar la optimización de la energía fotovoltaica para una vivienda rural en el distrito de tres de diciembre provincia de Chupaca, con un panel solar de 120W mediante un sistema de control manual el cual es supervisado en tiempo real cada tres horas desde las 7:10 am hasta las 5:10 pm, teniendo en promedio de 5 datos al día lo cual hace más de 450 datos en tres meses consecutivos de monitoreo, esto fue posible gracias al trabajo de monitoreo manual con materiales calibrados como el eclímetro, amperímetro, termómetro, lo contribuyeron para la determinación de la potencia del panel solar y un ángulo de inclinación y orientación fijo del panel solar, se determinó la temperatura ya que es un factor muy importante en la variación constante de la energía fotovoltaica y en las variaciones climáticas, incrementando de esta manera la captación de radiación solar a un 30 % más de lo normal ya que se encuentran debidamente orientado. El **problema** identificado fue determinar en qué porcentaje es posible evaluar la optimización de la producción energética del sistema fotovoltaico, para el suministro en una vivienda rural en el distrito de Tres de Diciembre Provincia de Chupaca-Región Junín, ante la problemática existente la investigación tuvo

como **objetivo** evaluar la optimización de la producción energética de un sistema fotovoltaico mediante un control manual de los indicadores establecidos(voltaje, intensidad de corriente, ángulo de inclinación y orientación), al tiempo que se planteó la siguiente **hipótesis**: H₁: la evaluación optimiza la producción energética en una vivienda del distrito tres de diciembre provincia de Chupaca-región Junín en un porcentaje mayor al 30%. **La metodología** utilizada en el estudio se realizó mediante la experimentación en un sistema fotovoltaico de una vivienda rural en una posición variable manualmente, el mismo que sigue una trayectoria manteniendo la perpendicularidad del panel solar con la dirección de los rayos solares durante todo el día, esto es posible gracias al monitoreo de los indicadores establecidos, además el sistema cuenta con un kits completo de instalación y para almacenar la información en una base de datos se utilizó el programa de Excel, polymath, para determinar los datos estadísticos y diseñar tablas e imágenes estadísticas, Los **resultados** encontrados fueron que la captación de radiación solar del sistema fotovoltaico se incrementó en un **36.82%**, esto se pudo conseguir gracias a que el monitoreo fue constante y la posición exacta y un ángulo de inclinación variante, almacenando la información en tiempo real.

Palabras Claves: fotovoltaico, optimización, panel solar, inclinación.

¹ anavcor_155@hotmail.com

ABSTRACT

EVALUATION AND STUDY OF THE OPTIMIZATION OF ENERGY FOTOVOLTAY FROM ONE RURAL HOUSE IN THE DISTRICT OF TRES DE DICIEMBRE – REGION JUNÍN

Alfredo A. Navarrete Cornejo¹

The present This paper aims to evaluate, design optimization of photovoltaic energy for rural housing in the district December 3 Chupaca province, with a solar panel 120W through a manual control system which is monitored in real time every three hours from 7:10 am to 5:10 pm, with an average of 5 daily data which makes data more than 450 in three consecutive months of monitoring, this was possible thanks to the work manually calibrated as monitoring materials the clinometer, ammeter, thermometer, which contributed to the determination of the power of the solar panel and an inclination angle and fixed orientation of the solar panel, the temperature was determined as it is a very important factor in the constant variation of PV factor in climatic variations, thereby increasing the capture of solar radiation to 30% more than normal as they are properly oriented. The identified problem was to determine what percentage is possible to evaluate the optimization of the energy production of the photovoltaic system for the supply in a rural house in the district of Tres December Chupaca-Region Province Junín, to the existing problems the study was Objective To evaluate the optimization of energy production of a photovoltaic system using a manual control of the indicators set (voltage,

current, angle and orientation), while the following hypothesis is proposed: H1: optimizes production assessment energy in a house in the December 3 Chupaca-region province of Junin district in a percentage higher than 30%. The methodology used in the study was conducted by experimenting in a photovoltaic system for a rural home in a variable position manually, it follows a path that keeping the solar panel perpendicular to the direction of sunlight throughout the day, this is possible thanks to the monitoring of the established indicators have the system has a complete installation kits and store the information in a database program Excel, polymath, was used to determine statistical data and design tables and statistical images , The results were that the collection of solar radiation photovoltaic system increased by 25.38%, this could be achieved thanks to the constant monitoring was the exact position and angle of inclination variant, storing information in real time.

Keywords: photovoltaic, optimization, solar panel inclination.

¹ anavcor_155@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el consumo de energía eléctrica se ha incrementado a un ritmo superior al crecimiento económico ya que cumple necesidades del aparato productivo al estar íntimamente ligado al alcance de mayores niveles de vida de la sociedad en general, por lo que es necesario tomar acciones que impidan que aumente el índice físico del consumo energético, se deben identificar y emprender alternativas de eficiencia energética. (EMS, 2010).

Hay muchas aplicaciones para sistemas de energía solar, pero también hay muchas limitaciones a estas aplicaciones. El costo-beneficio es demasiado bajo para los sistemas de energía solar que se utilizan ampliamente para alimentar hogares, empresas, o incluso los productos individuales. Los sistemas de energía solar se utilizan como fuente principal de alimentación para una gran mayoría de los satélites que orbitan la Tierra. Sin embargo, el beneficio de utilizar la energía solar en el espacio es mucho mayor que el costo de implementación correspondiente (EMS, 2010).

Hay Casi toda la energía disponible en el planeta tiene tres fuentes fundamentales: el sol de forma directa o indirecta (combustibles fósiles, biomasa, vientos y rayos solares); el proceso de formación cósmica que procedió a la formación del sistema solar actual (energía nuclear y geotérmica)

y finalmente una pequeña parte de la energía disponible proviene de los movimientos lunares. La energía solar es un tipo de energía renovable y limpia, perteneciente al grupo de energías consideradas “verdes”, las cuales provienen de fuentes respetuosas con el medio ambiente, ya que no inciden sobre el de manera. (Anderson, 2011).

Se evalúa la situación energética del país y ciudad, presentando la información general sobre la capacidad de generación y la necesidad e importancia de la energía utilizada para el abastecimiento, adquiriendo indicadores para conseguir mejores resultados y determinar la viabilidad de la implementación de un sistema de energía fotovoltaica. El principal problema con la tecnología de paneles fotovoltaicos es que la eficiencia de los sistemas de energía solar sigue siendo pobre, y los costos por kilowatt/hora (KW/h) no son competitivos, en la mayoría de los casos, contra fuentes de energía tradicionales (petróleo, geotermia, gas natural, carbón natural, etc.). Los paneles solares por sí solos son bastante ineficientes en su capacidad para convertir la luz solar en energía eléctrica. Además, los reguladores de carga y otros dispositivos que conforman el sistema de energía solar también son algo ineficientes y costosos (Merrill, 2000).

Esta tesis está enfocada a evaluar, diseñar la optimización de estos sistemas fotovoltaicos, posicionándose en el punto de mayor captación máxima irradiación solar, usando una carta solar para calcular el ángulo de posicionamiento requerido, y así concluir la potencia eléctrica generada por estos sistemas.

En el capítulo I que corresponde al planteamiento del problema y la justificación de la investigación, se describe las razones por las cuales se desarrolló el presente estudio además de los objetivos que se plantearon al inicio de la investigación.

En el capítulo II se presentan las evidencias más importantes o antecedentes relacionados con la presente investigación en el ámbito nacional e internacional, motivo por el cual la tesis tiene bases sólidas.

En el capítulo III se describe el ámbito de la investigación, población, muestra así como el procesamiento de la información, en este capítulo se describe

como se llegan a determinar las condiciones de muestreo diarios, condiciones que serán utilizadas como parámetros de monitoreo para realizar evaluaciones estadísticas y una conclusión sólida.

Finalmente en el capítulo IV se describe detalladamente el funcionamiento y los resultados experimentales realizados en campo, con las condiciones de operación determinadas en el capítulo III.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Caracterización de la realidad problemática

La falta de acceso a la energía eléctrica supone un freno para el desarrollo de 1400 millones de personas en las áreas rurales de los países en vías de desarrollo. La generación y distribuida mediante sistemas basados en energías renovables representa, en la actualidad, la alternativa óptima para proveer de electricidad estas regiones son los sistemas fotovoltaicos, la mini eólica, así como la combinación de estas tecnologías en sistemas híbridos.(REN21, 2011).

La energía eléctrica es uno de los factores vitales para lograr el desarrollo y mejora de la calidad de vida. Sin embargo, según el censo habitacional del año 2007, más de un millón 600 000 viviendas peruanas no cuentan con este servicio. Por otro lado, del total de viviendas particulares con ocupantes presentes, más de 4 millones 700 viviendas sí disponen de alumbrado eléctrico conectado a la red pública.

La energía eléctrica es un factor determinante en el desarrollo de los pueblos, porque mejora los sistemas educativos, promueve el desarrollo de los sistemas productivos e impulsa el intercambio social entre los pobladores. A pesar de que el desarrollo de las tecnologías renovables se encuentra en una fase de

madurez, su implementación en el contexto está fuertemente ligada a las características de los mercados rurales y dispersos. La extensión a gran escala de los sistemas se encuentra con barreras de carácter legal y financiero (la regulación del sector y la implementación de mecanismos financiación apropiados son dos aspectos fundamentales para superarlas); pero también con limitaciones de carácter técnico (falta de normativa técnica aplicable y falta de capacidad técnica local). (BP Statistical Review of World Energy, 2012).

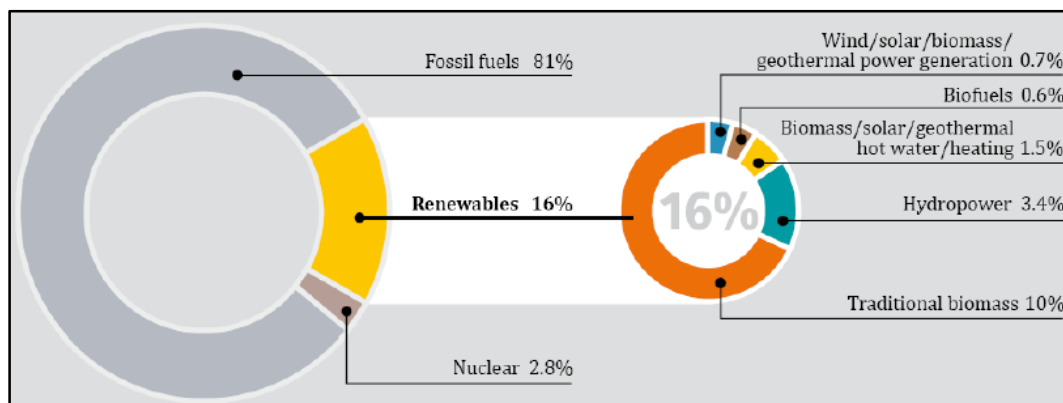
El uso de paneles solares es una nueva alternativa para la generación de energía en las zonas rurales y mantener nuestro medio ambiente en equilibrio para un desarrollo sostenible, es por ello que nace el interés de investigar en aprovechar la radiación solar existente en la zona. De esta manera evaluar la generación de energía eléctrica mediante los paneles solares y determinar la eficiencia del sistema fotovoltaico.

Para su caracterización se utilizará diversos instrumentos como son: un Radiómetro calibrado de fábrica. Un termómetro analógico o digital para medir la temperatura y un voltímetro para que de esta manera optimizar las respuestas a estos paneles, para obtener un mejor rendimiento energético.

El sector eléctrico en el Perú ha experimentado sorprendentes mejoras en los últimos 15 años. El acceso a la electricidad ha crecido del 45% en 1990 al 88.8% en junio de 2011, a la vez que mejoró la calidad y la eficacia de la prestación del servicio. Estas mejoras fueron posibles gracias a las privatizaciones posteriores a las reformas iniciadas en 1992. Al mismo tiempo, las tarifas de electricidad han permanecido en consonancia con el promedio de América Latina.

Sin embargo, aún quedan muchos retos. Los principales son el bajo nivel de acceso en las áreas rurales y el potencial sin explotar de algunas energías renovables, en concreto la energía hidroeléctrica, la energía eólica y la energía solar. El marco regulador de energías renovables incentiva estas tecnologías, pero en volúmenes muy limitados ya que una mayor oferta implicaría un aumento en el costo de la energía del país.

Figura 1: Participación de las EERR en el consumo energético global del 2012



Fuente: (BP Statistical Review of World Energy, 2012)

Sin embargo, aún quedan muchos retos. Los principales son el bajo nivel de acceso en las áreas rurales y el potencial sin explotar de algunas energías renovables, en concreto la energía hidroeléctrica, la energía eólica y la energía solar. El marco regulador de energías renovables incentiva estas tecnologías, pero en volúmenes muy limitados ya que una mayor oferta implicaría un aumento en el costo de la energía del país.

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) abastece al 85% de la población conectada, con varios sistemas “aislados” que cubren el resto del país. A pesar de que la inversión en generación, transmisión y distribución en las áreas urbanas es principalmente privada, los recursos para la electrificación rural provienen únicamente de recursos públicos.

Se ha estimado que Perú tiene condiciones favorables para el desarrollo de proyectos de energía solar. No obstante, el potencial solar del país todavía no se ha explotado. En la cordillera situada al sur, la energía solar alcanza niveles promedios de más de 6 kW/m²/día, que están entre los más altos a nivel mundial. y **principalmente en el valle del Mantaro no se cuenta con paneles solares implementados a partir de la energía solar.**

1.2. Formulación del problema

En lo siguiente se presenta el problema principal y los específicos, cuando se habla de evaluación para optimizar la producción energética en sistemas fotovoltaicos.

1.2.1. Problema General

¿En qué porcentaje es posible evaluar la optimización de la energía fotovoltaica para el suministro en una vivienda rural en el distrito de Tres de Diciembre Provincia de Chupaca-Región Junín?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál será la demanda energética necesaria para poder suministrar de energía a una vivienda rural en el distrito de Tres de Diciembre Provincia de Chupaca-Región Junín?
- ¿Cuál será la producción energética en kW-h/día de un panel solar?
- ¿Cuál será los materiales a utilizada para monitorear las variables más relevantes y controlar la posición espacial de un panel solar?
- ¿En qué porcentaje se incrementará la producción energética de un panel solar

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la optimización de la producción energética de un sistema fotovoltaico en una vivienda rural.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar cuánta energía es necesaria para suministrar la demanda energética a la vivienda rural en el distrito de tres de diciembre provincia de Chupaca- Región Junín.
- y estimar las condiciones de radiación solar actualmente existentes en el distrito de tres de diciembre-provincia Chupaca
- Calcular la producción energética en kW-h/día de un panel solar convencional fijo.

- Establecer los parámetros de diseño para determinar la eficiencia del sistema fotovoltaico para suministrar la demanda energética a la vivienda rural en el distrito de tres de diciembre provincia de Chupaca- Región Junín.
- Estimar el porcentaje de incremento de la producción energética de un sistema fotovoltaico de una vivienda rural.
- Monitorear los ángulos de inclinación con el eclímetro

1.4 Justificación e importancia de la investigación

1.4.1 Justificación de la Investigación

1.4.1.1 Legal

Este proyecto de tesis se enmarcará dentro de los parámetros del uso del Reglamento de Grados y Títulos, que contempla la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas.

1.4.1.2 Académica

El proyecto permitirá aplicar una serie de conocimientos adquiridos durante la formación académica de pre-grado en la carrera de ingeniería ambiental, en cuanto a su aplicación práctica mediante la evaluación de la optimización de los sistemas fotovoltaicos que nos permitieron conseguir el objetivo general del proyecto de tesis.

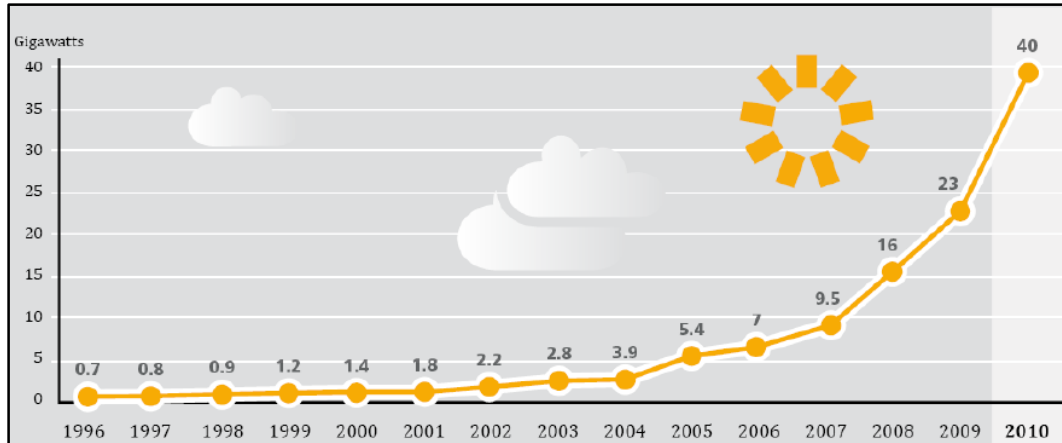
1.4.1.3 Tecnológica

Con el uso de la tecnología que representan los sistemas fotovoltaicos, los cuales son utilizados en muchos países industrializados para optimizar la eficiencia de sus procesos, entonces se justifica tecnológicamente debido a que **“Todo proceso o sistema que no es optimizado se consideran procesos desfasados y poco eficientes”**.

Actualmente en el mundo está aumentando año a año el uso e implementación de estos sistemas en cuanto a la capacidad de potencia instalada de la energía solar fotovoltaica, durante el año 2010, se sabe que ha estado presente en más de 100 países, y que además es la tecnología que lidera en crecimiento (Figura 6). Se ha estimado que aproximadamente 17 GW de potencia han sido adicionados a la matriz energética mundial durante el 2010, alcanzando con

ello un total de 40 GW que representa siete veces más que lo instalado en el 2005, con lo cual se evidencia que esta tecnología está en creciente desarrollo.

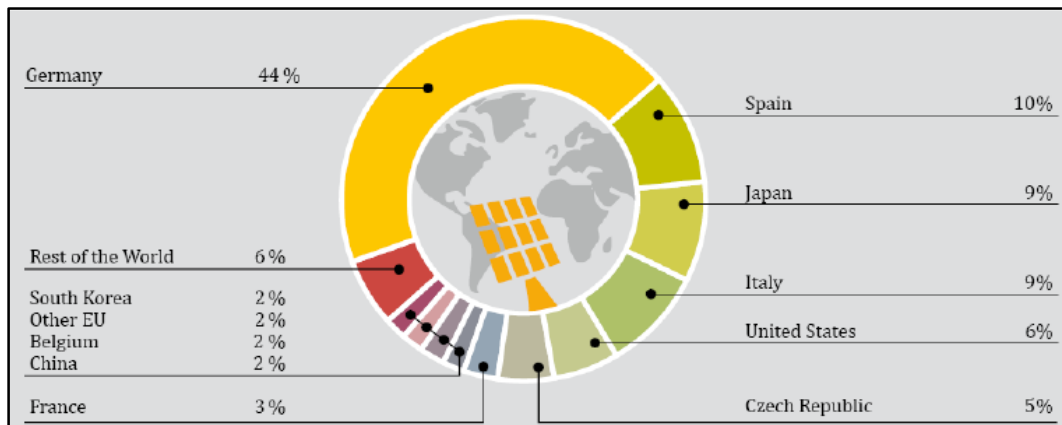
Figura 2: Capacidad mundial existente de la generación fotovoltaica



Fuente: (Horn, 2011)

Solo Alemania ha instalado más sistemas fotovoltaicos (7.4 GW) durante el 2010 que lo registrado en todo el mundo en años anteriores, terminando el año con 17.3 GW de capacidad existente (Gráfica 6).

Figura 3 : Los diez primeros países con mayor capacidad fotovoltaica instalada 2010



Fuente: (Horn, 2011)

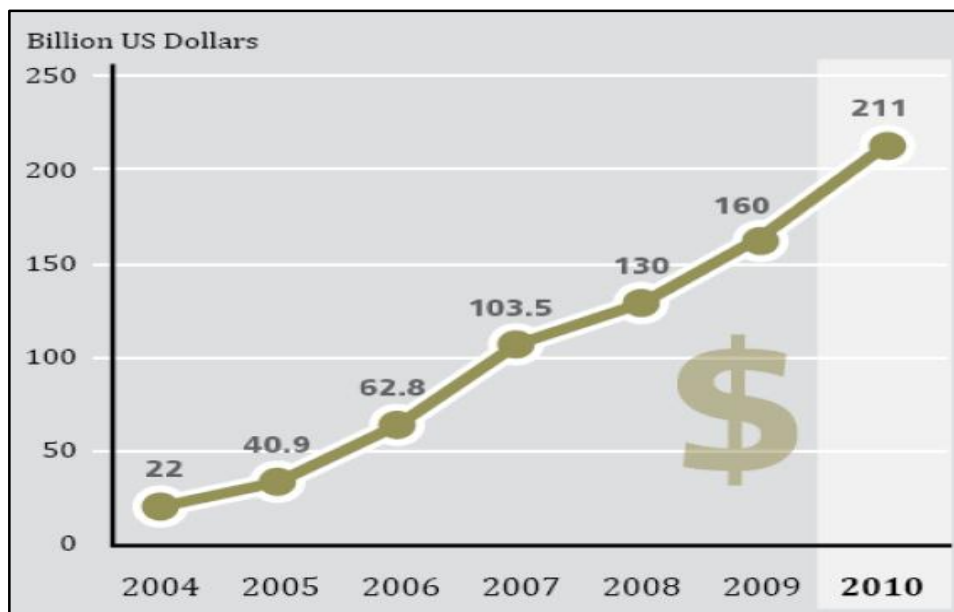
Lo que evidencian las gráficas anteriores es que las grandes potencias como Alemania, Italia y los países de la Unión Europea están realizando en los últimos años importantes inversiones en el desarrollo y mejoramiento de tecnologías para la producción de energías renovables.

1.4.1.4 Económica

La implementación masificada del proyecto de tesis en sistemas fotovoltaicos de mayor capacidad representa una atractiva alternativa de obtener energía renovable, limpia y económica, según estimaciones realizadas por empresas de diversos países dedicadas a este rubro de producción energética se indica que con relación a la inversión total global realizada durante el 2010 se cuenta con una cifra record de 211 billones de dólares americanos, de los cuales 50 billones de dólares americano proceden de China convirtiéndose en el líder por segundo año consecutivo (Figura 8).

En término económicos los países con mayor inversión en energías renovables (EERR) son China, Alemania, EEUU, Italia y Brasil. Por primera vez las inversiones efectuadas por países en desarrollo son mayores a las realizadas por economías desarrolladas, las inversiones en EERR de China representan más de las dos terceras partes de lo correspondiente a los países en desarrollo y más de un tercio de la inversión global en EERR durante el 2010.

Figura 4: Inversión global en EERR, 2005-2010



Fuente: (Horn, 2011)

En relación a la industria solar fotovoltaica, el año 2010 ha sido extraordinario para su desarrollo a nivel mundial, con una producción mundial, de celdas y módulos, mayor al doble de los niveles presentados durante el 2009. Así se estima que la producción en celdas alcanzó 23.9 GW mientras que la de módulos alcanzó 20 GW.

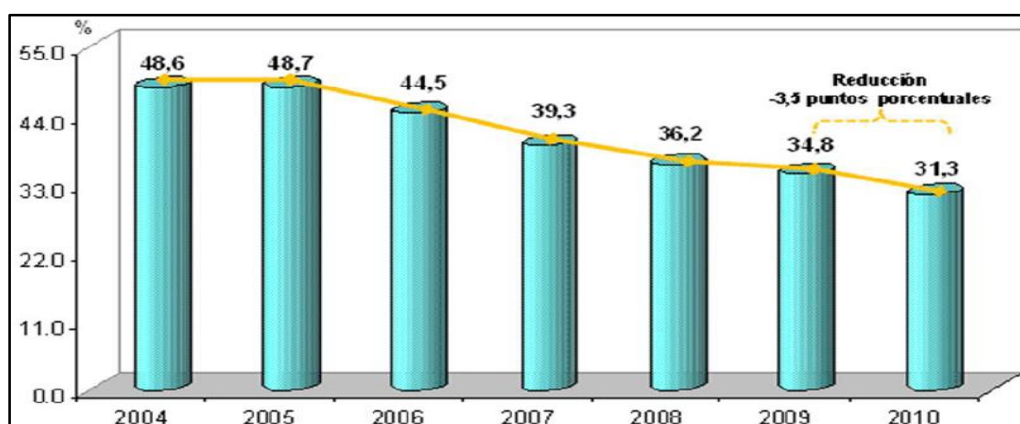
1.4.1.5 Científica

En proyecto estará basado en la aplicación de la investigación científica, en la cual se seguirán las etapas como: diagnóstico, identificación de problemas, análisis de causas y efectos, formulación del problema y planteamiento de la hipótesis; precisando indicadores, su definición y cálculo para la obtención de resultados los cuales serán validados por instrumentos calibrados, también que el diseño aplicado es una propuesta tecnológica genuina e inédita por no haberse encontrado antecedentes de aplicación exactamente iguales, aunque existen prototipos de proyectos similares basados en otros esquemas de control y empleando otros dispositivos, entonces el proyecto se justifica científicamente.

1.4.1.6 Social

La extensión territorial del Perú es de 1'285'216 Km², su población es del 28'220'764 habitantes, de los cuales el 30% de la población se encuentra concentrada en Lima y el 24% es identificada como población rural. Según los datos del Instituto Nacional de Estadística obtenidos en el último censo, la pobreza en el Perú básicamente ha disminuido durante los seis últimos años (Figura 10). Así en el 2004 el porcentaje de pobreza llegaba a 48.6%; durante el 2005 mostró un ligero crecimiento a 48.7% pero en los años posteriores la disminución ha sido constante, aun así para el 2010 se tenía un 31.3 % de pobreza a nivel nacional. (INEI, 2010).

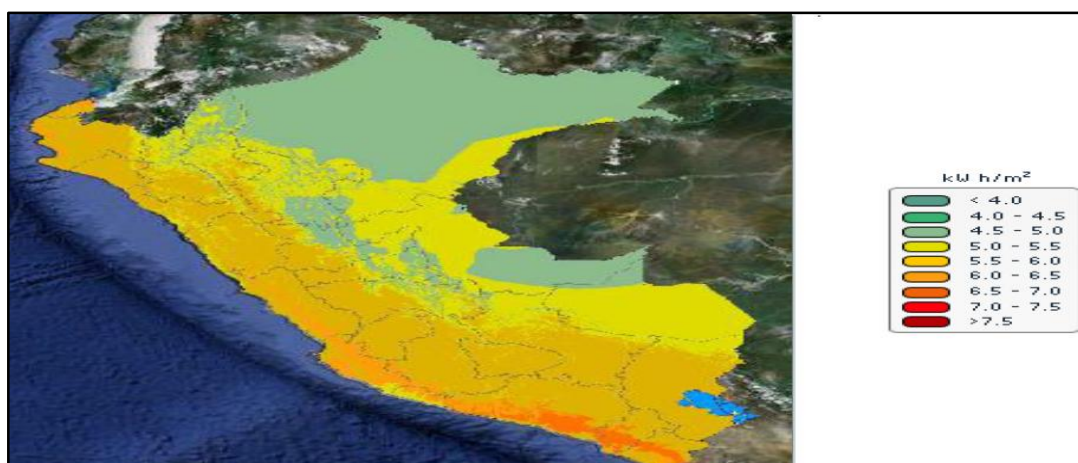
Figura 5: Perú Incidencia de la Pobreza Total, 2004-2010



Fuente: INEI-Encuesta Nacional de Hogares, 2004-2010

Es de gran importancia resaltar los datos de incidencia de pobreza según el área de residencia (Figura 11). Según los datos del Instituto Nacional de Estadística obtenidos en el último censo, se observa que las zonas rurales han concentrado en los últimos años marcadamente los mayores índices de pobreza. Durante el 2004 la pobreza en la zona rural llegó a 69.8% mientras que en la zona urbana este valor fue de casi la mitad con 37.1%. Para el 2010 se presentó disminución de la pobreza en ambas zonas, la zona rural llegó a 54.2% mientras que en la zona urbana este valor fue de casi la tercera parte con un 19.1%. De estos datos se puede observar como la disminución de la pobreza en las zonas urbanas viene siendo más efectivamente atendida que en las zonas rurales.

Figura 6: Mapa de la energía solar Incidente diaria promedio anual



Fuente: SENAMHI-Atlas de Energía solar del Perú 2003.

De la figura anterior se puede concluir en que principalmente la sierra presenta una radiación solar por encima de los 5kW-h/m² la cual es también la zona de mayor pobreza, sin embargo presenta las condiciones más apropiadas para la implementación de sistemas fotovoltaicos, por lo cual se propone el presente proyecto de tesis, con la finalidad de poder mejorar la producción energética en sistemas fotovoltaicos convencionales, como una atractiva alternativa económica, eficiente y limpia de obtener energía, para que por intermedio de las autoridades se pueda ayudar a reducir la demanda energética de las zonas rurales del Perú y ponerla al alcance de los pobladores en situación de pobreza y extrema pobreza para mejorar su calidad de vida, con lo cual se justifica el fin social y el desarrollo de la presente tesis.

1.4.1.7 Ambiental

El modelo energético en el Perú y el mundo actualmente se encuentra teniendo a los combustibles fósiles como principal fuente, esto genera un gran impacto ambiental y no es sustentable debido a que, para satisfacer las demandas de energía actuales, se compromete a la integridad de las futuras generaciones, por lo que se hace necesario establecer un nuevo modelo energético que sea sustentable en el que las energías renovables sean el eje de desarrollo, las fuentes de energía renovables tienen un ciclo de regeneración mayor al de consumo, por lo que son inagotables, el sol es el origen de todas las energías renovables presentes en la tierra, y no solo eso sino también que por estudios se ha estimado que **por cada kW-h de energía solar generado se deja de emitir 0,311 Kg de CO₂ a la atmósfera** (Climate Change, 2014), por esta razón los gobiernos están invirtiendo en el uso de energías renovables, y de hecho en los últimos años la que más se ha venido desarrollando es la fotovoltaica.

Alemania lleva la delantera a nivel mundial en la producción de energía fotovoltaica, en el año 2012 produjo 38.6 gigavatios, también según del ingeniero ambientalista Roland Klepel, las ciudades germanas tienen mucho que envidiar a las ciudades peruanas en cuanto a condiciones climáticas idóneas para producir electricidad fotovoltaica. “Basta comparar la radiación en hora pico que reciben ciudades como Berlín 2.81 kW-h/m² con la radiación que

recibe en hora pico Arequipa, que puede llegar por encima de los 7 kWh/m², así, contando la energía producida por cuatro paneles de 110 vatios (W), en Arequipa se tendría un foco de 100 W funcionando durante 10 horas, mientras en Berlín funcionaría 3.5 horas”, lo cual hace muy atractivo a los sistemas fotovoltaicos para la producción energética de manera eficiente y sin contaminar, lo cual también justifica ambientalmente el desarrollo de la presente tesis para contribuir a los esfuerzos por dejar de emitir emisiones de efecto invernadero como es el CO₂.

1.5 Importancia de la investigación

1.5.1.1 Tecnológica

Los sistemas de generación Solar, llamados equipos de alta eficiencia, aprovechan la disponibilidad de los recursos energéticos renovables durante todos los meses del año, produciendo electricidad de manera continua.

1.5.1.2 De Política Ambiental

En el manejo de un Centro de esparcimiento en zonas ecológicamente protegidas, el suministro eléctrico mediante fuentes renovables de energía, contribuiría a la preservación de los ambientes naturales protegidos, minimizando los impactos ambientales significativos.

Entre los aspectos ambientales significativos que deben ser identificados se consideran las emisiones al aire, descargas al agua, manejo de residuos, contaminación de suelos, generación de lixiviados, uso de materias primas y recursos naturales, entre otros. Dentro de esto, utilizar las fuentes de energía renovable para la generación de electricidad mediante los sistemas híbridos, permitiría la emisión cero de los gases de efecto invernadero, calificando a las actividades del albergue rural como una industria del sector terciario que desarrolla actividades amigables con el ambiente.

1.5.1.3 De la calidad ambiental en la generación de electricidad

Las fuentes de energía renovable; son fuentes de abastecimiento energético que respetan el medio ambiente durante el proceso de generación de electricidad, lo que no significa que no ocasionen efectos negativos sobre el entorno, pero éstos son infinitamente menores si los comparamos con los

impactos ambientales de las energías convencionales (combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón; energía nuclear, etc.) y además son casi siempre reversibles.

Como ventajas medioambientales importantes podemos destacar la no emisión de gases contaminantes como los que resultan de la combustión de combustibles fósiles, responsables del calentamiento global del planeta (CO_2) y de la lluvia ácida (SO_2 y NO_2) y la no generación de residuos peligrosos de difícil tratamiento y que suponen durante generaciones una amenaza para el medio ambiente, como son los residuos radiactivos relacionados con el uso de la energía nuclear.

1.6 Limitaciones de la investigación

1.6.1 Limitación teórica

El proceso de producción de energía mediante sistemas fotovoltaicos es un proceso cuyo modelo matemático dinámico no ha sido totalmente desarrollado, en la actualidad varias investigaciones a nivel internacional constituyen propuestas para condiciones estables, lo cual en la realidad no se da debido principalmente a los factores climáticos que son continuamente alterados por causa del efecto invernadero, la no existencia de un modelo que permita la simulación en condiciones variables tal como sucede en la realidad constituye una limitación teórica para el presente trabajo de investigación.

1.6.2 Limitación metodológica

Dentro de las limitaciones metodológicas, de investigaciones ya desarrolladas se ha encontrado un importante consumo energético por parte del sistema de control, ya que los motores utilizados para posicionar el panel solar deben ser alimentados continuamente, caso contrario el panel por efecto de la gravedad y de las fuerzas que ejercen los vientos hacen que retornen su posición inicial, también el uso de sensores LDR representa un consumo adicional de energía, en la presente investigación se propone otro esquema para el sistema de control cuyo consumo es relativamente del sistema solar.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Marco Referencial

2.1.1 Antecedentes de la investigación

Como parte de la investigación preliminar en bibliotecas y en centro de investigación, se ubicó un conjunto de tesis conteniendo aspectos de la producción energética mediante sistemas fotovoltaicos; seis tesis son los más relevantes, por ello han sido consideradas en este acápite.

Guevara, Sixto (Guevara, 2003).“Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (UNATSABAR)- Perú 2008”. Se consiguió en este Informe Técnico, realizar con el apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), construir y operar un diseño de solarímetro casero, tipo termopila, basado en el cambio de temperatura de un cuerpo opaco desarrollándose el experimento en tres 18 planos, uno horizontal, otro inclinado en dirección de los rayos del sol y el ultimo normal a los rayos solares, de donde se pudo estimar la constante del solarímetro que resulto ser de $52162 \text{ W.s/m}^2\text{°C}$, y mediante la ecuación del solarímetro se pudo construir y estimar la radiación solar diaria la cual resulto ser de 5062 W-h/m^2 .

Tejada, C., & Motoche, L. (2012). En su tesis: "Posicionamiento de paneles solares usando lógica difusa para prácticas de laboratorio de control

automático". Guayaquil-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana-Facultad de Ingeniería Electrónica. Presentan el diseño, construcción e implementación de un sistema modular de laboratorio para posicionamiento de un panel solar según la mayor incidencia del sol en una determinada área por medio de una estructura sólida, circuito eléctrico y electrónico aplicando para ello un control basado en lógica difusa para controlar el movimiento de un motor DC que esta acoplado mecánicamente al eje del panel solar, en donde dicho panel entrega energía a una batería a través de un regulador de voltaje para su posterior uso por medio de un inversor de corriente, como **resultado** se obtuvo una herramienta para los estudiantes de las materias de control automático y energía y medio ambiente, mediante el diseño, la construcción e implementación de una estructura, circuito electrónico y control, usando lógica difusa para que un sistema de posicionamiento solar fotovoltaico se encargue de controlar la posición de un panel solar en un solo eje, mediante un actuador y en donde se pueda mediante el software Labview, visualizar los datos de corriente y voltaje así como el estado de los sensores que forman parte del sistema. A este proyecto también se le ha añadido algunos experimentos y pruebas que hacen que el sistema sea didáctico para que los estudiantes de la materia de control automático realicen prácticas. Para conseguir este propósito se aplicó la siguiente **metodología experimental** en primer lugar se construyó una estructura robusta en la cual se usó un motor DC pero la velocidad de este era muy excesiva para nuestra aplicación ya que el movimiento aparente del sol es lento por lo cual se debió acoplar un sistema de reducción de velocidad como lo es la caja reductora de 36 rpm a 1 rpm, para el proyecto se usaron sensores LDR los cuales reaccionaron de manera estable en su respuesta a los cambios de luz durante los días de prueba haciendo que el panel tenga una respuesta de movimiento según la posición del sol y que esta no era oscilante en el tiempo ya que esto provocaría desgastes innecesarios de energía debido al continuo movimiento. Se tuvo que aplicar también criterios y diseños para el control de fuerza debido a que existían corrientes de retorno que hacían que el regulador de voltaje se reinicie constantemente provocando que el sistema se pare por tiempos; para solucionar este inconveniente, se tuvo que usar en el

circuito de fuerza, diodos de corrida libre, haciendo que esta corriente se quede en el motor y no vaya al regulador. Luego de esto el método de defuzzificación que se implementó para el presente trabajo fue el método de los máximos debido a que nuestro sistema tenía una configuración de salidas por relé que nos permitían tres estados: giro a la derecha, giro a la izquierda y sin giro. El sistema propuesto es una alternativa económica en la generación de energía que trata de incentivar el uso de energías renovables para satisfacer la demanda de electricidad sin tener que destruir el medio ambiente, dentro de las **desventajas** que se tuvieron en dicho trabajo se tiene que el sistema debe de estar conectado a la PC para su funcionamiento con el programa en LabVIEW ejecutándose, y también el consumo de energía que demanda la continua alimentación a los motores DC, para el movimiento del panel, y el funcionamiento de los sensores LDR es alimentado externamente.

Zekkour Z. A. y Gonzáles A. T. (1995) realizo un diseño de un sistema fotovoltaico para la alimentación de una clínica rural, en el cual se muestran las características generales para la implementación de dicho sistema de suministro de energía y la comparación de los estudios técnicos económicos entre el sistema de suministro de energía fotovoltaico y un suministro de energía por medio de un moto generador alimentado por diésel. Los autores recomiendan para zonas rurales el uso del sistema fotovoltaico, aunque sea de un mayor costo inicial, pero comentan que ya que los costos de mantenimiento y operación son menores, se recupera la inversión más rápidamente.

Gasquet H. (2000) escribió un manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. En este manual se describe el funcionamiento e instalación de los equipos de energía solar. El manual contiene nociones básicas y la terminología relacionadas con la radiación solar, el diagrama en bloques de un sistema fotovoltaico para uso doméstico, el análisis de cada bloque en detalle, los pasos de diseño de un sistema FV con cargas de CC, los pasos de diseño de un sistema FV con cargas de CC y AC, guía para la instalación de un sistema FV y una guía para el mantenimiento de un sistema FV.

Beltrán, J. (2007). En su tesis de Maestría en Ciencias "Prototipo fotovoltaico con seguimiento del Sol para procesos electroquímicos". Cuernavaca-México: Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico-Coordiación de Mecatrónica. Presenta el desarrollo de un sistema fotovoltaico con seguidor solar para alimentación de energía a procesos de electrólisis, su desarrollo se basó en la aplicación específica y se le añadió un seguidor solar para mejorar su eficiencia, para el diseño del seguidor solar se realizó un estudio detallado de las características de los módulos fotovoltaicos para conocer de manera previa la ganancia que se podía obtener con el seguidor solar y la energía que producen, en base al análisis de las características y funcionamiento de los diferentes seguidores solares en el mercado se determinó cuál de ellos presenta el mejor rendimiento a lo largo del año, se diseñaron y construyeron los componentes específicos que requirió el sistema de acuerdo a la aplicación, finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema con lo que se obtuvo un panorama general de su rendimiento bajo distintas condiciones y épocas del año y se demostró que resulta adecuado como alimentación de la aplicación específica, como **resultado** se obtuvo el prototipo funcional de un sistema fotovoltaico para su aplicación como fuente de energía para procesos electroquímicos, con la adición al sistema de un seguidor solar se pudo mejorar su eficiencia, con este prototipo se pudo proveer energía a los procesos que actualmente se realizan en el CIICAp con solo la energía producida en los módulos, siendo sólo necesario el uso de las baterías en condición de lluvia cuando los módulos presentan su menor rendimiento, Para conseguir este propósito se aplicó la siguiente **metodología experimental** en primer lugar se analizaron los diferentes tipos de seguidores en el mercado obteniendo características de cada una para su análisis, se obtuvo la trayectoria aparente que dibujan en el espacio, además de que se analizó la trayectoria de seguimiento de cada seguidor de acuerdo a su eje de rotación para obtener una idea del algoritmo de control que se debe seguir, luego se tuvo que efectuar la simulación de la ganancia obtenida con cada tipo de seguidor solar, el análisis de su trayectoria y eje de rotación, el entendimiento de las ecuaciones para obtener la

trayectoria aparente del Sol y la obtención del algoritmo de control en los seguidores solares permitieron desarrollar un seguidor solar controlado por cálculos astronómicos con una resolución que se encuentra dentro de las especificadas en los seguidores solares comerciales, finalmente se desarrollaron las pruebas del sistema lo cual permitió obtener un panorama general del funcionamiento de los módulos fotovoltaicos bajo diferentes condiciones de operación. Su uso y aplicación puede entonces diseñarse de manera más objetiva para garantizar el funcionamiento del sistema sin problemas de abastecimiento, tomando en cuenta los factores que afectan su rendimiento, dentro de las **desventajas** tenemos que el regulador de voltaje desarrollado presentó pérdidas muy considerables por lo que se debe mejorar y migrar en tecnología al uso de convertidores conmutados más eficientes, para que el sistema opere en mejores condiciones se necesitó de un banco de baterías ya que el proceso electroquímico demanda un importante consumo de energía, otra desventaja es el movimiento que altera la posición del panel solar que se dio por efecto del viento.

Pérez, R. (2012). En su tesis: "Diseño de un Sistema de Energía Solar Autónomo basado en Equipos y Dispositivos Electrónicos Modernos". Universidad Católica de Santa María-Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales-Ingeniería Electrónica. Presenta un diseño como propuesta de solución al problema de generación de voltaje de corriente alterna, de baja potencia como lo que se puede apreciar en los sistemas fotovoltaicos, para ello propone la implementación electrónica de con dispositivos de última generación, y está basado en convertidores multicelda apilables para aumentar la potencia del sistema, como **resultado** se obtuvo un sistema fotovoltaico basado en dos paneles solares con componentes, dispositivos y formatos electrónicos que permitieron aumentar la potencia generada mediante la utilización de convertidores multicelda apilables, el ciclo de trabajo que se calculó en teoría para el convertidor elevador era del 90%, pero en la práctica sólo se logró conseguir un ciclo de trabajo del 82%, por lo que se recomienda el uso de otro tipo de convertidores como el Flyback ya que éste depende de la relación de transformación para la elevación del voltaje

aunque su costo es mayor, también que los convertidores Multicelda Apilables por sus características de bajo contenido armónico y balance natural de los capacitores permitieron obtener una mejoría de la señal de voltaje de salida, dentro de las **desventajas** tenemos que luego de la investigación el sistema propuesto no consiguió elevar el ciclo de trabajo del convertidor elevador basado en multiceldas apilables al 90%, si no que solo se logró un 82% por lo que se recomienda el uso de otro tipo de convertidores como el Flyback, también que el diseño propuesto solo soporta 2 paneles solares cada uno con su respectiva batería, por lo que si se quisiera incrementar la potencia de más paneles se necesitaría un sistema convertidor elevador basado en multiceldas para cada dos paneles lo cual incrementa su costo considerablemente.

Gonzales, M., Cohaila, A., & Paredes, E. (2007). En su proyecto de investigación: "Diseño de un sistema de seguimiento solar de un eje para el aprovechamiento de la energía solar en sistemas fotovoltaicos". Tacna-Perú: Facultad de Ciencias-UNJBG. Presentan el diseño y la implementación de un Sistema de Seguimiento Solar automatizado basado en el microcontrolador PIC 16F84, en la memoria del PIC esta embebido un programa de aplicación que envía una secuencia de pulsos digitales a un motor de posicionamiento angular, el motor esta acoplado a un engranaje de un eje rotacional que permite el desplazamiento horario de un panel fotovoltaico durante un tiempo de 6,7 minutos y un desplazamiento en giro antihorario de retorno a la posición inicial, el desplazamiento angular de 1,2 grados permite orientarlo en la perpendicular de los rayos solares a cualquier hora del día con un margen de error inferior a los 2,4 grados en total, para la evaluación del seguidor solar de un eje, se tomaron 72 pasos en un tiempo de 8 horas de ángulo azimutal. El monitoreo de la radiación solar se realizó con una tarjeta de adquisición de datos USB interfaceado al computador. Los datos se almacenan en archivo de hoja Excel, para luego ser comparados con datos de un panel fotovoltaico estático. Como **resultado** se obtuvo un módulo seguidor solar con un sistema de control de lazo abierto basado en el microcontrolador PIC 16F84 de un eje con elementos y componentes electrónicos accesibles en el mercado local orientado en la dirección del desplazamiento del Sol, para la evaluación

del seguidor solar de un eje se tomaron 72 pasos en un tiempo de 8 horas de ángulo azimutal, para la evaluación se utilizó un solarímetro y la tarjeta de adquisición de datos USB-6008 de National Instruments. Los datos fueron adquiridos en una computadora portátil y guardada en un archivo Excel para su posterior análisis, para conseguir este propósito se aplicó la siguiente **metodología experimental** en primer lugar se implementó el panel solar en una plataforma móvil controlada por un motor DC, y un sistema de engranajes el cual a la vez fue controlado por el microcontrolador el costo aproximado del sistema de control asciende entre 100 y 120 nuevos soles, Al ser un modelo experimental, el programa de usuario que corre dentro del microcontrolador puede ser modificado para mayor funcionalidad, como ser en estación de verano empezar el seguimiento del Sol desde tempranas horas (aprox. 7:30 am) hasta las 5.30 de la tarde en que se oculta el Sol, se demostró que en un seguidor solar a pequeña escala, su panel fotovoltaico obtiene la máxima captación de energía durante todo el día, de manera que el tiempo de vida de las baterías se alarga, con lo cual el sistema aumenta entre un 15 y 20% los kW-h generados a través del campo fotovoltaico estático, también se determinó que el consumo de corriente del circuito de control y los demás elementos es bajo, aproximadamente 0,65 A, con una potencia de consumo de 3,3W, dentro de las **desventajas** tenemos que el viento llevó a un estado de inestabilidad al mecanismo de giro, esto no se tuvo en cuenta al momento del diseño y su construcción, pero deja abierto un tema a discutir en sistemas de seguimiento solar con control realimentado, la fuerza del viento (como variable perturbadora) debe ser eliminada, el seguidor solar de un eje de este proyecto presenta un modelo de control a lazo abierto, un modelo de control a lazo cerrado elimina las perturbaciones.

2.2 Marco legal

Como tema de investigación se realizó el estudio del marco legal correspondiente a los sistemas de energías renovables, en la cual se hace referencia las normas y políticas del sector de energía y minas, gobierno nacional, regional o municipal.

La Descripción del marco vigente La regulación vigente en el Perú otorga un tratamiento regulatorio diferenciado a las plantas de generación hidráulica de más de 20MW (en adelante Recursos Energéticos Renovables Convencionales -RERC-) y al resto de fuentes de energía de origen renovable no convencional (en adelante Recursos Energéticos Renovables No Convencionales -RER), incluidas las plantas hidroeléctricas con potencia igual o menor de 20MW.

El Decreto Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables (Decreto Legislativo N°1002, publicado el 2 de mayo del 2008), en su exposición de motivos, declara “necesario dictar incentivos para promover la inversión en la generación de electricidad con el uso de fuentes de energía renovable “y “entiende como Recursos Energéticos Renovables (RER) los recursos energéticos tales como biomasa, eólico, solar, geotérmico y mareomotriz.

2.2.1 leyes:

- Ley N° 1002: Promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.

Energías renovables para electrificación rural (pequeños y medianos sistemas)

- Ley N° 28749, Ley general de electrificación rural:

Se busca permitir el acceso al suministro de electricidad, de los pueblos del interior del país, como un medio para contribuir a su desarrollo económico-social, mitigar la pobreza, mejorar su calidad de vida y desincentivar la migración del campo a la ciudad, en el marco de una acción conjunta del Estado para el desarrollo rural integral.

Con la implementación de proyectos de electrificación rural, se espera incrementar el poder adquisitivo de la población rural, mediante la promoción de la electricidad en actividades productivas, asimismo se requiere identificar, evitar, prevenir, mitigar o compensar los impactos culturales, sociales y ambientales que estos pudiera ocasionar.

Actualmente en el Perú, menos de la quinta parte de la población total carece de servicio eléctrico. En el contexto actual de globalización e integración regional, esta situación representa una desventaja respecto a los

demás países del continente, cuyos índices de electrificación en la mayoría de los casos son superiores, ocupando el lugar 22 de 26 países en América Latina.

➤ **Ley N° 25844:**

La Dirección General de Electricidad del Ministerio de Energía y Minas se complace en presentar con esta edición, el texto actualizado de la Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento. Este marco normativo ha permitido llevar a cabo una reforma cuyo balance es, sin duda, positivo para el país, toda vez que asegura una oferta eléctrica confiable, el funcionamiento eficiente del Sistema y la aplicación de una tarifa para los consumidores finales que considera el uso óptimo de los recursos energéticos disponibles.

2.2.2 Resolución

➤ D. S. N° 050-2008-MEM, Reglamento de la generación de electricidad con energías renovables.

➤ D. S. N° 011-2009-EM, Modificación del D. S. N° 025-2007-EM, Reglamento de la Ley N° 28749:

Norma técnica.

➤ Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales - Resolución Directoral N° 016-2008-EM/DGE.

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Modulo fotovoltaico:

Para comprender Las células solares constituyen un producto intermedio de la industria fotovoltaica: proporcionan valores de tensión y corriente limitados, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin un soporte mecánico. Después, son ensambladas de la manera adecuada para constituir una única estructura: los módulos fotovoltaicos. El módulo fotovoltaico es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las células fotovoltaicas. Los módulos pueden tener diferentes tamaños (los más utilizados tienen superficies que van de los 0,5 m² a los 1,3 m²) y constan normalmente de 36 células conectadas eléctricamente en serie.

- Instalaciones conectadas a la red eléctrica.
- Instalaciones aisladas de la red eléctrica.

Instalaciones conectadas a la red eléctrica:

Sistemas conectados a la red, esta aplicación consiste en generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos e inyectarla directamente a la red de distribución eléctrica. En cuanto a las instalaciones conectadas a la red se pueden encontrar dos casos:

- Centrales fotovoltaicas:

En las que la energía eléctrica generada se entrega directamente a la red eléctrica, como en cualquier otra central convencional de generación eléctrica.

- Sistemas fotovoltaicos en edificios o industrias:

En los que una parte de la energía generada se invierte en el mismo autoconsumo del edificio, mientras que la energía excedente se entrega a la red eléctrica. También es posible entregar toda la energía a la red; el usuario recibirá entonces la energía eléctrica de la red, de la misma manera que cualquier otro abonado al suministro.

2.3.2 Panel solar fotovoltaico

Placas compuestas de células solares, que a su vez lo están de obleas finas de silicio. El silicio es un elemento químico que por sus características naturales se activa cuando recibe radiación solar. Esto es, los electrones del átomo de silicio, la parte que rodea el núcleo, comienzan a moverse y dicho movimiento genera la energía fotovoltaica en forma de electricidad de corriente continua.

Figura N° 7: módulo de instalación fotovoltaico



Fuente: (Méndez & R., 2012)

2.3.3 Potencia eléctrica

Es el ritmo al que se usa o genera la energía, medida en vatios (W). La capacidad o potencia de una planta se mide en vatios, pero la energía generada o producida anualmente se mide en vatios-hora (Wh) o kilovatios-hora (KWh) entre otros.

2.3.4 Consumo eléctrico

La energía consumida durante un tiempo determinado y medida en vatios-hora (Wh), o en kilovatios-hora (KWh).

2.3.5 Electricidad

Es una propiedad física que se manifiesta a través de la atracción o del rechazo que ejercen entre sí las distintas partes de la materia. El origen de esta propiedad se encuentra en la presencia de componentes de carga negativa (electrones) y otros con carga positiva (protones). Está claro, por tanto, que la electricidad se ha convertido en un elemento indispensable en este sentido y ello ha traído consigo graves consecuencias. Me refiero al hecho de que la necesidad que tenemos de la misma para desarrollar nuestro día a día ha supuesto que la misma se tenga que producir masivamente para satisfacer la demanda que existe en todo el mundo. Un hecho que perjudica notablemente al medio ambiente.

2.4 Marco Teórico

2.4.1 Energía solar:

Por ello, en la actualidad se está desarrollando, una serie de proyectos e iniciativas de diversa índole con el objetivo claro de utilizar recursos naturales existentes para generar electricidad sin necesidad de dañar nuestro entorno. Así, por ejemplo, los paneles solares captan la energía radiante del sol y por medio de estos sistemas de captación la convierten en electricidad para poner en funcionamiento desde luz hasta equipos de climatización. De dónde procede la energía del Sol debemos transportarnos al interior de esta estrella gaseosa de casi 700 mil km de radio, debido a la inmensa fuerza de gravedad y a temperaturas de 16 millones de grados en el interior del Sol, dos átomos de

hidrógeno se fusionan en uno de helio y la diferencia de masa se convierte en energía (recordemos que $E = m \times c^2$). La temperatura exterior del Sol, que en realidad es la de la fotosfera que es la parte del Sol que vemos desde la Tierra, es de 5.780 grados Kelvin. Cero grados Kelvin (0 K) es la temperatura del cero absoluto, es decir ningún elemento puede ser más frío que ese límite, y equivale a -273°C . (Sánchez, 2013)

La órbita que describe la Tierra alrededor del Sol es una elipse, con el Sol en uno de sus vértices. El 21 de diciembre la Tierra está más alejada del Sol, mientras el 21 de junio está más cerca. La distancia media entre el Sol y la Tierra es de aproximadamente 150×10^6 km, y se llama una unidad astronómica. (Weider, 1982)

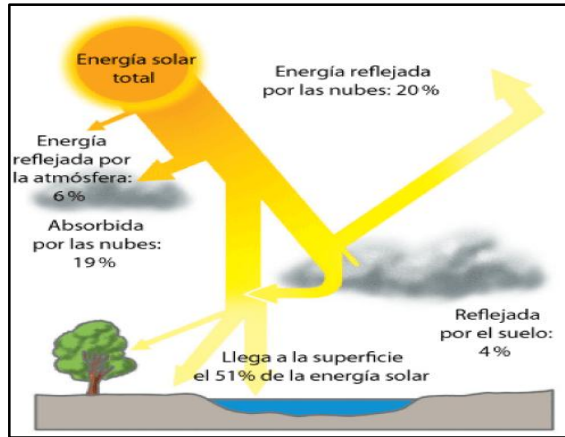
Desde nuestra pequeña perspectiva humana, la energía solar es una fuente inagotable de energía. La dificultad de su aplicación reside en que no se puede almacenar directamente y llega a la Tierra de una manera dispersa (debido a la interacción de los fotones de luz con la atmósfera). Pero, incluso así, el hombre utiliza la radiación solar para obtener calor (mediante los procesos térmicos) y electricidad (a través de los módulos fotovoltaicos). (Beltrán E. , 2013)

La energía solar presenta dos características que la diferencian de las fuentes energéticas convencionales:

- **Dispersión:** Su densidad alcanza 1 kW/m^2 , muy por debajo de otras densidades energéticas, lo que hace necesarias grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.
- **Intermitencia:** Hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada.

Uno de los principales factores que repercute en la cantidad de energía recibida es la atmósfera del planeta ya que ella actúa como un filtro al flujo energético incidente, tal como se observa en la Figura siguiente.

Figura Nº 8: Pérdidas de energía solar en la atmósfera



Fuente: (Jutglar, 2011)

Algunos datos de interés:

- Potencia del Sol = 4×10^{26} W
- Energía del Sol que llega a la Tierra = 5.5×10^{24} J/año
- Intensidad de radiación que llega en las capas altas de la atmósfera = 1.38 kW/m².

Intensidad de la radiación que llega a la superficie terrestre = 900 W/m²

2.4.2 Radiación Solar

La radiación que emite un cuerpo en función de la temperatura viene dada por la ley de

Stefan-Boltzman:

$$M = \sigma \cdot T^4 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

M = Densidad total de flujo radiante emitida por cuerpo en W/m²

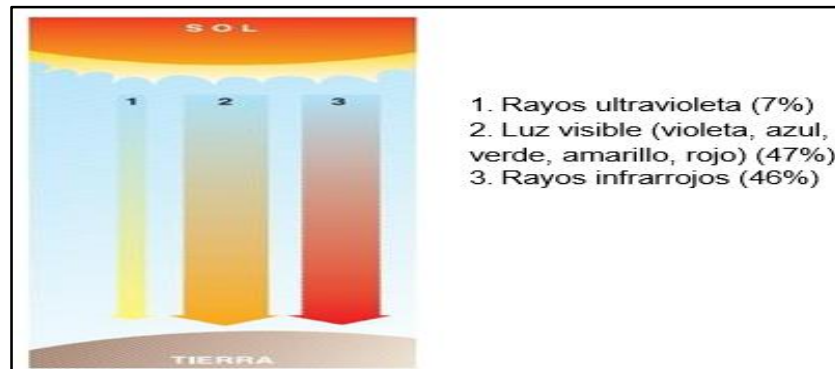
σ = Constante de Stefan-Boltzman = 5.67×10^{-8} [W m⁻² K⁻⁴]

T = Temperatura del cuerpo en K

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las que recibimos, comprendidas entre 0,4 μ m y 0,7 μ m, pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible, de la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en

la ultravioleta, tal como se puede observar en la Figura 16. Unidades: W/m^2 (Beltrán E. , 2013)

Figura N° 9: Radiación Solar sobre la tierra



Fuente: Ente Vasco de la Energía

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir los siguientes tipos de radiación:

Radiación directa: Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección.

Radiación difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, se denomina difusa, y va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc.

Radiación reflejada o albedo: Es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre.

Radiación global: Es la radiación total, es decir, la suma de las tres radiaciones anteriormente descritas.

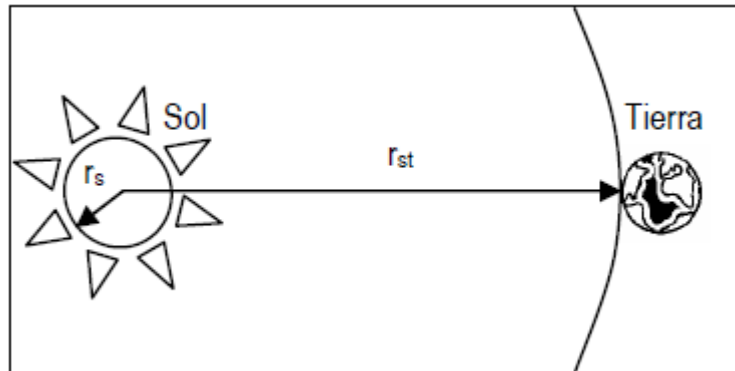
El Sol irradia energía en todas las direcciones y parte de este flujo llega a la Tierra a través del espacio vacío. Para calcular la radiación del Sol que llega a $1 m^2$ de la Tierra procedemos de la siguiente manera (Sánchez, 2013):

Datos: Radio del Sol: $r_s = 695500 \text{ km}$

Distancia media Sol-Tierra: $r_{st} = 149.6 \times 10^6 \text{ km}$

Temperatura en la superficie del Sol = 5780 K

Figura N° 10: Representación espacial de la distancia entre el sol y la tierra



Fuente: (Sánchez, 2013)

Entonces se puede estimar la radiación emitida por el Sol o densidad total de flujo radiante emitida por el sol en W/m^2 , usando la ley de Stefan-Boltzman:

$$M_{sol} = \sigma \cdot T^4 = (5.67 \times 10^{-8} Wm^2K^4) \cdot (5780K)^4$$

$$M_{sol} = 63284071.5 W/m^2 = 63.28 MW/m^2 \dots\dots\dots (6)$$

Como la cantidad total de radiación en la superficie del Sol debe ser igual a la radiación en la órbita de la Tierra (la energía no se destruye), entonces:

$$M_{sol} \times A_{sol} = M_{tierra} \times A_{sol-tierra} \dots\dots\dots (7)$$

También de la figura 17 se tiene que:

$$A_{sol} = \pi \cdot r_s^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$A_{sol-tierra} = \pi \cdot r_{st}^2 \dots\dots\dots (9)$$

Reemplazando ecuaciones 4 y 5 en 3, tenemos:

$$M_{tierra} = M_{sol} \times \frac{A_{sol}}{A_{sol-tierra}} \dots\dots\dots (10)$$

Lo cual es equivalente a:

$$M_{tierra} = M_{sol} \times \left(\frac{r_s^2}{r_{st}^2} \right) \dots\dots\dots (11)$$

Finamente reemplazado valores:

$$M_{tierra} = M_{sol} \times \left(\frac{r_s^2}{r_{st}^2} \right) = 63284071.5 W/m^2 \times \left(\frac{695500 \text{ km}}{149.6 \times 10^6 \text{ km}} \right)^2$$

$$M_{tierra} = 1367.8 W/m^2 \dots\dots\dots (12)$$

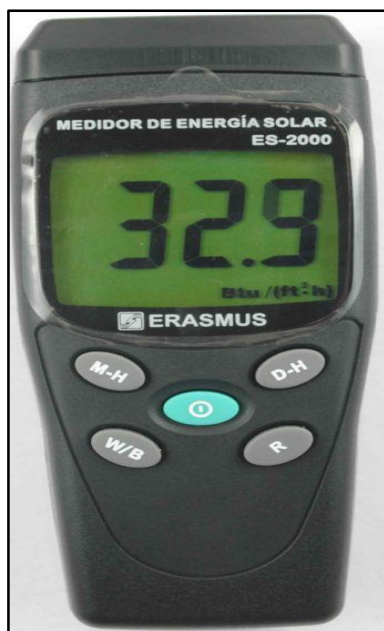
Este valor se conoce como la **constante solar** y se usa en cálculos de radiación solar para sistemas fotovoltaicos y termo solares. Para medir la radiación solar se dispone principalmente de algunos indicadores.

2.4.3 Irradiancia (I)

Es el valor instantáneo de la energía que llega por cada unidad de tiempo y por cada unidad de área. La irradiancia se especifica por cada punto de una superficie y en muchos casos, varía de un punto a otro. Tiene unidades en: W/m^2 .

La irradiancia también es el valor que indica el solarímetro en W/m^2 o $BTU/(h \cdot ft^2)$.

Figura 11: Solarímetro marca Erasmus modelo ES-2000



Fuente y Elaboración: <http://www.erasmus.com>

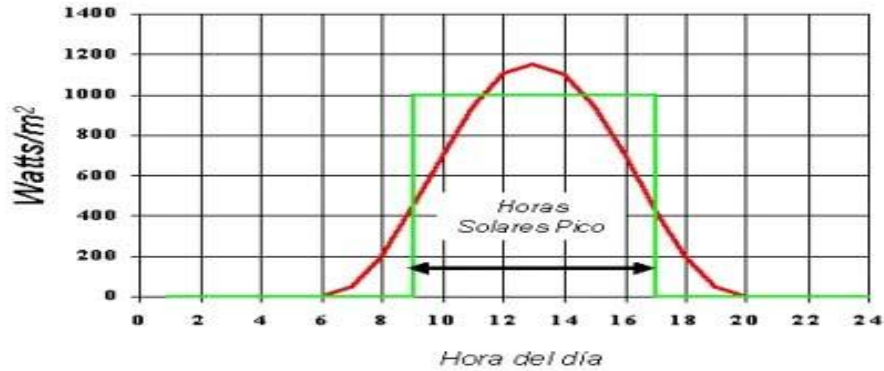
2.4.4 Irradiación diaria o insolación diaria (H)

La Irradiación Solar o insolación es la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la tierra en un día concreto (insolación diaria) o en un año (insolación anual). Básicamente eso significa la cantidad de luz solar que brilla sobre nosotros, Unidades: $kW-h/(m^2 \cdot día)$.

La Irradiación solar es el área bajo la curva que corresponde a la irradiancia registrada durante un día, aunque una aproximación puede ser calculando el

área del rectángulo generado por una irradiancia de 1000 W/m^2 multiplicado por las Horas Pico Solar (HPS) durante un día.

Figura N° 12: Curva de Irradiancia y horas solares pico (insolación)



Fuente: Instituto de Investigaciones de Chihuahua

En la Tabla N° 2, podemos observar los valores de irradianción solar promedio en la ciudad de Huancayo, medidos en la Estación Climatológica del Huayao.

Tabla 1: Irradiación solar diaria media (Huancayo)

| Mes | En | Fe | Ma | Ab | Ma | Ju | Ju | Ag | Se | Oc | No | Di | Medi |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| | e | b | r | r | y | n | l | o | p | t | v | c | a |
| I(kWh/m ²) | 5 | 4,9 | 4,7 | 4,7 | 4,6 | 4,4 | 4,5 | 4,8 | 4,9 | 5,3 | 5,4 | 5,2 | 4,9 |

Fuente: Estación Climatológica del Huayao

2.4.5 Horas pico solar (HPS)

Se denomina así al número de horas de radiación solar efectiva (1000 W/m^2) en un día, también se entienden como las horas de luz solar tomadas a una Irradiancia de referencia de 1000 W/m^2 en un día.

De donde el modelo que relaciona la HPS con la Irradiación (H), en un día concreto es:

$$H = I_R \times \text{HPS} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

H = Irradiación solar diaria ($\text{kW} - \text{h/m}^2 \cdot \text{día}$)

$I_R = 1$: Irradiancia de referencia (kW/m^2)

HPS= Numero de horas pico solar (horas)

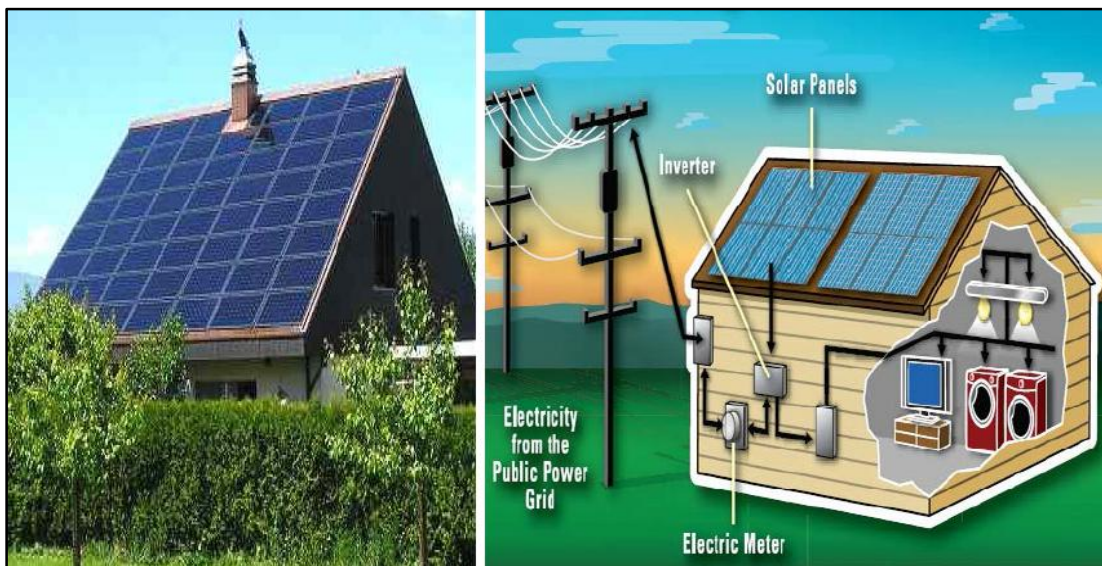
“En términos matemáticos la Irradiación solar diaria es numéricamente igual a número de horas pico solar”, lo cual debe ser igual al área bajo la curva de Irradiancia diaria.

Figura Nº 13: Central fotovoltaica



Fuente: (Méndez & R., 2012)

Figura Nº 14: Uso de energía solar y de la red eléctrica



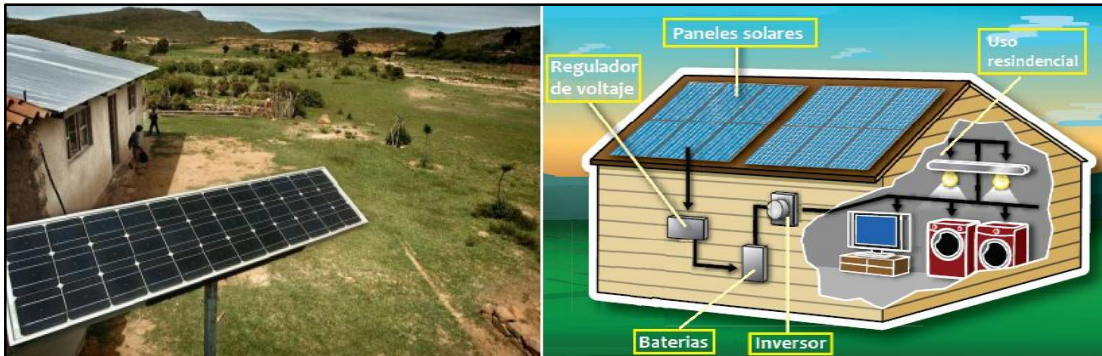
Fuente: (Méndez & R., 2012)

2.4.5.1 Instalaciones aisladas de la red eléctrica

Los sistemas aislados usan principalmente la captación de energía solar mediante paneles fotovoltaicos y la almacenan en baterías, dicha energía es consumida en el propio centro de generación para cubrir pequeños consumos eléctricos en el mismo lugar donde se produce la demanda. O en otras aplicaciones tales como:

- La electrificación de viviendas alejadas de la red eléctrica convencional, básicamente electrificación rural.

Figura Nº 15: Electrificación rural



Fuente: (Méndez & R., 2012)

- Servicios y alumbrado público: iluminación pública mediante farolas autónomas de parques, calles, monumentos, paradas de autobuses, etc. Con la alimentación fotovoltaica de luminarias se evita la realización de zanjas, canalizaciones, necesidad de conexión a la red eléctrica, etc.

Figura Nº 16: Iluminación pública con paneles solares.



Fuente: (Méndez & R., 2012)

2.4.5.2 Componentes de un sistema fotovoltaico

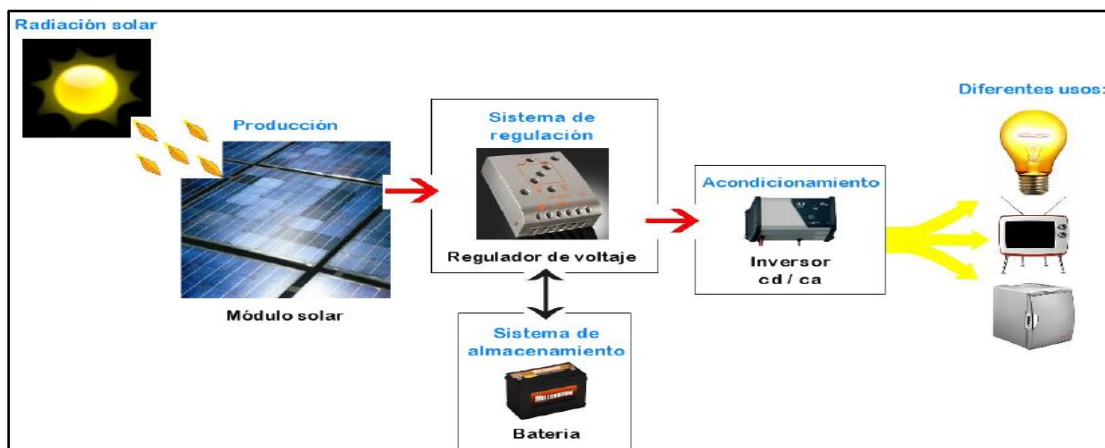
Consta principalmente de los siguientes elementos (Tejada & Motoche, 2012):

- El elemento principal de energía que es el sol.
- Módulo, panel o arreglo de paneles solares.
- Estructura y cimientos del arreglo.
- Regulador/es de voltaje, típicamente un controlador de carga de batería/s.
- Batería/s de almacenamiento eléctrico y un recinto para las mismas.
- Un inversor de corriente de corriente continua (DC) a corriente alterna (AC) o un sistema acondicionado para conversión de DC a AC para uso de equipos normalmente de 120 Vac.

Un sistema solar fotovoltaico no siempre consta de la totalidad de los elementos aquí descritos.

Puede prescindir de uno o más de éstos, dependiendo del tiempo, época de operación, la naturaleza de los recursos energéticos disponibles en el lugar de la instalación, tipo y tamaño de las cargas a alimentar.

Figura N° 17: Sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica



Fuente: (Tejada & Motoche, 2012)

2.4.5.3 Paneles solares

Para poder obtener la energía eléctrica a través de la radiación solar se emplean paneles solares, los cuales emplean el principio fotovoltaico para llegar a cabo esta tarea.

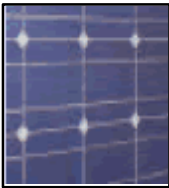
Los paneles fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas de silicio monocristalino, policristalino o amorfas. La diferencia entre ellas radica en el procedimiento de fabricación. Las células de silicio monocristalino se obtienen a partir de silicio muy puro, que se refunde en un crisol junto con una pequeña proporción de boro. Una vez que el material se encuentra en estado líquido se le introduce una varilla con un cristal germen de silicio, que vuelve a crecer con nuevos átomos procedentes del líquido, y quedan ordenados siguiendo la estructura del cristal. De esta forma se obtiene un monocristal dopado, que luego se corta en obleas de aproximadamente 3 décimas de milímetro de grosor. Estas obleas se introducen después en hornos especiales, dentro de los cuales se difunden átomos de fósforo que se depositan sobre una cara y alcanzan una cierta profundidad en su superficie. Posteriormente, y antes de

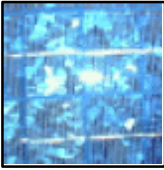

realizar la serigrafía para las interconexiones superficiales, se recubren con un tratamiento antirreflexivo de bióxido de titanio o zirconio.

En las células policristalinas, en lugar de partir de un monocristal, se deja solidificar lentamente sobre un molde la pasta de silicio, con lo cual se obtiene un sólido formado por muchos pequeños cristales de silicio, que pueden cortarse luego en finas obleas policristalinas. Las células amorfas, como su nombre lo indica, no poseen una estructura cristalina. Precisamente esa simplificación en la estructura conduce a un abaratamiento drástico de las mismas. La eficiencia de un panel es mayor cuanto mayor son los cristales; pero, también, su peso, grosor y costo.

La producción de electricidad varía linealmente a la luz que incide sobre el panel; un día enteramente nublado equivale aproximadamente a un 10 % de la intensidad total del sol, y el rendimiento del panel disminuye en proporción a este valor. El rendimiento de un panel fotovoltaico depende de la intensidad de la radiación luminosa y de la temperatura de las células solares. La siguiente Tabla 3, muestra la comparación entre los tres distintos tipos de paneles fotovoltaicos.

Tabla 2: Eficiencia de cada tipo de panel FV según los tipos de células.

| Tipo de célula | Rendimient o Laboratorio | Rendimient o Directo | Característica s | Fabricación |
|---|--------------------------------|-------------------------|---|--|
| Monocristalin o  | 24 % | 15-18% | Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí. | Se obtiene de silicio puro fundido y se dopa con boro y fósforo. |

| | | | | |
|--|--------|--------|--|--|
| Policristalino  | 19-20% | 12-14% | La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos de azules. | Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización. |
| Amorfo  | 16% | <10% | Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible en células. | Tiene la ventaja de depositarse en forma de láminas delgadas y sobre sustrato como vidrio. plástico. |

Fuente: (Beltrán E. , 2013)

2.4.5.4 Regulador de voltaje

Es el elemento que regula la inyección de corriente desde los paneles a la batería. El regulador interrumpe el paso de energía cuando la batería se encuentra totalmente cargada evitando así los negativos efectos derivados de una sobrecarga. En todo momento el regulador controla el estado de carga de la batería para permitir el paso de energía eléctrica proveniente de los paneles solares cuando esta empieza a bajar.

Figura N° 18: Regulador de voltaje



Fuente: (Tejada & Motoche, 2012)

2.4.5.5 Banco de baterías

Almacena la energía de los paneles solares para los momentos en que no hay sol, o para los momentos en que las características de la energía proporcionada por los paneles no son suficientes o adecuadas para satisfacer la demanda. La naturaleza de la radiación solar es variable a lo largo del día y del año, la batería es el elemento que solventa este problema ofreciendo una disponibilidad de energía de manera uniforme durante todo el año.

2.4.5.5.1 Batería de ciclo profundo.

Son dispositivos que almacenan energía eléctrica mediante procesos electroquímicos, formadas por celdas electroquímicas conectadas en serie que almacenan energía para luego proveer está a otros equipos. Las baterías de ciclo profundo son muy resistentes a los golpes, además su ciclo, es decir su carga y descarga puede llegar a ser mucho más consecutiva que otras baterías como son las automotrices. Estas baterías están diseñadas para proveer una cantidad constante de corriente durante un periodo de tiempo largo es decir “Amperios por hora” (Ah) ósea que una batería de 18 Ah que se use para alimentar un equipo que consume una corriente de 9 Amp, desgastara la batería en 2 horas, dependiendo del mantenimiento que se le dé, pueden durar de 4 a 5 años.

Figura Nº 19: Baterías o Acumuladores solares POWERSAFE



Fuente: (Beltrán E. , 2013)

La Figura anterior muestra una batería de gel con un electrolito en fibra de vidrio absorbente, que reduce el efecto de contaminación ambiental, y es libre de mantenimiento, teniendo una vida útil de 15 a 20 años; que a comparación con baterías tradicionales de plomo, éstas no emiten gases contaminantes.

2.4.5.6 Inversor

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. En la Figura 1.32, se muestran las tres formas de onda que puede entregar un inversor, La conversión de corriente continua en alterna puede realizarse de diversas formas. La mejor manera depende de cuánto ha de parecerse a la onda sinusoidal ideal para realizar un funcionamiento adecuado de la carga de corriente alterna.

Figura N° 20: Inversor de corriente de onda senoidal (4000W)

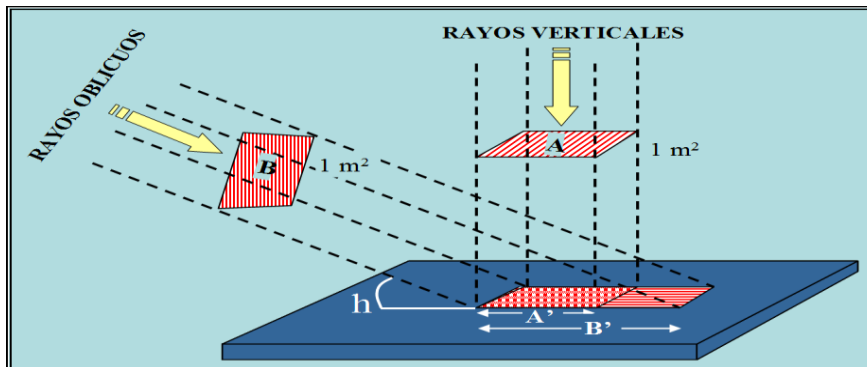


Fuente: (Beltrán E. , 2013)

2.4.5.7 Angulo de inclinación

El ángulo de inclinación (α) es el formado entre la superficie colectora y la horizontal del lugar. Para un valor dado del ángulo de inclinación, dependiendo de la posición del sol sobre el horizonte, existirá un valor para el ángulo de incidencia (β) que forma la perpendicular a la superficie de colección con los rayos incidentes. Es preferible dar al ángulo de inclinación (α) un valor igual al de la latitud del lugar más 10 ó 15 grados. La Figura 2:17, ilustra el ángulo de inclinación y el ángulo de incidencia respecto al panel fotovoltaico.

Figura N° 21: Ángulo de incidencia de los rayos solares en la superficie terrestre



Fuente: Elaboración propia del autor

Ahora que se conoce la trayectoria aparente del Sol, porque se provoca y cómo se comporta, se pueden analizar la dirección para el posicionamiento espacial correcto de los paneles solares.

Figura N°22: inclinómetro



Fuente y Elaboración propia del autor

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

3.1 Metodología

3.1.1 Método de la investigación:

Para desarrollar la presente investigación, se considerará el método científico como método general. El método científico según Van Dalen (1986) citado por Carrasco (2008) “es el modo ordenado de proceder para el conocimiento de la verdad, en el ámbito de determinada disciplina científica” (p.48). El método de investigación científico es un procedimiento de actuación general que se sigue en el conocimiento científico; por lo tanto, el procedimiento científico se concreta en un conjunto de fases o etapas. Según Carrasco (2006) los procedimientos a seguir son:

- Identificación del problema de investigación.- Identificar un problema que tenga impacto social o científico.
- Formulación del problema de investigación.- De tal manera que su solución sea viable y posible.
- Formulación de la hipótesis de investigación.- Someter a prueba la hipótesis de investigación, de acuerdo al diseño y planteamiento del problema.
- Procesar los datos con el propósito de proporcionar nuevos conocimientos a la ciencia o de dar solución a un problema real.

a) Método específico:

Se aplicará el método inductivo, debido a que a partir de los resultados obtenidos en el equipo de pruebas se puede generalizar o escalar esta información para un sistema de mayor proporción con una mayor capacidad de generación de energía fotovoltaica.

3.1.1.1 Materiales y métodos para el sistema de monitoreo

El sistema fotovoltaico y sus implementos de instalación permitió la adquisición de datos de radiación solar, voltaje, intensidad de corriente y temperatura de manera manual está constituido por un Panel solar modular de 120 watts monocristalino, el cual opera a distintas frecuencias de muestreo, esto puede ser monitoreado de una forma manual, el sistema se muestra en la figura siguiente:

Figura N°23: Sistema modular de monitoreo de radiación solar y temperatura



Fuente y elaboración: Propia del autor

Para medir la radiación solar se usó un solarímetro, el monitoreo fue cada tres horas de 7:10 am hasta 5:10 pm obteniendo 5 datos al día de radiación solar durante tres meses (setiembre, octubre, noviembre) se obtuvo información en tiempo real, el sistema descrito se presenta en la figura siguiente:

- Panel solar de 120 watts monocristalino

- Termómetro digital
- Solarímetro digital
- Pinza amperimétrica digital
- Multímetro digital
- Inclínómetro
- Flexómetro

3.1.1.2 El módulo fotovoltaico

Este dispositivo cumple la función de convertir la energía solar que llega hacia la superficie terrestre en el distrito de tres de diciembre en energía eléctrica la cual puede ser cuantificada midiendo el voltaje y la intensidad de corriente en el tiempo, mediante los siguientes modelos matemáticos:

$$P = I \times V \dots\dots\dots (20)$$

$$E = 2.773 \times 10^{-7} \int_0^t P \cdot dt \dots\dots\dots (21)$$

Donde:

V = Voltaje generado por el módulo fotovoltaico (*Voltios*)

I = Intensidad de corriente generada por el módulo fotovoltaico (*Amperios*)

P = Potencia eléctrica generada por el módulo fotovoltaico (*Watts*)

E = Energía eléctrica generada por el módulo fotovoltaico (*kW – h*)

t = Tiempo de operación del módulo fotovoltaico (*segundos*)

Tabla 3: Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico de pruebas

| Característica | Valor |
|-----------------------------|-------|
| Potencia máxima | 120W |
| Tensión a máxima potencia | 25 V |
| Corriente a máxima potencia | 5 A |
| Eficiencia | 19 % |
| Corriente de cortocircuito | 4.5 A |

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

La ecuación 21 permite calcular la potencia generada por el modulo fotovoltaico, para los valores observados de voltaje e intensidad de corriente, en cualquier instante dado, del mismo modo teóricamente la energía eléctrica generada (E) es estimada del producto del voltaje (V) por la corriente (I), esta

relación es válida en tanto la potencia sea constante, debido a la variabilidad de los datos de potencia durante el día debido a diversos factores climatológicos, no se puede aplicar esta simple relación, esta es la razón de emplear la ecuación 14, la cual evalúa la integral de la potencia como función del tiempo, esto permite medir con exactitud la energía generada por el panel fotovoltaico con cada segundo que transcurre.

- Cálculo de la radiación solar (R_{solar})

Para el cálculo de la radiación solar, se requiere de las ecuaciones 13 y 14, además de la eficiencia del sistema fotovoltaico, esta eficiencia no se verá alterada siempre en cuando se mantengan constantes las condiciones de operación en la medición, es decir se debe de mantener en todo momento una dirección perpendicular del panel solar con la dirección de los rayos solares, lo cual solo es posible si se cuenta con el mecanismo apropiado, de donde la energía efectiva generada por el panel se calcula mediante:

$$E_{efectiva} = 2.773 \times 10^{-7} \int_0^t P \cdot dt \dots\dots\dots (22)$$

La energía proveniente de la radiación solar se estimara mediante:

$$E_{solar} = \frac{E_{efectiva}}{\epsilon_m} \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

$\epsilon_m = 0.19$: Eficiencia del módulo fotovoltaico (19%)

De donde la radiación solar viene dada por:

$$R_{solar} = \frac{E_{solar}}{A_m} \dots\dots\dots (23)$$

R_{solar} = Radiación solar

A_m = Área del módulo fotovoltaico (m^2)

3.1.1.3 Instalación del equipo de pruebas

Una vez desarrolladas las pruebas satisfactorias de conectividad del módulo fotovoltaico, se procedió a desarrollar las pruebas de laboratorio para la verificación de datos monitoreados, y su correcto almacenamiento en la base de datos del software.

3.1.1.4 Solarímetro

El Instrumento utilizado para medir y contrastar los datos de radiación solar recolectados en el ámbito de estudio a saber el distrito trece de diciembre fue el solarímetro marca Erasmus. Modelo ES 2000, el cual es un instrumento calibrado y cumple con los estándares de calidad, se presenta en la siguiente figura.

Características

- Alta precisión
- Fuentes de luz medibles, incluida toda la luz visible.
- Selección de unidades W/m^2 o $BTU (ft^2 \cdot h)$.
- Estable para largo uso, con batería de larga duración.

Figura N° 24 : Solarímetro marca Erasmus modelo ES-2000



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

Ventajas en la medición

- Recepción adecuada para medir la efectividad de la radiación solar.
- Lectura de la medición de la radiación solar instantánea.
- Óptimo ángulo de incidencia para el panel solar.
- Medición de la transmisión de la radiación solar a través de vidrio y cinta transparente.
- Conveniente, no hay necesidad de ajustar, los datos se exponen claramente.

Tabla 4: Especificaciones técnicas del medidor ES-2000

| Especificación | Descripción |
|---|--|
| Vida de la batería | 100 horas aprox. |
| Exactitud | Típicamente entre $\pm 10\text{W/m}^2 \pm 3 \text{ BTU}$ o $\pm 5\%$, cualquier es mayor en luz solar. Error inducido de temperaturas adicionales $\pm 0.38\text{W/m}^2 \pm 0.12 \text{ BTU (ft}^2\cdot\text{h)}$ de 25, 15% de otra fuente de luz visible. |
| Temperatura de operación & RH | 5°C ~ 40°C por debajo de 80%RH |
| Temperatura de almacenamiento & RH | -10°C ~ 60°C por debajo 70%RH |
| Pantalla | LCD, 3-1/2 dígitos con máxima lectura 1999 |
| Tiempo de muestreo | 0.25 segundos aprox. |
| Resolución | 1W/m ² 1 BTU / (ft ² *h) |
| Exactitud | < ± 3 /año |
| Rango | 1999W/m ² 634 BTU / (ft ² * h) |
| Dimensiones y peso | 132 x 60 x 38 mm. 150g aprox |
| EMC | Este instrumento es conforme a EMC y ha sido objeto de pruebas de compatibilidad de acuerdo a EN61326 (1997) + A1 (1998) + A2 (2001) |

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

3.1.1.5 El termómetro digital modelo EV2536

Este dispositivo permitió el monitoreo en tiempo real, temperatura del panel solar desde el inicio del monitoreo hasta el cierre de monitoreo, se muestra en la figura siguiente.

Figura N° 25: Sensor de temperatura digital modelo EV2536



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

Especificaciones técnicas del sensor

- Termómetro digital con sonda fija incorporada de 300 mm. de longitud.
- Escala de -50+150°C. Resolución 0,1°C

- Tiempo de muestreo: 1seg.
- Función bloqueo de lectura. Interruptor encendido/apagado.
- Desconexión automática a los 10 minutos.
- Pila de botón LR44
- Longitud total: 315mm. Cabezal en forma de T.
- Con funda protector con clip para bolsillo.

3.1.1.6 Pinza amperimétrica

Este dispositivo permite medir con precisión la intensidad de corriente generada de manera continua por el panel solar, cumple la función principal que permite calibrar los sensores instalados, de manera previa antes de iniciar la adquisición de datos.

Figura N° 26: Pinza amperimétrica digital Prasek Premiun PR54



Fuente y Elaboración propia del autor

3.1.1.7 Multímetros digitales

Estos dispositivos permiten calibrar los sensores de voltaje e intensidad de corriente previamente antes de ser enviados al software de monitoreo, los dispositivos se muestran en la figura siguiente.

Figura N°27: Multímetro digital para medir tensión y corriente



Fuente y Elaboración propia del autor

3.1.2 Tipo de investigación:

La investigación es de tipo **Aplicada-Tecnológica**, porque se aplica los recursos tecnológicos y de conocimientos existentes dentro del campo de la ingeniería ambiental, además una serie de dispositivos hardware y software como parte de un sistema de control para incrementar la captación de radiación solar en un colector fotovoltaico.

3.1.2.1 Nivel de investigación:

La investigación por el nivel de conocimientos adquiridos se desarrolla en un nivel:

Explicativo:

La investigación por el nivel de conocimientos adquiridos se desarrolla en un nivel: **explicativo**, porque explica la influencia del ángulo de inclinación (causa) en la producción energética del panel solar (efecto).

Correlacional:

Porque relaciona los indicadores de las variables independientes como son el el ángulo inclinación, con la variable dependiente Energía generada por el sistema fotovoltaico.

3.2 Diseño de la investigación:

El diseño de la investigación será de tipo **Experimental Unifactorial completamente al Azar con GRUPO CONTROL y POST-PRUEBA**, empleando un método probabilístico de muestreo aleatorio simple, donde los datos serán obtenidos por trabajo de campo directamente del equipo de pruebas y procesados con métodos de estadística descriptiva, cuyo diseño es el siguiente:

Tabla 5: Diseño experimental

| N° Experimento | Grupo Experimental | Selección Aleatoria | Observación de la Radiación solar |
|-----------------------|---------------------------|----------------------------|--|
| 1 | GE_1 | A | $(X_1O_1)_{fijo}$ |
| 2 | GE_2 | A | $(X_2O_2)_{fijo}$ |
| 3 | GE_3 | A | $(X_3O_3)_{fijo}$ |

| | | | |
|-----|-----------------|-----|--|
| ... | ... | ... | ... |
| I | GE _i | A | (X _i O _i) _{fijo} |
| 1 | GC | A | O _{FIJO} |

Fuente y Elaboración Propia del autor

Dónde:

GE_i = GRUPO EXPERIMENTAL i (Panel solar convencional fijo)

GC = GRUPO CONTROL (Panel solar fijo)

A = Grupo Seleccionado aleatoriamente

(X_iO_i)_{fijo} = Observación de la energía eléctrica generada (GRUPO EXPERIMENTAL)

O_{FIJO} = Observación de la energía eléctrica generada (GRUPO CONTROL)

X_i = Distintos ángulos de elevación y azimutal del panel solar.

El diseño tiene i grupos experimentales, en otros términos se evaluara el efecto en el porcentaje energía eléctrica suministrada por el sistema fotovoltaico para distintas configuraciones de las variables y parámetros de operación del sistema en i experimentos aleatorios al grupo experimental y en un solo experimento al grupo control.

3.3. Hipótesis de la investigación

3.3.1 Hipótesis Alternativa: la evaluación optimiza la producción energética en una vivienda del distrito tres de diciembre provincia de Chupaca-región junin en un porcentaje mayor al 30%.

3.3.2 Hipótesis específicas

H₀: la evaluación optimiza la producción energética en una vivienda del distrito tres de diciembre provincia de Chupaca-región Junín en un porcentaje menor al 30%.

3.3 Variables e Indicadores

3.4.1 Variables Dependientes

Y1: Energía generada por el panel solar (watts)

Y2: eficiencia energética del panel solar (%)

Indicadores:

E_G = Energía eléctrica generada por el panel solar ($kW - h/día$)

P_G = Potencia eléctrica generada por el panel solar ($kW/día$)

V_G = Voltaje generado por el panel solar (*Voltios*)

I_G = Intensidad de corriente generada por el panel solar (*Amperios*)

3.4.2 Variable Independiente

X1: energía solar emitida al panel solar (wh/m^2)

X2: Angulo de inclinación del colector del panel solar (θ_{inc})

Indicadores:

θ_{inc} = Angulo de inclinación ($^{\circ}$ sexagesimales)

T = Temperatura de la superficie del panel solar ($^{\circ}C$)

H = Irradiación solar diaria del lugar ($kW - h/m^2 día$)

HPS = Horario Pico Solar del lugar de estudio (*horas*)

3.5 Cobertura de estudio**3.5.1 Universo****Condiciones ambientales:**

Debido a su latitud (12° LS), Huancayo debería tener un clima cálido. Sin embargo, la presencia de la Cordillera de los Andes y la altitud de la ciudad (3250 msnm) causan grandes variaciones en el clima. Huancayo tiene un clima templado pero inestable durante todo el año, variando entre $24^{\circ}C$ en los días más cálidos y $5^{\circ}C$ en las noches más frías. La gran variación de las temperaturas hace que en la zona sólo se distinguen dos estaciones, la temporada de lluvias desde octubre hasta abril (correspondiente a gran parte de la primavera y el verano) y la temporada seca de mayo a septiembre. Las temperaturas más bajas se registran en las madrugadas de los días de los meses de setiembre a noviembre. Las precipitaciones anuales son moderadas lo que contribuye a la fertilidad del Valle Huanca.

3.5.2 Población

El universo de datos o población de estudio lo constituyen los datos de energía generada por el panel solar monitoreados manualmente, el equipo será instalado en el distrito tres de diciembre provincia de chupaca, departamento de Junín, como estos datos son adquiridos continuamente se trata de una población infinita.

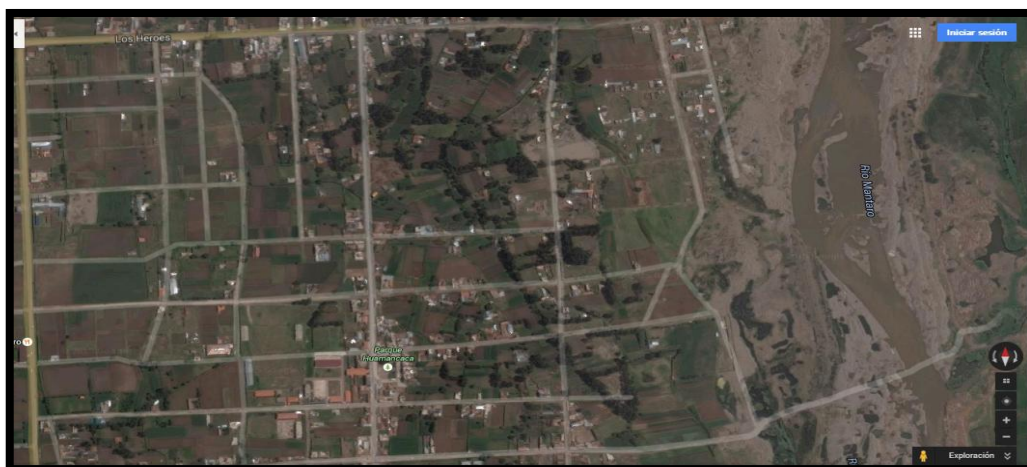
$$N = \infty \dots\dots\dots (20)$$

3.5.2.1 Ubicación del área de estudio:

El área de estudio de la presente investigación corresponde al distrito de trece de diciembre- provincia de Chupaca política de la región Junín, el cual es el eje de desarrollo de la zona sur de la provincia, el cual requiere un verdadero cambio social, económico – productivo y cultural, más aun tomando en consideración que en la actualidad recorre por dicho distrito la carretera “Pilcomayo – Huamancaca Chico – Tres De Diciembre y Chupuro” El distrito Tres De Diciembre limita con 03 distritos vecinos y el río Mantaro, cuyas colindancias son las siguientes:

- Por el Norte, con el distrito de Huamancaca Chico
- Por el Sur, con los distritos de Chongos Bajo y Chupuro
- Por el Este, con el río Mantaro
- Por el Oeste, con el distrito de Chongos bajo.

Figura N° 28 : Área de la zona de estudio



Fuente y elaboración: Google Earth

3.5.3 Muestra

En nuestra investigación el tamaño de muestra (n) es muy importante teniendo en cuenta que la validez y la calidad de los resultados dependen del tamaño de la muestra, en nuestra investigación utilizaremos el Muestreo Aleatorio Simple, en donde el tamaño de muestra se calcula mediante la fórmula de Spiegel, (Walpole, Myers, & Myers, 2010):

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \dots\dots\dots (21)$$

Si se conoce la varianza poblacional de la variable (σ^2), usamos:

$$n_0 = \frac{Z_{\alpha}^2 \times \sigma^2}{E^2} \dots\dots\dots (22)$$

Si se desconoce la varianza poblacional de la variable (σ^2), usamos:

$$n_0 = \frac{Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}{E^2} \dots\dots\dots (23)$$

Dónde:

n = Tamaño óptimo de la muestra

n_0 = Tamaño de la muestra inicial o aproximada.

N = Tamaño de la población bajo estudio.

Z_{α} = Valor Z correspondiente al nivel de significancia α .

E = Error de tolerancia de la estimación.

σ^2 = Varianza poblacional de la variable.

P = Proporción estimada de la variable, si no se conoce entonces $P = 0.5$ y

$Q = 0.5$

Para el cálculo de nuestra muestra usamos las formulas 5.1 y 5.3, debido a que desconocemos la varianza poblacional, por lo cual:

$N = \infty$: Población infinita

P : Desconocido entonces, $P = 0.5$ y $Q = 0.5$

$E = 0.05$: Error recomendable 5%.

$(1 - \alpha) = 0.95$: Para un nivel de confianza del 95%

Evaluamos $Z_{\alpha/2}$, de tablas: con $\alpha/2 = 0.025$:

$Z_{\alpha/2} = 1.96$

Reemplazando datos en la formula (3.3), tenemos:

$$n_0 = \frac{Z_{\alpha}^2 \times P \times Q}{E^2} = \frac{(1.96)^2 \times 0.5 \times 0.5}{(0.05)^2}$$

$$n_0 = 384.16$$

Luego reemplazando datos en la formula (3.1), tenemos:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} = \frac{384.16}{1 + \frac{384.16}{\infty}}$$

$$n = 384.16 \approx 384 \dots\dots\dots (24)$$

De donde el tamaño de muestra óptimo para el presente estudio es de 384 datos de energía eléctrica producida por el panel solar monitoreado en el distrito de tres de diciembre, departamento de Junín, como mínimo para probar la hipótesis planteada.

3.5.3 Muestreo:

El tipo de muestreo empleado para la presente investigación es de forma manual cada tres horas se toman los datos correspondientes.

3.6 Técnicas, instrumentos y fuentes de recolección de datos

3.6.1 Técnicas

La técnica utilizada para la recolección de datos se basa en la selección y representación por variables, para la Prueba de Hipótesis y de las Variables:

- Elaboración de cuadros estadísticos para verificar el comportamiento de las variables.
- Pruebas estadísticas: Gráficas de tendencias, gráficas circulares, barras horizontales, polígonos de frecuencia.

3.6.2 Instrumentos de la Investigación:

Para la recolección de datos de energía eléctrica producida por el panel solar de 120 watts de potencia el instrumento de recolección de datos lo constituye el eclímetro, amperímetro, termómetro y la pinza amperimétrica:

Figura N°29 : materiales de monitoreo



Fuente y Elaboración Propia del autor

3.7 Procesamientos estadísticos de la información

3.7.1 Estadísticos:

3.7.1.1 Producción energética a condiciones estándares del sistema fotovoltaico

Luego de realizarse diversos experimentos se pudo determinar la producción energética de un panel solar fijo, para poder calcular la producción energética del panel en kW-h/m² se aplicaron las formulas tal como se muestra a continuación:

3.7.1.2 Calculo de potencia y energía

Potencia:

$$P = V * I \dots\dots\dots (24)$$

Tasa a la que se gasta o produce energía eléctrica o trabajo por unidad de tiempo

V = Voltaje(v)

I = Intensidad de corriente(A)

U = Energia(J)

$$\text{Además: } 1\text{watt} = \frac{1 \text{ Joule}}{\text{segundo}}$$

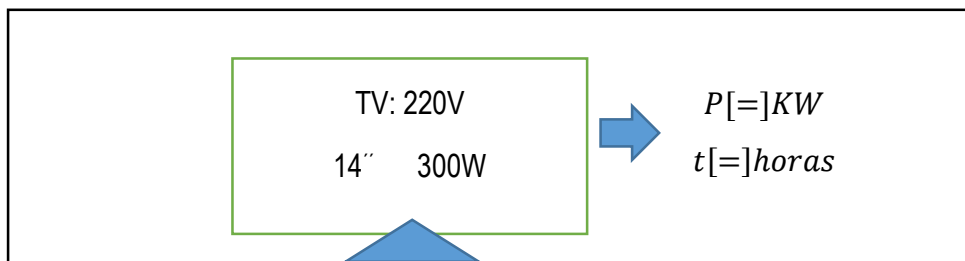
t = tiempo(s)

P = Potencia(w)

3.7.1.3 Potencia disipada

Se define como la tasa a la que se consume la energía por unidad de tiempo, para poder comprender como se calculó esta potencia a la producción del panel solar tomemos como base de cálculo un televisor de 14” con una potencia de consumo promedio de 300 watts, el consumo se estimó mediante:

Figura N°30: Potencia disipada por un televisor de 14”



Fuente y elaboración Propia del autor

Donde el consumo en kW-h, viene dado por:

$$U = P * t \dots\dots\dots (25)$$

U = Energía consumida (kWatt – hora)

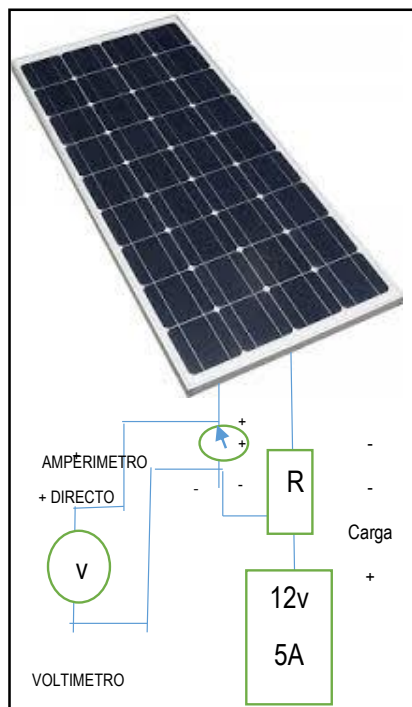
P = Potencia disipada (kWatt)

t = Tiempo de uso o de operación (horas)

3.7.1.4 Potencia generada por el panel solar

Se define como la tasa de generación de energía por unidad de tiempo, para poder comprender como se calculó esta potencia en la producción del panel solar tomemos como base de cálculo el panel solar del equipo experimental el cual presenta una potencia de diseño de 120 watts, la energía generada entonces se estimó mediante:

Figura N°31 : Potencia y energía generada por el panel solar fijo 120 watts



Fuente y elaboración Propia del autor

Tomando una base de cálculo de: tiempo = 1min, tenemos:

$$P = V * I$$

$$P = 24V * 5A$$

$$P = 120Watts$$

$$U = P * t$$

$$U = 120 \text{ w} * 180 \text{ min} = \left(\frac{120 \text{ J}}{\text{S}}\right) * \left(\frac{10800 \text{ s}}{1 \text{ min}}\right) = 1296000 \text{ Joules}$$

$$U = 1296000 \text{ J} * \left(\frac{2.773 \times 10^{-7} \text{ kW} - \text{h}}{1 \text{ J}}\right) = 0.34 \text{ kW} - \text{h}$$

De donde la energía generada en una hora de operación del panel a condiciones estándares resulta ser:

$$U = 120 \text{ w} * 3 \text{ h}$$

$$U = \frac{120 \text{ J}}{\text{s}} * \left(\frac{10800 \text{ s}}{1 \text{ h}}\right) * 3 \text{ h}$$

$$U = 3888000 \text{ J} * \left(\frac{2.773 * 10^{-7} \text{ Kw-h}}{1 \text{ J}}\right) = 1.0781 \text{ kW} - \text{h}$$

También por simplicidad de los cálculos se aplicó la siguiente formula:

$$U = P * t = \left(\frac{V \times I}{1000}\right) \times t \dots\dots\dots (26)$$

U = Energía generada o consumida (kWatt – hora)

P = Potencia generada o consumida (kWatt)

V = Voltaje generado por el panel solar (Voltios)

I = Intensidad de corriente generada por el panel solar (Amperios)

t = Tiempo de operación (horas)

3.7.2 Representación

La representación se hace mediante un análisis en Excel y el programa polimath s resultados obtenidos de los cálculos que se han hecho a diario y han sido recolectadas para obtener un resultado.

3.7.3 Técnica de comprobación de la hipótesis o de la energía generada o consumida (C_{EG})

Para la evaluación de costos del sistema fotovoltaico se utilizó la ecuación siguiente:

$$C_{EG} = \text{Energía Activa} = \text{tasa de generación} + \text{impuestos}(18\%) \dots\dots\dots (27)$$

- CÁLCULO DE LA TASA DE GENERACIÓN

Aplicando la ecuación 25:

$$\text{Tasa de generación} = U = P * t = \frac{V \times I}{1000} \times t$$

- CÁLCULO DEL IGV

$$(18\%) \text{ impuestos} \Rightarrow C * \left(1 - \frac{1}{1.18}\right) = C * \left(\frac{1.18-1}{1.18}\right) = C * \left(\frac{0.18}{1+0.18}\right)$$

$$\Rightarrow C * \left(\frac{0.18}{1+0.18} \right) * \frac{100}{100} = C * \left(\frac{18}{100+18} \right)$$

$$impuestos \Rightarrow C * \left(\frac{\% I}{100+\% I} \right) \Rightarrow Impuestos = C * \left(\frac{\% IGV}{100+\% IGV} \right)$$

$$C_{EG} = C * 0.42 + impuestos$$

$$C_{EG} = C * 0.42 + C * \left(\frac{\% IGV}{100+\% IGV} \right)$$

De donde la energía generada por el sistema fotovoltaico se puede traducir en términos de costos como:

$$C_{EG} = U * \left(0.42 + \frac{IGV}{100+IGV} \right) \dots\dots\dots (28)$$

De donde para un panel de 120w, es decir P = 0.12Kw, operando durante un periodo de tiempo igual al horario pico solar en la ciudad de Chupaca (HPS = $\frac{5.6h}{día}$) tenemos:

$$U = 0.12kW * \left(\frac{4.5h}{día} \right) = 0.54 \frac{kw-h}{día}$$

El cual se traduce en costos:

$$C_{EG} = 0.54 * \left(0.42 + \left(\frac{18}{100+18} \right) \right) = \$ 0.3089 \text{ día}$$

Para un mes de operación en condiciones normales, la producción traducida en costos es:

$$C_{EG} = S/. 9.267 \text{ por mes operación}$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Presentación de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la presente investigación, tal como ya se había descrito nuestro instrumento de recolección de datos lo constituye el eclímetro, amperímetro, radiómetro, pinza amperímetro y termómetro basado en un panel solar de 120 watts de potencia, descrito en el capítulo anterior, el cual nos ha permitido incrementar la producción energética del panel solar, el esquema general del sistema se muestra en la figura siguiente:

Figura 32 : Esquema del equipo experimental para optimizar la producción energética en un panel solar



Fuente y elaboración Propia del autor

El contenido de este capítulo abarca la descripción y presentación de los resultados experimentales y su análisis estadístico, para este propósito se procede a presentar e interpretar los resultados experimentales.

4.1.1 Comportamiento de la corriente en el sistema fotovoltaico fijo

Desarrollaron pruebas para evaluar la intensidad de corriente generada durante los meses de setiembre, octubre y noviembre del 2015, el resultado de estas pruebas se extrajo de la base de datos en Excel, a continuación se presentan las gráficas correspondientes.

Figura N°33: Base de datos experimentales en Polimath

The screenshot shows the POLYMATH 5.1 software interface. The main window displays a data table with the following columns: C01 (FECHA), C02 (HORA), C03 (ANG(°)), C04 (Vipanel fijo), C05 (I(A)), and C06 (P(W)). The data rows show measurements taken on 01/09/2015 and 02/09/2015 at various times of the day. The software interface includes a menu bar (File, Edit, Row, Column, Align, Format, Matrix, Window, Examples, Help) and a toolbar with icons for Open, Save, LEQ, NLE, DEQ, REG, Calculate, Units, Const, and Setup.

| | C01 | C02 | C03 | C04 | C05 | C06 | C07 | C08 | C09 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
|----|------------|---------------|--------|--------------|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 01 | FECHA | HORA | ANG(°) | Vipanel fijo | I(A) | P(W) | | | | | | | | | |
| 02 | 01/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.00 | 4.70 | 61.10 | | | | | | | | | |
| 03 | 01/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 13.09 | 4.80 | 62.83 | | | | | | | | | |
| 04 | 01/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 15.07 | 4.80 | 72.31 | | | | | | | | | |
| 05 | 01/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 5.00 | 115.00 | | | | | | | | | |
| 06 | 01/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 20.00 | 4.60 | 92.00 | | | | | | | | | |
| 07 | 01/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 17.00 | 4.70 | 79.90 | | | | | | | | | |
| 08 | 02/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.50 | 58.82 | | | | | | | | | |
| 09 | 02/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.50 | 71.95 | | | | | | | | | |
| 10 | 02/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 17.88 | 4.80 | 85.81 | | | | | | | | | |
| 11 | 02/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 25.00 | 4.90 | 122.50 | | | | | | | | | |
| 12 | 02/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 24.00 | 4.60 | 110.40 | | | | | | | | | |
| 13 | 02/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 17.00 | 4.70 | 79.90 | | | | | | | | | |
| 14 | 03/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.30 | 4.50 | 59.85 | | | | | | | | | |
| 15 | 03/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.99 | 4.50 | 67.45 | | | | | | | | | |
| 16 | 03/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 16.88 | 4.70 | 79.33 | | | | | | | | | |
| 17 | 03/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 24.00 | 5.00 | 120.00 | | | | | | | | | |
| 18 | 03/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 14.88 | 4.60 | 68.43 | | | | | | | | | |

Fuente y elaboración Propia del autor

4.2 Discusión de Resultados

4.2.1 Resultados experimentales

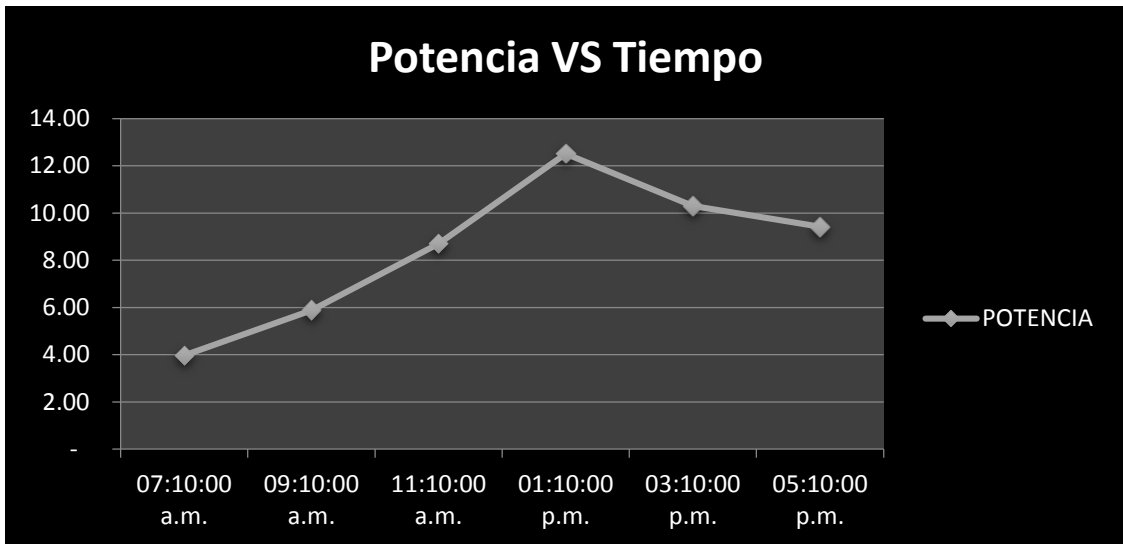
Para evaluar el comportamiento de las distintas variables de interés como son la intensidad de corriente, el voltaje, la potencia y la producción energética durante el periodo de muestreo el cual está sujeto a los siguientes parámetros de operación:

Tabla N° 6: Horario de mediciones de la energía

| N° | Parámetro | Valor |
|----|----------------------------------|-------------------------|
| 01 | Frecuencia de muestreo | 1 dato por cada 3 horas |
| 02 | Hora de inicio del muestreo | 07:10:00 a.m. |
| 03 | Hora de finalización de muestreo | 05:10:00 p.m. |

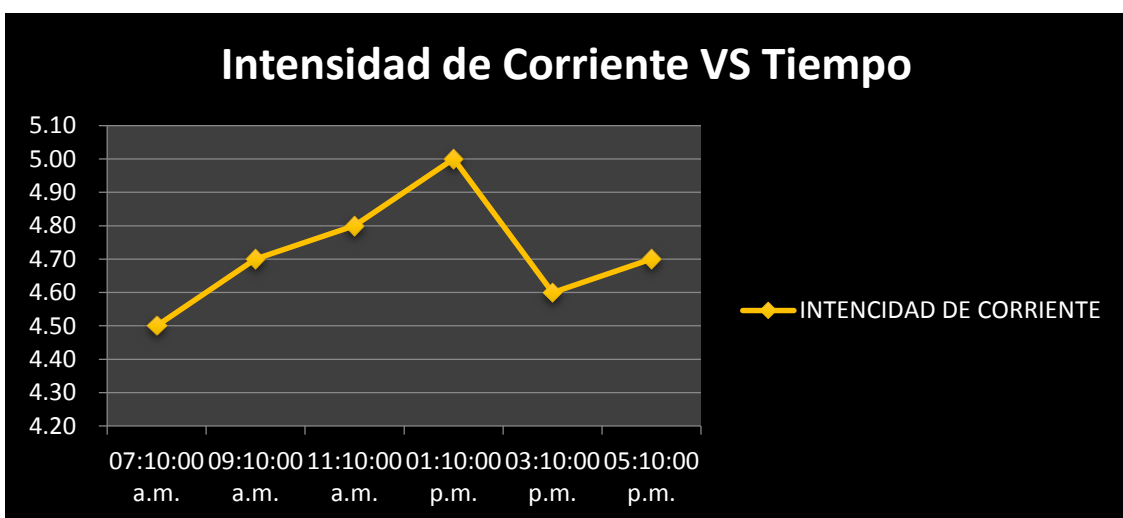
Fuente y Elaboración propia del autor

Figura N°34: Comportamiento experimental de la corriente generada Potencia vs Tiempo, por el panel solar fijo en el distrito de tres de diciembre durante el Mes de Setiembre



Fuente y elaboración: Propia del autor

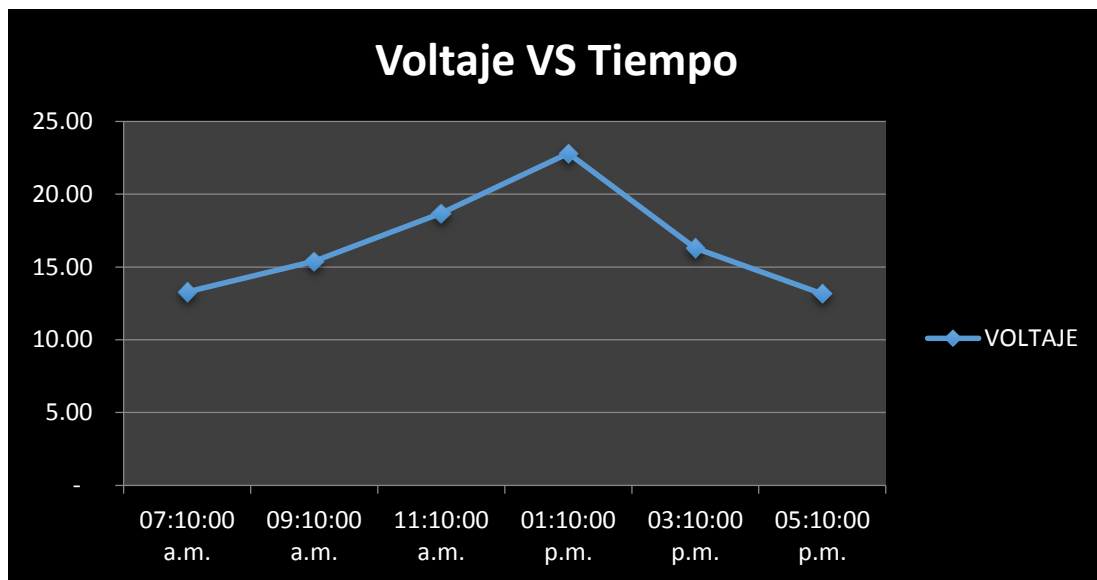
Figura N°35: Comportamiento experimental de la Intensidad de Corriente generada por el panel solar fijo durante el mes de Setiembre



Fuente y elaboración: Propia del autor

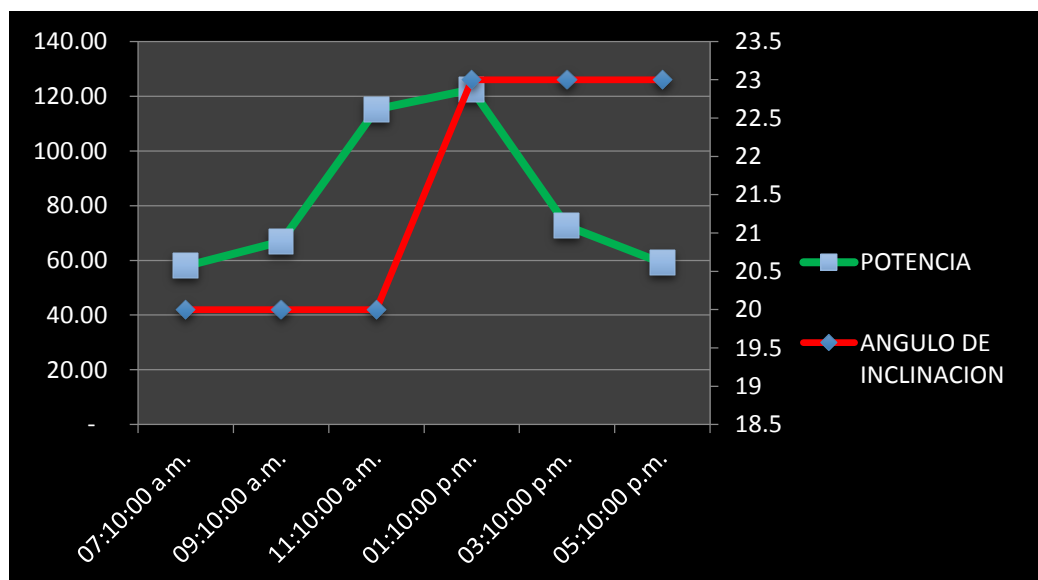
Debido a la gran cantidad de datos de los que se dispone se optó por resumirlos utilizando el promedio de los datos adquiridos durante los días correspondientes al mes, estos datos se muestran en las gráficas siguientes:

Figura 36: Comportamiento experimental del voltaje generado por el panel solar fijo durante el mes de Setiembre



Fuente y elaboración Propia del autor

Figura N°37: Comportamiento experimental del Ángulo de Inclinación vs la potencia generada por el panel solar fijo durante el mes de Setiembre



Fuente y elaboración Propia del autor

4.2.2 Procesamiento estadístico de los resultados experimentales

Es importante resaltar que los datos aquí presentados fueron adquiridos en el horario de muestreo de 07:10:00 a.m. a 05:10:00 p.m. a una frecuencia de muestreo de 1 dato por cada tres horas, para luego resumirlos a una frecuencia de muestreo de 1 dato por tres horas, haciendo un total de 6 datos por día de muestreo, lo mismo que durante un mes de 30 días hace un total de 180 datos experimentales procesados, el procesamiento de estos datos sería imposible sin la ayuda de un software estadístico, para el caso se empleó polimath

Tabla 6: Ingreso de los datos experimentales al software estadístico Polimath

| | C01 | C02 | C03 | C04 | C05 | C06 | C07 | C08 | C09 | C10 | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 |
|----|---------------|--------|---------------|------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 01 | HORA | ANG(°) | V(panel fijo) | I(A) | P(W) | | | | | | | | | | |
| 02 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.00 | 4.70 | 61.10 | | | | | | | | | | |
| 03 | 09:10:00 a.m. | 20 | 13.09 | 4.80 | 62.83 | | | | | | | | | | |
| 04 | 11:10:00 a.m. | 20 | 15.07 | 4.80 | 72.31 | | | | | | | | | | |
| 05 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 5.00 | 115.00 | | | | | | | | | | |
| 06 | 03:10:00 p.m. | 23 | 20.00 | 4.60 | 92.00 | | | | | | | | | | |
| 07 | 05:10:00 p.m. | 23 | 17.00 | 4.70 | 79.90 | | | | | | | | | | |
| 08 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 09 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | | | | | | |

Fuente y Elaboración propia del autor

Tabla 7: Procesamiento Estadístico de los Resultados Experimentales

| Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo | | | | |
|---|--------|---------|------------|------------|
| RESUMEN | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
| ANG(°) | 6 | 129 | 21.5 | 2.7 |
| V(panel fijo) | 6 | 101.155 | 16.8591667 | 15.9826642 |
| I(A) | 6 | 28.6 | 4.76666667 | 0.01866667 |
| P(W) | 6 | 483.144 | 125.524 | 415.683622 |

Fuente y Elaboración Propia del autor

Del análisis estadístico se tiene que la potencia promedio experimental generada por el panel solar fijo se tiene una potencia promedio experimental de 125.524Watts, ambas son el resultado del procesamiento de los datos adquiridos durante los meses setiembre del 2015, a una frecuencia de muestreo de 1 dato por cada tres horas, evaluando el porcentaje de incremento se ha podido resumir en la tabla siguiente:

Tabla 8: Evaluación porcentual de los resultados experimentales

| Ítem | Tipo de panel | Potencia generada antes de la evaluación | Potencia después de la evaluación | %Incremento |
|------|---------------|--|-----------------------------------|-------------|
| 01 | Fijo | 120. Watts | 125.524 | 36.82% |

Fuente y elaboración Propia del autor

4.3 Contrastación de Hipótesis:

Podemos decir que de acuerdo a los datos obtenidos podemos tener una eficiencia del **36.82%** , quiere decir que aceptamos nuestra hipótesis alternativa al superar las expectativas esperadas.

CONCLUSIONES

- Se consiguió monitorear las condiciones de radiación solar actualmente existentes en el distrito de tres de diciembre, llegando a la conclusión de un valor de $5.97\text{kWh/m}^2\text{día}$ durante el mes de setiembre, lo que se sustenta en los datos experimentales adquiridos.
- Fue posible calcular la producción energética de un panel solar convencional fijo, obteniendo un valor promedio de potencia generada de 125.524 watts, a las condiciones ya descritas de la ciudad de Chupaca, este resultado le corresponde a un panel solar monocristalino de 120 watts de potencia de diseño con un voltaje de 25 V y un corriente de 5 amperios a condiciones normales.
- Se consiguió determinar el porcentaje de incremento de la producción energética de un panel solar monocristalino fijo, dando como resultado un 36.82% de incremento, esto se pudo conseguir gracias a la evaluación de diferentes indicadores durante el estudio en tiempo real.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la instalación del equipo en una parte alta como la azotea de un edificio para poder evitar sombras de otras construcciones que alterarían el resultado durante el transcurso del día.
- Considerando las especificaciones técnicas de los equipos y las condiciones meteorológicas de la zona donde se desarrollara el proyecto, será necesario realizar un monitoreo de funcionamiento de los sistemas instalados a efectos de optimizar su correcto funcionamiento.
- 2.-Para evitar las interferencias de las descargas eléctricas a través de los pararrayos y sistemas fotovoltaicos, se recomienda que cada sistema debe contar con su propio sistema de sujeción, independiente. Además, que la altura máxima del sistema pararrayos sea de 15mts. Instalado sobre una torre metálica de base triangular bien cimentada.
- 3.- La vivienda rural debe ser autosostenible y considerando el tiempo de vida del SFV es entre tres a cinco años, luego del cual requieren ser reemplazados por las especificaciones técnicas del fabricante

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

1. Anderson, E. (2011). Solar Panel Peak Power Tracking System. Worcester Polytechnic Institute.
2. Bobias., L. Z. (1992.). method of cationic activator-aluminium salt coagulation combined with electro-flotation in treatment of waste dyeing water. Water treatment, pp;221-232.
3. BP Statistical Review of World Energy. (2012). Statistical Review of World Energy 2012. Londres: BP Statistical Review of World Energy.
4. Climate Change. (18 de Marzo de 2014). Cambio Climático. Obtenido de Cambio Climático: <http://www.cambio-climatico.com/protocolo-de-kyoto>
5. Copyright ,B.V.Holding, Agua Residual y Purificacion del aire. (s.f.). <http://www.lenntech.com/español/formulario-de-consulta.htm>. Recuperado el 20 de octubre de 2013, de <http://www.lenntech.com/español/formulario-de-consulta.htm>.
6. DAVID FOSTER HALES. (1998). Centro mundial para el medio Ambiente . (USAID).
7. EMS. (2010). Photovoltaic system for supply public illumination in electrical energy demand peak. Applied Power Electronics Conference and Exposition: IEEE.
8. Fernández, G., & Herrero, S. (2010). Energías renovables para el desarrollo. Madrid-España: Thomson Paraninfo.
9. GARCIA, J. G. (1996). Perfil de riego de la Republica del Peru. lima: IPROGA/IMI.
10. Giraldo, A. A. (Abril,2008). Tratamiento de aguas Residuales de la Industria Lactea. AR.Tratamiento de aguas Residuales,Lasallista (Colombia), 181-185.
11. Horn, M. (2011). Pico PV in Peru, Laboratory tests of eleven different LED lamps for Pico PV Systems. 2nd Symposium "Small PV-Applications". Lima-Perú.
12. <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/pdf>. (2002). Los recursos Mundiales de Agua Dulce. BBC mundo, 15,16.
13. <http://gestionambientalmarina.googlepages.com/home>. (29 de abril de 2006). Recuperado el 10 de octubre de 2013, de <http://gestionambientalmarina.googlepages.com/home>.
14. HUERGA, P. (abril de 2005). Desarrollo de Alternativas de tratamiento de Aguas Residuales industriales Mediante el uso de Tecnologías limpias dirigidas al Reciclaje y Valoración de contaminantes. Valencia, España.

15. INEI. (2010). Encuesta Nacional de Hogares 2004-2010. Lima-Perú: INEI.
16. J:L.BUENO, H. S. (2006). Tratamiento de aguas industriales. contaminación e ingeniería Ambiental.
17. Jutglar, L. (2011). Energía solar “Energías Alternativas y Medio Ambiente”. Valencia-España: CEAC.
18. Lunde, P. (1980). Solar Thermal Engineering: Space Heating and Hot Water Systems. New York: Wiley, pp 70- 109.
19. M.Gutiérrez, P. M. (1999). Electrochemical continuous decolourization of effluents containing reactive dyes. Textile dyeing and finishing in the 21st century.18th IFATCC Congress, Copenhagen.
20. Madariaga, A., Olmedo, & Juan. (2013). Diseño y construcción del control de posicionamiento de celdas solares. Instituto Politécnico Nacional-Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica-Ingeniería en control y automatización.
21. Martins, D. (2010). Usage of the solar energy from the photovoltaic panels for the generation of electrical energy. Telecommunications Energy Conference, (págs. 170-173). Boston.
22. Méndez, M., & R., C. G. (2012). Energía Solar Fotovoltaica. Madrid-España: ECA Instituto de Tecnología y Formación S.A.U. 3ra Edición.
23. Merrill, J. (2000). Solar thermal power system concepts for high power satellites. Aerospace Conference Proceedings pp. (págs. 69-74 Vol.4). IEEE.
24. MINEM. (2011). Memoria Institucional 2006-2011. Lima: Ministerio de Energía y Minas.
25. MOURA., F. E. (2005). Desafíos del Derecho Humano al agua en el Perú,. Editorial Graficas Loro S.A, lima Peru, 16,17.
26. National Instruments Corporation. (2010). LabVIEW user manual” Edition 2003. National Instruments Corporation. Austin-Texas: NI.
27. NREL. (2010). Renewable Energy Data Book. California: U.S. Department of Energy.
28. Ogata, K. (1998). Ingeniería de control moderna. México: Prentice Hall.
29. Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). Energía Solar Fotovoltaica-Manual técnico para instalaciones domiciliarias. Lima: Green Energy Consultoria y Servicios SRL.
30. Otletov, k. Y. (1987). Differences of chemical and electrochemical coagulation mechanisms. Soviet journal of water chemistry and technology., pp,52-56.

31. Pérez, R. (2012). Diseño de un Sistema de Energía Solar Autónomo basado en Equipos y Dispositivos Electrónicos Modernos. Universidad Católica de Santa María-Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales-Ingeniería Electrónica.
32. Quezada, N. (2010). Estadística para Ingenieros. Lima: Macro E.I.R.L. ISBN N° 978-612-4034-55-8 1ra edición.
33. Ramallo, R. (1983). El tratamiento de aguas residuales. Barcelona, Bogota: Reverte S.A.
34. Ramos, M. (2012). Proceso de Electrificación Rural con sistemas Fotovoltaicos. Lima: Seminario Taller: La energía Solar, Situación y Perspectivas.
35. REN21. (2011). Renewables 2011 Global Status Report. París: REN21.
36. Reyes, M., & Velasco, G. E. (2010). Eficiencia Energética en edificios. España: Thomson Editores.
37. Roldan, V. J. (2011). Fuentes de energía "Instalaciones eólicas, instalaciones solares térmicas". España: Cengage Learning Paraninfo S. A.
38. Sans, R. (1999). Ingenieria Ambiental: . En R. Sans, Contaminacion y Tratamientos. Mexico: Alfaomega.
39. SHIKLOMANOV.I. (1997). Assessment of water resourses and water availabiliti in wordl. stockholm Envioronmenal Institute,.
40. Shinskey, G. (1996). Sistemas de control de procesos, aplicación, diseño y sintonización. México: Mc Graw Hill.
41. Smith, C., & Corripio, A. (1991). Control Automático de Procesos, teoria y práctica. México: Limusa.
42. Sumano, J. (2012). Diseño y construcción de un sistema de seguimiento fotovoltaico. Oaxaca-Mexico: Universidad Tecnologica de Mixteca-Facultad de Ingeniería Mecatrónica.
43. T, K. T. (1982.). The use of electrocoagulation for the purification of phenol containing effluents. Soviet journal of water chemistry and technology, pp; 81-84.
44. Tejada, C., & Motoche, L. (2012). Posicionamiento de paneles solares usando lógica difusa para prácticas de laboratorio de control automático. Guayaquil-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana-Facultad de Ingeniería Electrónica.
45. Unesco. (s.f.). WORLD WATER RESOURCES AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY. Recuperado el 30 de abril de 2009

46. Villarreal, E. (1971). FUENTES ELECTROQUÍMICAS DE CORRIENTE. Mexico: Ed. Limusa Wiley.
47. Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (2010). Probabilidad y Estadística para ingenieros. México: Mc Graw Hill.
48. World Meteorological Organization (WMO). (1981). Meteorological Aspects of the Utilization of Solar Radiation as an Energy Source. Suiza.: Technical Note N°172.
49. World Meteorological Organization (WMO). (1992). Instrument and Observing Methods. Suiza: Report N°49.
50. ZINOLA, C. (1999 Uruguay). Electroquímica fundamental. Universidad de la República.CSIC.

VIII. LINGÜÍSTICA:

1.-Energía Renovables

www.osinerg.gob.pe

www.agenciaandaluzadelaenergia.es/ciudadania/renovables

2.- Concepto sobre la Energía Solar

www.censolar.es/menu.htm

www.erenovable.com/energias-renovables

3.-Diseño de Módulos fotovoltaicos

www.solarenergy.org

www.censolar.es

4.-La Energía Solar y el Medio Ambiente

www.censolar.es/menu.htm

www.ambientalblog2010.wordpress.com

5.-Los beneficios de la energía solar

www.dforcesolar.com/energia-solar

www.dedietrich-calefaccion.es

6.- Módulos de Paneles Fotovoltaicos

www.paneles-fotovoltaicos.blogspot.com

<http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica>

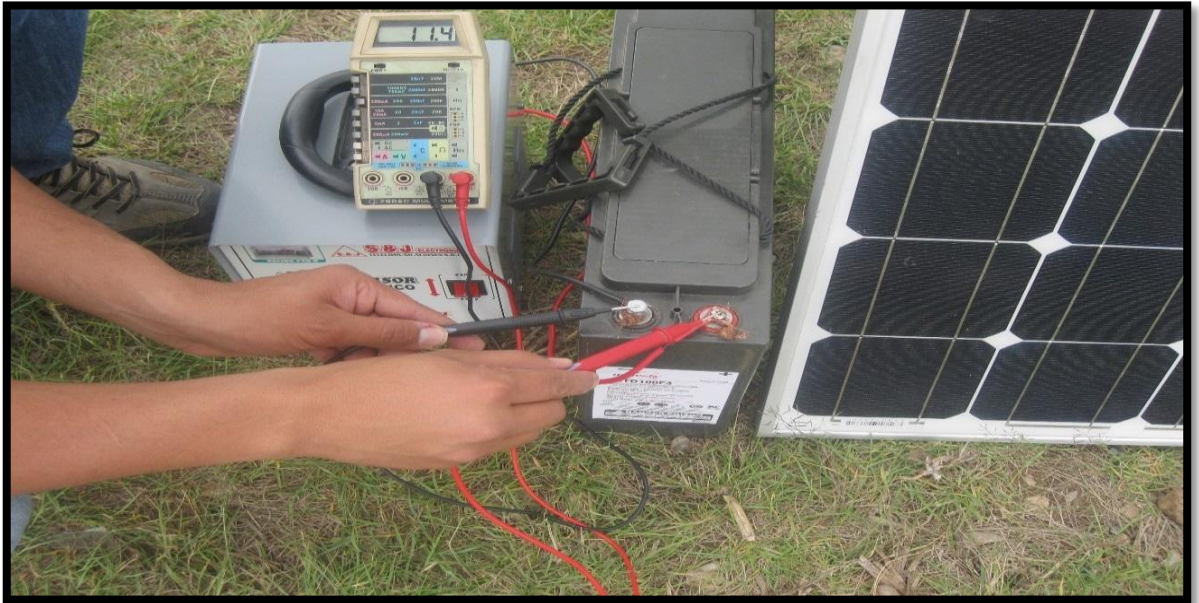
7.-Situación Actual de la Energía Solar Fotovoltaica

<http://www.suelosolar.com/newsolares>

<http://elperiodicodelaenergia.com>

IX: ANEXOS

Foto N°1: monitoreo del panel solar



Fuente y elaboración Propia del autor

Foto N° 2: Realizando pruebas con la batería gelificada



Fuente y elaboración Propia del autor

Foto N° 3. Verificando la operatividad del Sistema Fotovoltaico con todos los equipos debidamente instalados



Fuente y elaboración Propia del autor

Foto N° 4: Verificando la operatividad del Sistema Fotovoltaico con todos los equipos debidamente instalados



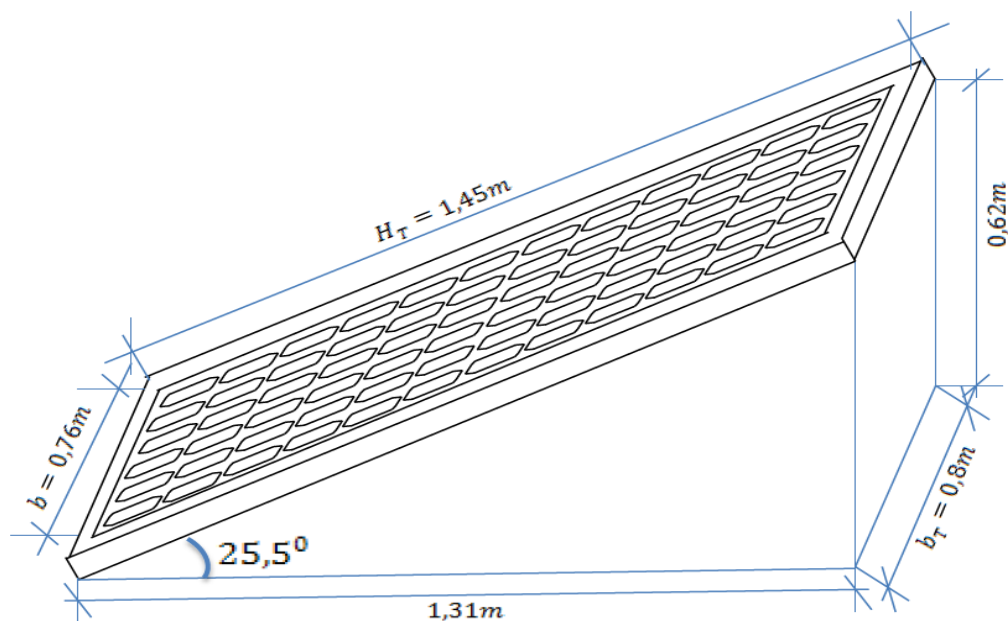
Fuente y elaboración Propia del autor

Foto N°5 : Verificando el buen funcionamiento del cableado



Fuente y elaboración Propia del autor

Figura N°6: Angulo de inclinación del panel



Fuente y elaboración Propia del autor

BASE DE DATOS EXPERIMENTALES

Valores promedio del periodo de muestreo comprendido en el mes de setiembre en la ciudad de chupaca.

| N° | FECHA | HORA | ANG(°) | V(panel fijo) | I(A) | P(W) |
|----|------------|---------------|--------|---------------|------|--------|
| 1 | 01/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.00 | 4.70 | 61.10 |
| 2 | 01/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 13.09 | 4.80 | 62.83 |
| 3 | 01/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 15.07 | 4.80 | 72.31 |
| 4 | 01/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 5.00 | 115.00 |
| 5 | 01/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 20.00 | 4.60 | 92.00 |
| 6 | 01/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 17.00 | 4.70 | 79.90 |
| 7 | 02/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.50 | 58.82 |
| 8 | 02/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.50 | 71.95 |
| 9 | 02/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 17.88 | 4.80 | 85.81 |
| 10 | 02/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 25.00 | 4.90 | 122.50 |
| 11 | 02/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 24.00 | 4.60 | 110.40 |
| 12 | 02/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 17.00 | 4.70 | 79.90 |
| 13 | 03/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.30 | 4.50 | 59.85 |
| 14 | 03/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.99 | 4.50 | 67.45 |
| 15 | 03/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 16.88 | 4.70 | 79.33 |
| 16 | 03/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 24.00 | 5.00 | 120.00 |
| 17 | 03/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 14.88 | 4.60 | 68.43 |
| 18 | 03/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 13.66 | 4.70 | 64.19 |
| 19 | 04/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.78 | 4.50 | 57.51 |

| | | | | | | |
|----|------------|---------------|----|-------|------|--------|
| 20 | 04/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.80 | 76.75 |
| 21 | 04/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 18.88 | 4.80 | 90.61 |
| 22 | 04/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 22.77 | 5.00 | 113.83 |
| 23 | 04/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 16.88 | 4.60 | 77.63 |
| 24 | 04/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 25 | 05/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.87 | 4.50 | 57.92 |
| 26 | 05/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.88 | 4.70 | 69.92 |
| 27 | 05/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.76 | 4.80 | 94.85 |
| 28 | 05/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 21.77 | 5.00 | 108.83 |
| 29 | 05/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.77 | 4.60 | 72.53 |
| 30 | 05/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.56 | 4.70 | 59.01 |
| 31 | 06/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.50 | 58.82 |
| 32 | 06/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.80 | 76.75 |
| 33 | 06/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.00 | 4.80 | 91.20 |
| 34 | 06/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 21.77 | 5.00 | 108.83 |
| 35 | 06/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.88 | 4.60 | 73.03 |
| 36 | 06/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 37 | 07/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.30 | 4.60 | 61.18 |
| 38 | 07/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.99 | 4.80 | 71.95 |
| 39 | 07/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 16.88 | 4.80 | 81.01 |
| 40 | 07/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 24.00 | 5.00 | 120.00 |
| 41 | 07/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 14.88 | 5.00 | 74.39 |
| 42 | 07/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 13.66 | 4.70 | 64.19 |

| | | | | | | |
|----|------------|---------------|----|-------|------|--------|
| 43 | 08/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.78 | 4.50 | 57.51 |
| 44 | 08/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.70 | 75.15 |
| 45 | 08/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.00 | 4.80 | 91.20 |
| 46 | 08/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 22.77 | 4.90 | 111.56 |
| 47 | 08/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 16.88 | 4.60 | 77.63 |
| 48 | 08/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 49 | 09/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.87 | 4.50 | 57.92 |
| 50 | 09/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.88 | 4.80 | 71.41 |
| 51 | 09/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.76 | 4.80 | 94.85 |
| 52 | 09/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 21.77 | 5.00 | 108.83 |
| 53 | 09/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.77 | 4.60 | 72.53 |
| 54 | 09/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.56 | 4.70 | 59.01 |
| 55 | 10/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.50 | 58.82 |
| 56 | 10/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.50 | 71.95 |
| 57 | 10/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 22.00 | 4.80 | 105.60 |
| 58 | 10/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 5.00 | 115.00 |
| 59 | 10/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.88 | 4.60 | 73.03 |
| 60 | 10/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 61 | 11/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.30 | 4.50 | 59.85 |
| 62 | 11/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.99 | 4.50 | 67.45 |
| 63 | 11/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 18.00 | 4.80 | 86.40 |
| 64 | 11/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 21.70 | 4.90 | 106.33 |
| 65 | 11/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 14.88 | 4.60 | 68.43 |
| 66 | 11/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 13.66 | 4.70 | 64.19 |

| | | | | | | |
|----|------------|---------------|----|-------|------|--------|
| 67 | 12/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.78 | 4.79 | 61.19 |
| 68 | 12/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.50 | 71.95 |
| 69 | 12/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 18.88 | 4.90 | 92.50 |
| 70 | 12/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 22.77 | 4.90 | 111.56 |
| 71 | 12/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 16.88 | 4.60 | 77.63 |
| 72 | 12/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 73 | 13/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.87 | 4.70 | 60.49 |
| 74 | 13/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.88 | 4.50 | 66.95 |
| 75 | 13/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.76 | 4.80 | 94.85 |
| 76 | 13/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 5.00 | 115.00 |
| 77 | 13/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.77 | 4.60 | 72.53 |
| 78 | 13/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.56 | 4.70 | 59.01 |
| 79 | 14/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.50 | 58.82 |
| 80 | 14/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.50 | 71.95 |
| 81 | 14/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 17.88 | 4.80 | 85.81 |
| 82 | 14/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 25.00 | 5.00 | 125.00 |
| 83 | 14/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.88 | 4.60 | 73.03 |
| 84 | 14/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 85 | 15/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.30 | 4.50 | 59.85 |
| 86 | 15/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.99 | 4.90 | 73.44 |
| 87 | 15/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 16.88 | 4.90 | 82.70 |
| 88 | 15/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 24.00 | 4.90 | 117.60 |
| 89 | 15/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 14.88 | 4.60 | 68.43 |
| 90 | 15/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 13.66 | 4.70 | 64.19 |

| | | | | | | |
|-----|------------|---------------|----|-------|------|--------|
| 91 | 16/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.78 | 4.50 | 57.51 |
| 92 | 16/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.90 | 78.34 |
| 93 | 16/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 18.88 | 4.80 | 90.61 |
| 94 | 16/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 22.77 | 5.00 | 113.83 |
| 95 | 16/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 16.88 | 4.60 | 77.63 |
| 96 | 16/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 97 | 17/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.87 | 4.50 | 57.92 |
| 98 | 17/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.88 | 4.50 | 66.95 |
| 99 | 17/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.76 | 4.80 | 94.85 |
| 100 | 17/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 21.77 | 4.90 | 106.65 |
| 101 | 17/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.77 | 4.60 | 72.53 |
| 102 | 17/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.56 | 4.70 | 59.01 |
| 103 | 18/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.50 | 58.82 |
| 104 | 18/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.80 | 76.75 |
| 105 | 18/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 17.88 | 4.80 | 85.81 |
| 106 | 18/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 4.90 | 112.70 |
| 107 | 18/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.88 | 4.60 | 73.03 |
| 108 | 18/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 109 | 19/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.30 | 5.00 | 66.50 |
| 110 | 19/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.99 | 5.00 | 74.94 |
| 111 | 19/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 16.88 | 5.00 | 84.39 |
| 112 | 19/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 20.77 | 5.00 | 103.83 |
| 113 | 19/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 14.88 | 4.60 | 68.43 |
| 114 | 19/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 13.66 | 4.70 | 64.19 |

| | | | | | | |
|-----|------------|---------------|----|-------|------|--------|
| 115 | 20/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.78 | 4.50 | 57.51 |
| 116 | 20/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.00 | 63.95 |
| 117 | 20/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 18.88 | 4.00 | 75.51 |
| 118 | 20/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 22.77 | 4.90 | 111.56 |
| 119 | 20/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 16.88 | 4.60 | 77.63 |
| 120 | 20/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 121 | 21/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.87 | 4.50 | 57.92 |
| 122 | 21/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.88 | 4.90 | 72.90 |
| 123 | 21/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.76 | 4.80 | 94.85 |
| 124 | 21/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 4.90 | 112.70 |
| 125 | 21/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.77 | 4.60 | 72.53 |
| 126 | 21/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.56 | 4.70 | 59.01 |
| 127 | 22/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.50 | 58.82 |
| 128 | 22/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.50 | 71.95 |
| 129 | 22/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.00 | 4.80 | 91.20 |
| 130 | 22/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 21.77 | 4.90 | 106.66 |
| 131 | 22/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.88 | 4.60 | 73.03 |
| 132 | 22/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 133 | 23/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.30 | 4.50 | 59.85 |
| 134 | 23/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.99 | 4.50 | 67.45 |
| 135 | 23/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 17.00 | 4.80 | 81.60 |
| 136 | 23/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 22.00 | 4.90 | 107.80 |
| 137 | 23/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 14.88 | 4.60 | 68.43 |
| 138 | 23/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 13.66 | 4.70 | 64.19 |

| | | | | | | |
|-----|------------|---------------|----|-------|------|--------|
| 139 | 24/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.78 | 4.50 | 57.51 |
| 140 | 24/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.90 | 78.34 |
| 141 | 24/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 18.88 | 4.80 | 90.61 |
| 142 | 24/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 22.77 | 5.00 | 113.83 |
| 143 | 24/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 16.88 | 4.60 | 77.63 |
| 144 | 24/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 145 | 25/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.87 | 4.50 | 57.92 |
| 146 | 25/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.88 | 4.50 | 66.95 |
| 147 | 25/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 24.00 | 4.80 | 115.20 |
| 148 | 25/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 25.00 | 4.90 | 122.50 |
| 149 | 25/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.77 | 4.60 | 72.53 |
| 150 | 25/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.56 | 4.70 | 59.01 |
| 151 | 26/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.70 | 61.43 |
| 152 | 26/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.90 | 78.34 |
| 153 | 26/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 17.88 | 4.80 | 85.81 |
| 154 | 26/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 21.77 | 4.90 | 106.66 |
| 155 | 26/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.88 | 4.60 | 73.03 |
| 156 | 26/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 157 | 27/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.30 | 4.50 | 59.85 |
| 158 | 27/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.99 | 4.80 | 71.95 |
| 159 | 27/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 18.00 | 4.80 | 86.40 |
| 160 | 27/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 5.00 | 115.00 |
| 161 | 27/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 16.00 | 4.60 | 73.60 |
| 162 | 27/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 13.66 | 4.70 | 64.19 |

| | | | | | | |
|-----|------------|---------------|----|-------|------|--------|
| 163 | 28/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.78 | 4.40 | 56.23 |
| 164 | 28/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.50 | 71.95 |
| 165 | 28/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.00 | 4.70 | 89.30 |
| 166 | 28/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 22.77 | 5.00 | 113.83 |
| 167 | 28/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 16.88 | 4.60 | 77.63 |
| 168 | 28/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |
| 169 | 29/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 12.87 | 4.50 | 57.92 |
| 170 | 29/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 14.88 | 4.70 | 69.92 |
| 171 | 29/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.76 | 4.80 | 94.85 |
| 172 | 29/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 21.77 | 4.90 | 106.65 |
| 173 | 29/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.77 | 4.60 | 72.53 |
| 174 | 29/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.56 | 4.70 | 59.01 |
| 175 | 30/09/2015 | 07:10:00 a.m. | 20 | 13.07 | 4.50 | 58.82 |
| 176 | 30/09/2015 | 09:10:00 a.m. | 20 | 15.99 | 4.80 | 76.75 |
| 177 | 30/09/2015 | 11:10:00 a.m. | 20 | 19.00 | 4.90 | 93.10 |
| 178 | 30/09/2015 | 01:10:00 p.m. | 23 | 23.00 | 5.00 | 115.00 |
| 179 | 30/09/2015 | 03:10:00 p.m. | 23 | 15.88 | 4.60 | 73.03 |
| 180 | 30/09/2015 | 05:10:00 p.m. | 23 | 12.66 | 4.70 | 59.49 |

Fuente y Elaboracion Propia del Autor

Fuente y Elaboracion Propia del Autor