

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y
MECÁNICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**“ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ACTUAL DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS
INSTALADOS EN EL PROYECTO FITEL 2 EN EL ÁMBITO RURAL DE LA
REGIÓN CUSCO”**

Presentado por:

Bach. Rene Teodoro Condori Mamani

Para optar el Título Profesional de

Ingeniero Electrónico

Asesor:

Ing. Luis Jiménez Troncoso

CUSCO - PERÚ

2022

DEDICATORIA

A mis padres **Pedro Condori Nina** y **Matilde Mamani Quispe**, que con los modos posibles han hecho de mi un profesional al servicio de la sociedad.

A mi hermana **Gladis Balbín Condori Mamani**, que estuvo en cada momento apoyándome durante mi formación profesional.

A mis compañeros de promoción del Colegio Emblemático Mateo Pumacahua, que me motivaron a estudiar en la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

A mis docentes y compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, que me apoyaron para culminar mi profesión.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a mi familia, la cual fue un soporte fundamental a lo largo de mi vida estudiantil.

A mi asesor de tesis, el **Ing. Luis Jiménez Troncoso**, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, quien en cada momento estuvo apoyándome en la ejecución de la tesis.

Agradecimiento especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, que me brindaron las herramientas necesarias en el proceso de formación profesional, desempeñándome actualmente como un profesional muy competente al servicio de la sociedad.

Agradecimiento al **Ing. Xenón Huamán Gutiérrez**, Director de la Dirección Zonal 12 Cusco del SENAMHI, por brindarme las facilidades para acceder a la Estación Meteorológica del Distrito de Calca, que constituyó el patrón para validar el sistema implementado que mide variables ambientales.

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
INDICE DE TABLAS	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE ACRONIMOS	xv
RESUMEN	xvi
INTRODUCCIÓN	xix
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....	21
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DEL PROBLEMA.....	21
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	22
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	23
1.3.1. Objetivo General	23
1.3.2. Objetivos Específicos	23
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA TESIS	23
1.5. ALCANCES DEL PROYECTO DE TESIS.....	24
1.6. LIMITACIONES DEL PROYECTO	25
1.7. HIPOTESIS.....	26
1.8. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	26
1.9. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	27
1.10. ANTECEDENTES DEL PROYECTO FITEL 2 EN EL PERÚ	29
CAPITULO 2: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL	30
2.1. RADIACIÓN SOLAR	30
2.1.1. Distancia Sol - Tierra.....	31

2.1.2. Constante Solar.....	31
2.1.3. Ley Cuadrática Inversa.....	32
2.1.4. Irradiancia.....	33
2.1.5. Horas Sol Pico (HSP).....	33
2.1.6. Posición del Sol en Coordenadas Polares.....	34
2.1.7. Naturaleza de la Radiación Solar	35
2.1.8. Masa de Aire entre la Atmósfera y la Superficie Terrestre	36
2.2. EL EFECTO FOTOELECTRICO.....	37
2.3. CÉLULA SOLAR.....	38
2.3.1. Tensión de Circuito Abierto de una Célula Solar (V_{OC})	39
2.3.2. Corriente de Corto Circuito de una Célula Solar (I_{SC})	40
2.3.3. Punto de Maxima Potencia de una Celula Solar.....	40
2.3.4. Eficiencia en la Conversión de Energía (η).....	41
2.3.5. Factor de Forma (FF).....	41
2.4. TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	42
2.4.1. Paneles Fotovoltaicos Monocristalinos	42
2.4.2. Paneles Fotovoltaicos Policristalinos	42
2.5. EFECTOS AMBIENTALES EN LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	43
2.5.1. Efectos de la Irradiancia sobre los Paneles Fotovoltaicos.....	43
2.5.2. Efecto de la Temperatura sobre los Paneles Fotovoltaicos	44
2.5.3. Efecto del Punto Caliente de un Panel Fotovoltaico	45
2.5.4. Factores que Contribuyen al Efecto de Punto Caliente	46
2.6. MÉTODOS DE ENSAYO PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	47
2.7. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA).....	48

CAPITULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	54
3.1. ELECCIÓN DE MICROCONTROLADOR	54
3.2. ELECCIÓN DE COMPONENTES PARA MEDIR VARIABLES AMBIENTALES.....	56
3.3. DIAGRAMA DE BLOQUES Y ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA QUE MIDE VARIABLES AMBIENTALES	59
3.4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA QUE MIDE VARIABLES AMBIENTALES	62
3.4.1. Validación del Sensor de Temperatura.....	65
3.4.2. Validación del Sensor de Humedad	66
3.4.3. Validación del Sensor de Radiación Solar	67
3.5. ELECCIÓN DE COMPONENTES PARA EL SISTEMA QUE MIDE LA POTENCIA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO	68
3.5.1. Diagrama de Bloques y Esquemático del Sistema Medidor de Potencia	70
3.6. VALIDACIÓN DEL SISTEMA MEDIDOR DE POTENCIA	73
3.6.1. Validación del Sensor de Voltaje	75
3.6.2. Validación del Sensor de Corriente.....	76
3.7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MEDIDOR DE VARIABLES AMBIENTALES Y DE POTENCIA.....	77
3.8. LIMITACIONES DEL SISTEMA MEDIDOR DE VARIABLES AMBIENTALES Y MEDIDOR DE POTENCIA	79
3.9. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA MEDIDOR DE VARIABLES AMBIENTALES Y SISTEMA MEDIDOR DE POTENCIA	80
3.9.1. Elección de Componentes Electrónicos para el Sistema Optimizado	81
3.9.2. Diseño del Circuito del Sistema Optimizado	87

3.9.3. Implementación del Sistema Optimizado.....	92
3.9.4. Diagrama de Flujo del Sistema Optimizado.....	94
3.9.5. Validación del Sistema Optimizado	95
3.10. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	99
3.10.1. Fenómenos Naturales Observados Durante el Estudio	102
CAPITULO 4: CALCULO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	103
4.1. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL PANEL FOTOVOLTAICO	103
4.2. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN.....	105
4.2.1. Análisis de la Eficiencia del Panel Fotovoltaico	111
4.2.2. Análisis con Respecto a las Variables Ambientales.....	112
4.2.3. Análisis de Fenómenos Naturales Presentes en el Estudio	112
4.2.4. Análisis de la Información Considerando el Promedio de las Variables.	113
4.3. CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS	115
CAPITULO 5: PRESUPUESTO.....	116
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES	120
BIBLIOGRAFIA	122
ANEXOS	125
ANEXO A: HOJA TECNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS.....	125
ANEXO B: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS ...	130
ANEXO C: TABLAS	136
ANEXO D: FOTOGRAFIAS Y DIAGRAMAS ESQUEMATICOS	140
ANEXO E: CODIGOS DE PROGRAMACIÓN.....	154

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos interesantes acerca del Sol.....	30
Tabla 2: Masa de aire para distintas alturas de Sol.....	36
Tabla 3: Ensayos de calidad en módulos fotovoltaicos según IEC 61215 - 2.	47
Tabla 4: Cuadro comparativo para el procesamiento de Datos.	55
Tabla 5: Cuadro comparativo de sensores de radiación solar.....	56
Tabla 6: Cuadro comparativo de sensores de temperatura y humedad.....	57
Tabla 7: Especificaciones técnicas del módulo micro SD.	58
Tabla 8: Especificaciones técnicas del reloj DS3231.	58
Tabla 9: Datos de la estación SENAMHI del Distrito de Calca.	63
Tabla 10: Datos del sistema implementado que mide variables ambientales.	64
Tabla 11: Cuadro comparativo de sensores de corriente.	68
Tabla 12: Cuadro comparativo de sensores de voltaje.	69
Tabla 13: Validación del sistema implementado con los instrumentos patrón.....	74
Tabla 14: Cuadro comparativo para el procesamiento de datos.	82
Tabla 15: Cuadro comparativo de sensores de temperatura.	83
Tabla 16: Especificaciones técnicas módulo Bluetooth HC - C5.....	85
Tabla 17: Especificaciones técnicas del módulo GPS NEO - 6M.....	85
Tabla 18: Especificaciones técnicas del módulo Relé.....	86
Tabla 19: Especificaciones técnicas de la resistencia Shunt.....	86
Tabla 20: Medición de las características eléctricas del PV con alambre de Nicrom.	96
Tabla 21: Medición de las características eléctricas del PV con el sistema optimizado.	96
Tabla 22: Cuadro general de mediciones realizadas.....	101

Tabla 23: Presencia de fenómenos naturales.	102
Tabla 24: Cálculo de eficiencia del panel fotovoltaico para cada localidad.....	104
Tabla 25: Matriz de correlaciones.	106
Tabla 26: Extracción de datos estandarizados.	106
Tabla 27: Varianza total explicada.	107
Tabla 28: Matriz de componentes.....	108
Tabla 29: Localidades con presencia de fenómenos naturales sobre los PV.....	112
Tabla 30: Representación porcentual de los fenómenos naturales.	113
Tabla 31: Promedio de las variables ambientales y variables del panel fotovoltaico	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema del sistema satelital del proyecto FITEL 2 (Elaboración propia).	29
Figura 2: Flujo radiante dirigido hacia la Tierra [6].	30
Figura 3: Distancia del Sol a la Tierra [6].	31
Figura 4: Ley cuadrática inversa [13].	32
Figura 5: Irradiacia e Irradiación [14].	33
Figura 6: Hora sol pico [17].	33
Figura 7: Posición del Sol [6].	34
Figura 8: Componentes de la radiación solar [15].	35
Figura 9: Masa de aire para distintas alturas de Sol [18].	36
Figura 10: Efecto fotoeléctrico [10].	37
Figura 11: Liberación de un electrón por incidencia de un fotón [10].	37
Figura 12: Corrientes internas de una célula solar [6].	38
Figura 13: Curvas característicos de una célula fotovoltaica [11].	39
Figura 14: Tensión en circuito abierto [16].	39
Figura 15: Tensión en corto circuito [16].	40
Figura 16: Punto de potencia máxima de un panel fotovoltaico (Elaboración propia).	40
Figura 17: Factor de forma y punto de potencia máxima [6].	41
Figura 18: Célula fotovoltaico de tipo Monocristalino (Elaboración propia).	42
Figura 19: Célula y panel fotovoltaico de tipo Policristalino (Elaboración propia).	42
Figura 20: Efecto de la irradiancia sobre los paneles fotovoltaicos [16].	43
Figura 21: Efecto de la temperatura sobre los paneles fotovoltaicos [16].	44
Figura 22: Variación de potencia máxima por efecto de la temperatura [16].	44

Figura 23: Efecto del punto caliente de un panel solar (Elaboración propia).....	45
Figura 24: Formación de musgos en un panel fotovoltaico (Elaboración propia).....	46
Figura 25: Presencia de sombra, oxido y excremento de aves sobre los paneles solares (Elaboración propia).	46
Figura 26: Ensayo para la certificación de un panel fotovoltaico según IEC [12].	47
Figura 27: Diagrama esquemático del sistema a implementar (Elaboración propia).	54
Figura 28: Módulo micro SD y memoria micro SD (Elaboración propia).	57
Figura 29: Módulo reloj DS3231 (Elaboración propia).....	58
Figura 30: Módulo interfaz I2C para LCD 16x2 (Elaboración propia).	58
Figura 31: Diagrama de bloques para el sistema que mide variables ambientales (Elaboración propia).	59
Figura 32: Plano esquemático del sistema de medición de variables ambientales (Elaboración propia).	60
Figura 33: Implementación del sistema que mide variables ambiental (Elaboración propia).	61
Figura 34: Diagrama de flujo del medidor de variables ambientales (Elaboración propia).	61
Figura 35: Validación del sistema que mide variables ambientales (Elaboración propia).	62
Figura 36: Instrumentos de medición de variables ambientales (Elaboración propia).	62
Figura 37: Temperatura SENAMHI vs temperatura sistema implementado.....	65
Figura 38: Húmeda SENAMHI vs humedad sistema implementado	66
Figura 39: Radiación solar de SENAMHI vs radiación solar del sistema implementado (Elaboración propia).	67

Figura 40: Alambre de Nicrom (Elaboración propia).....	69
Figura 41: Diagrama de bloques del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).	70
Figura 42: Diagrama esquemático del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).	71
Figura 43: Implementación del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).	72
Figura 44: Diagrama de flujo del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).	73
Figura 45: Validación del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).	74
Figura 46: Voltaje del instrumentó patrón vs voltaje del sistema implementado (Elaboración propia).	75
Figura 47: Corriente del instrumento patrón vs corriente del sistema implementado (Elaboración propia).	76
Figura 48: Medición de variables ambientales y potencia de un panel fotovoltaico (Elaboración propia).	78
Figura 49: Promedio de las variables ambientales y potencia máxima del panel fotovoltaico (Elaboración propia).	78
Figura 50: Medidor de características eléctricas de un panel fotovoltaico y variables ambientales (Elaboración propia).	80
Figura 51: Diagrama de bloques del sistema optimizado (Elaboración propia).....	81
Figura 52: Comparación de los sensores de temperatura (Elaboración propia).	84
Figura 53: Módulo Bluetooth hc - 05 (Elaboración propia).	84
Figura 54: Módulo GPS NEO - 6M (Elaboración Propia).	85
Figura 55: Módulo Relé de 5V (Elaboración propia).	86

Figura 56: Resistencia Shunt de precisión (Elaboración propia).....	86
Figura 57: Diseño del sistema que mide la tensión y corriente (Elaboración propia).	87
Figura 58: Tensión y corriente en el proceso de carga del capacitor (Elaboración propia).	89
Figura 59: Corriente vs voltaje del proceso de carga del capacitor (Elaboración propia).	90
Figura 60: Sistema medidor de las características eléctricas de un PV y variables ambientales (Elaboración propia).	91
Figura 61: Diseño de la PCB y placa del circuito impreso (Elaboración propia).....	92
Figura 62: Circuito implementado y escaneo de la cubierta externa (Elaboración propia).	92
Figura 63: Sistema medidor de características eléctricas del Panel fotovoltaico (Elaboración propia).	93
Figura 64: Diagrama de flujo del sistema optimizado (Elaboración propia).....	94
Figura 65: Validación del sistema optimizado (Elaboración propia).	95
Figura 66: Grafica de tensión y corriente de la carga de un capacitor (Elaboración propia).	97
Figura 67: Corriente vs voltaje en el proceso de carga del capacitor (Elaboración propia).	98
Figura 68: Forma de medir las características eléctricas de un PV con el sistema optimizado (Elaboración propia).	98
Figura 69: Limpieza de los paneles fotovoltaicos (Elaboración propia).	99
Figura 70: Zonas geográficas donde se realizaron la toma de datos.....	100
Figura 71: Método utilizado para calcular el área del panel fotovoltaico.....	103

Figura 72: Grafico de sedimentación (Elaboración propia).....	108
Figura 73: Distribución de variables sobre las componentes principales (Elaboración propia).	109
Figura 74: Distribución de localidades sobre las componentes principales (Elaboración propia).	110
Figura 75: Prueba de sombra con paneles fotovoltaicos (Elaboración propia).	115

INDICE DE ACRONIMOS

ACRONIMO	SIGNIFICADO
FITEL	Fondo de Inversión en Telecomunicaciones
TIC	Tecnología de la Información y las Comunicaciones
E	Radiación Solar
Ac	Superficie del Panel Fotovoltaico (m ²)
Ics	Corriente en Corto Circuito
Voc	Voltaje en Circuito Abierto
PV	Panel Fotovoltaico
NC	Normalmente Cerrado
NO	Normalmente Abierto
COM	Común
CSV	Valores Separados por Comas
PCA	Análisis de Componentes Principales

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, abarca el estudio de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos que funcionaron aproximadamente 20 años en el proyecto FITEL 2 (telefonía pública rural) en el Departamento del Cusco.

Para dicho estudio se implementó, un sistema de adquisición de variables ambientales a base de una tarjeta Arduino Uno, para medir la radiación solar (W/m^2) se utilizó el sensor DAVIS 6450, así mismo para medir la temperatura ($^{\circ}C$) y humedad relativa (%) se utilizó el sensor DHT22. Paralelamente se implementó otro sistema que captura datos de voltaje por medio del sensor FZ0430 0V ~ 25V y datos de corriente por medio del sensor ACS712 - 5A, ambos sensores conectados a una carga variable (alambre de Nicrom). A partir de ello se puede hacer seguimiento a la potencia entregada por el panel fotovoltaico de manera visual por medio de una pantalla LCD 2x16, hasta encontrar el punto en donde el panel fotovoltaico es capaz de entregar la máxima potencia. De esta manera, ambos sistemas se sincronizan por un módulo reloj a tiempo real DS3231 y los datos son almacenados en una tarjeta micro SD en formato texto y csv. Obtenido los datos ambientales y los datos de potencia máxima del panel fotovoltaico, es posible determinar la eficiencia del panel fotovoltaico. Las mediciones se realizaron en horarios de 11:00 a. m. a 14:00 p. m., momento en el cual la radiación solar puede aprovecharse al máximo.

Este sistema implementado, es muy práctico para realizar mediciones en la zona sierra del Departamento de Cusco, puesto que en los meses de mayo - setiembre el cielo normalmente se encuentra despejado y los paneles fotovoltaicos se encuentran limpios. Pero al momento de realizar las mediciones en la selva del Departamento de Cusco, la parte superior donde están las celdas fotovoltaicas se hallaban cubiertos por suciedad y oxidados, cuya limpieza requiere

bastante tiempo; además la poca presencia de radiación directa de Sol dificultaba el procedimiento, el sistema implementado no era suficiente para aprovechar los tiempos limitados de radiación directa de Sol, puesto que se requiere bastante tiempo para hacer las variaciones en la carga de Nicrom y encontrar el punto de potencia máxima del panel fotovoltaico, el sensor DHT22 presentó mediciones no reales a causa de altas temperaturas en la selva, mayores a 35 °C.

Debido a los problemas presentados en nuestro primer sistema implementado, hubo la necesidad de optimizar el sistema y realizar las mediciones en tiempos muy cortos, en tal sentido, se implementa un nuevo sistema que es capaz de medir las características eléctricas de un panel fotovoltaico y las variables ambientales. El nuevo sistema es elaborado a base de microcontrolador ARM – STM32F103C8T6 y como carga variable se utiliza un capacitor conectado a un Relé para que realice el proceso de carga y descarga, para medir el voltaje el sistema utiliza un divisor de tensión y la corriente a través de una resistencia Shunt de precisión.

Al nuevo sistema se le añade el sensor DAVIS 6450 para medir la radiación solar, el sensor SHT31 diseñado para soportar altas temperaturas, para la captura de hora y fecha se utiliza un GPS NEO – 6 M, la información se almacena en una tarjeta micro SD mediante un archivo csv. Los datos de voltaje de potencia máxima, corriente de potencia máxima, potencia máxima, voltaje en circuito abierto, corriente en corto circuito, radiación solar, temperatura y humedad relativa se visualizan de manera instantánea en el celular, mediante el uso del módulo Bluetooth HC - 05.

Para la recolección de información para la tesis, se ha seleccionado de manera aleatorio 40 localidades del Departamento de Cusco beneficiados con el proyecto FITEL 2, de las cuales algunas visitas fueron fallidas. El criterio que se tomó en cuenta para la visita a las localidades, es la necesidad de energía eléctrica que existe en las zonas, donde es importante realizar

proyectos futuros con paneles fotovoltaicos. Una parte corresponda a zona sierra del Departamento de Cusco, específicamente en las provincias de Canas, Canchis, Calca, Espinar, Paucartambo, Paruro, Quispicanchi, Anta, Acomayo y Chumbivilcas. La otra parte que corresponde a la zona selva del departamento, la Provincia de La Convención particularmente.

Con las mediciones realizadas en cada localidad se determina la eficiencia del panel fotovoltaico para cada localidad. Posterior a ello se realiza un análisis total, por el método de análisis de componentes principales (PCA), que es un método estadístico para analizar información con varias variables, donde se determina las diferencias en eficiencia de paneles fotovoltaicos que funcionaron en la selva y paneles fotovoltaicos que funcionaron en la sierra del Departamento del Cusco.

INTRODUCCION

El aprovechamiento de la energía solar mediante paneles fotovoltaicos, es una excelente alternativa para cubrir la demanda de energía eléctrica que se tiene en las zonas rurales muy distantes de la red principal de energía eléctrica, lo más interesante es que no genera impacto negativo al medio ambiente. Dichos paneles fotovoltaicos según la hoja técnica del fabricante tienen una eficiencia determinada, en una instalación real dicha eficiencia por lo general es menor que el dato que indica el fabricante, debido a que las condiciones ambientales de cualquier parte del mundo son muy diferentes a las condiciones ambientales del laboratorio. Como es el caso del Departamento de Cusco que tiene una zona Sierra, donde se presentan temperaturas bajas, alto grado de radiación y con presencia de granizo en los meses de octubre a abril. También posee una zona selva, donde predomina las altas temperaturas, abundante humedad y lluvias de manera constante a lo largo del año.

Debido al alto grado de radiación en el sur del Perú, la tecnología fotovoltaica es una buena solución para proveer con energía eléctrica a las zonas rurales más alejadas, ya que la red eléctrica común no puede llegar a estos sitios. Consiguientemente, reducir la brecha tecnológica que existe entre habitantes de zonas rurales y habitantes de zonas urbanas. A inicios del 2020 en el Perú, la pandemia paralizó toda actividad laboral y educativa, el trabajo y la educación se realizaba de manera remota, los más perjudicados de esta situación fueron las habitantes de las zonas rurales, puesto que no cuentan con energía eléctrica ni acceso a internet, por tal motivo es de gran importancia que el gobierno del Perú promueva acceso a la energía eléctrica a base de paneles fotovoltaicos, acceso a los TIC (Tecnología de la Información y las Comunicaciones) con el uso de tecnología satelital en las zonas rurales, y de tal manera reducir la brecha tecnológica que existe en la actualidad.

Para reducir la brecha tecnológica en el Perú, a inicios del año 2000 el gobierno implementó el proyecto FITEL 2 en las zonas rurales del Departamento de Cusco, a partir del cual se instalaron teléfonos tarjeteros con tecnología satelital que funcionan a base de paneles fotovoltaicos, actualmente la mayoría fue dada de baja por la presencia de telefonía móvil y por el fin del contrato con la empresa prestadora de servicio. Durante su funcionamiento los sistemas satelitales presentaron fallas de energía a causa de los múltiples factores ambientales que afectaron en su eficiencia.

Esta tesis intenta determinar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos del proyecto FITEL 2, que estuvieron en funcionamiento aproximadamente 20 años en las zonas rurales del Departamento de Cusco. Posterior a ello, se realiza un análisis general de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos considerando factores ambientales variados debido a la presencia de zonas sierra y zonas selva.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DEL PROBLEMA

En la actualidad existe una brecha muy grande en las zonas rurales del Perú, ya que no tienen acceso a las nuevas tecnologías por la ubicación de sus viviendas, distanciadas unas con otras y alejados de los centros poblados, motivo por el cual, el sistema de red eléctrica no llegue a esas zonas, en consecuencia, no pueden hacer uso de aparatos eléctricos y electrónicos. La pandemia COVID - 19 que se dio a inicios del año 2020 en el Perú, que paralizó toda actividad laboral y educativa; para evitar el contagio las personas migraron de la ciudad al campo, los trabajos y estudios se realizaban de manera remota, los más afectados en el tema laboral y educativa fueron aquellos habitantes de zonas rurales que no cuentan con energía eléctrica ni acceso a internet en su domicilio. Bajo tal escenario, es importante que el gobierno realice proyectos que acorten la brecha tecnológica existente entre las zonas rurales y zonas urbanas, así mismo, es de gran importancia que las universidades realicen investigaciones sobre nuevas tecnologías en las zonas rurales para brindar una solución acertada a la realidad del problema.

Los paneles fotovoltaicos constituyen una solución acertada para brindar energía eléctrica a las zonas más alejadas de todas las regiones del Perú. Pero ello también presenta fallas debido a la variedad de climas que existen en el territorio peruano. Los paneles solares no funcionan tal como indica la hoja técnica del fabricante, esto se corrobora en el proyecto FITEL 2.

Según experiencias personales como técnico en mantenimiento, los sistemas fotovoltaicos del proyecto FITEL 2 en el Departamento de Cusco, desde su instalación hasta la fecha, presentaron desconexiones debido a varios factores que afectan directamente en su eficiencia. En lugares como el valle de La Convención, la acumulación de polvo y la humedad en la zona hacen que se

forme una especie de capa de óxido sobre las celdas fotovoltaicas en un corto periodo de tiempo, también se presentan impregnación de hojas de plantas, sombras causadas por los árboles y presencia de excremento de aves sobre las celdas fotovoltaicos. A esta causa se le añade las altas temperaturas que afectan de manera negativa a la eficiencia del panel fotovoltaico, por ende, los técnicos de mantenimiento tengan que visitar de manera constante para realizar la limpieza de los paneles fotovoltaicos.

En zonas de mayor altitud (m s. n. m.), como las localidades de Phinaya (Canchis) y Condorama (Espinar) en los meses de noviembre - abril los sistemas satelitales son afectados con la presencia de nieve, que cubren completamente los paneles fotovoltaicos, a esto se le añade la helada que convierte en hielo la nieve ocasionando que el panel fotovoltaico deje de entregar energía al sistema de telecomunicaciones.

Es de gran importancia, hacer un estudio de eficiencia de paneles fotovoltaicos del proyecto FITEL 2 que funcionaron aproximadamente 20 años, tomando en cuenta que gran parte de ellos han disminuido su eficiencia considerablemente, asimismo identificar las causas directas sobre la baja eficiencia de los paneles fotovoltaicos y contrastar con los datos que brinda el fabricante. De esta manera precisar si los proyectos con paneles fotovoltaicos son viables y perdurables en las zonas rurales del Departamento de Cusco.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Debido a la diferencia de variables ambientales que existen en las zonas rurales de la Región Cusco, se desconoce la eficiencia actual de los paneles fotovoltaicos del proyecto FITEL 2.

1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1. Objetivo General

Determinar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos instalados en el proyecto FITEL 2 en las diferentes zonas del ámbito rural del Departamento de Cusco.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar un sistema de adquisición de datos que nos permita medir las características eléctricas de un panel fotovoltaico (corriente, voltaje y potencia), así mismo pueda medir las variables ambientales como son temperatura, humedad y radiación solar.
- Calculo y análisis de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos en los diferentes puntos seleccionados como muestra en el ámbito rural del Departamento de Cusco.
- Determinar las causas que afectan los bajos rendimientos de los paneles fotovoltaicos.
- Determinar las zonas geográficas en donde se puede aprovechar al máximo la energía fotovoltaica.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA TESIS

- Nos permite conocer de manera directa, la forma en que las variables ambientales afectan en la eficiencia del panel fotovoltaico en las zonas rurales del Departamento de Cusco.
- Con el pasar del tiempo no se han realizado, estudios sobre el comportamiento de la eficiencia de paneles fotovoltaicos luego de varios años de funcionamiento en zonas frías y secos como es la sierra del Departamento de Cusco y otras zonas cálidos y húmedos como es el valle de La Convención.
- Nos permitirá fomentar el estudio de la tecnología solar en el ámbito rural del Departamento de Cusco.

- Conoceremos si los paneles fotovoltaicos instalados, funcionan de manera adecuada en las zonas rurales de mayor altitud. Con el objetivo realizar proyectos futuros para los criaderos de camélidos sudamericanos de las provincias de Canchis, Canas, Calca, Quispicanchi, Espinar y Chumbivilcas. De la misma manera, proyectos para fruteros, cafetaleros y cocaleros de la Provincia de La Convención, que requieren a la brevedad el servicio de energía fotovoltaica para poder acceder a los TIC.
- Perú es uno de los países con un alto índice de radiación solar a nivel mundial según la NASA, por ende, se deben realizar estudios para aprovechar de manera estratégica esta energía renovable proveniente del Sol.

1.5. ALCANCES DEL PROYECTO DE TESIS

Al término de la investigación se tiene los siguientes alcances:

- Se determina las causas directas por zonas, donde los paneles fotovoltaicos del proyecto FITEL 2 tienen eficiencias altas y bajas.
- Se determina en qué medida han afectado las variables ambientales a la eficiencia alta o baja del panel fotovoltaico.
- Se determina si los paneles fotovoltaicos instalados en la zona selva son tan efectivas como las que se encuentran en la zona sierra.
- Se determina la diferencia que existe, entre los datos que brinda el fabricante y los datos obtenidos en campo. Puesto que los paneles fotovoltaicos no cumplen en gran medida con las garantías brindadas por el fabricante en la hoja técnica, a causa de los factores ambientales.

- Se determinará si los proyectos con paneles fotovoltaicos son perdurables en el tiempo, para realizar futuros proyectos en la zona sierra y zona selva del Departamento de Cusco.

1.6. LIMITACIONES DEL PROYECTO

- El Departamento de Cusco tiene un clima muy cambiante, por lo que en este trabajo de investigación las mediciones se realizarán en los meses de mayo – setiembre, periodo en el cual el cielo se encuentra despejado (poca presencia de nubes) así obtener resultados razonables.
- La geografía del Departamento de Cusco es muy accidentada, lo que dificulta el acceso a las zonas rurales más lejanas, por esta razón el estudio se realizó en zonas cercanas a las capitales de cada provincia o cercanas a una carretera principal.
- El factor tiempo y dinero juegan un papel importante en este trabajo de investigación, por lo que se ha presupuestado visitar a 40 localidades diferentes de los más de 200 localidades beneficiados con el proyecto FITEL 2, de los cuales una pequeña parte de las visitas fueron fallidas, debido a que no se encontró a los encargados del sistema satelital.
- En muchos lugares donde están instalados los sistemas satelitales. Los encargados desconocen del proyecto de tesis que se realizó, por ende, se tuvo que explicar de manera detallada sobre el proyecto, para que faciliten el acceso a los paneles fotovoltaicos, en la mayoría de los casos se trató con personas quechua hablantes para lo cual el investigador estuvo muy preparado.
- La constante presencia de nubes a lo largo del año en la selva del Departamento de Cusco, provoca que las mediciones de tensión y corriente se realicen en intervalos de

tiempos muy cortos, es decir, como 5 a 10 minutos (las nubes interfieren en la medición).

1.7. HIPOTESIS

Lo que se pone a prueba en este proyecto de investigación es:

La degradación es un fenómeno natural que afecta a los módulos fotovoltaicos por medio de oxidación, delaminación, decoloración, corrosión y rotura cuyo origen son diversos factores ambientales (temperatura, radiación ultra violeta, humedad, polvo, contaminación...) que son únicos para cada zona geográfica entonces “La eficiencia de los paneles fotovoltaicos es diferente para cada zona geográfica”.

1.8. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

- Diseño de un sistema de adquisición de datos para medir variables ambientales y un sistema que mida tensión y corriente de un panel fotovoltaico.
- Implementación del sistema de adquisición de datos, que permita medir variables ambientales, permita medir tensión y corriente de un panel fotovoltaico.
- Salida a campo para la recolección de información, como muestra se realiza mediciones de 41 paneles fotovoltaicos ubicados en diferentes localidades del Departamento del Cusco.
- Cálculo de la eficiencia para cada panel fotovoltaico.
- Selección de la información y análisis.
- Resultados y Conclusiones.

1.9. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

En la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco se realizó un estudio comparativo de un panel fotovoltaico Monocristalino de 80 watts con un panel fotovoltaico Policristalino de 150 watts bajo condiciones ambientales de Cusco. Que consistió en medir las variables voltaje, corriente, potencia y eficiencia de los paneles fotovoltaicos para el cual se ha implementado un sistema que mide tensión y corriente a base de un microcontrolador PIC16f877A donde se obtuvo como resultado valores de 13.92 Volt. a 18.48 Volt. para paneles fotovoltaicos del tipo Monocristalino y valores de 9.65 Volt. a 6.10 Volt. para paneles fotovoltaicos de tipo Policristalino y también se obtuvieron valores de corriente de 6.8 Amp. a 8.56 Amp. para el panel de tipo Monocristalino y 5.31 Amp. a 8.37 Amp. para paneles fotovoltaicos de tipo Policristalino bajo una temperatura ambiental promedio de 16.77 °C y humedad relativa promedio de 44.61 % donde se observó que el panel fotovoltaico de tipo Monocristalino tiene una eficiencia de 18.40 % que es superior en 2.73 % al panel fotovoltaico Policristalino que tiene una eficiencia de 15.67 % [1].

Estudiantes de la Universidad Nacional del Altiplano Puno determinaron de manera experimental la eficiencia de un panel fotovoltaico de 60 watts bajo condiciones ambientales de la ciudad de Puno en un lapso de 4 días del mes de diciembre del año 2018. Cuya metodología de trabajo consistió en determinar la eficiencia del panel fotovoltaico por medio de una conversión de energía donde ponen énfasis a la radiación solar que incide al panel fotovoltaico y determinan el porcentaje de radiación que se convierte en energía eléctrica. Para medir la radiación solar utilizaron una estación meteorológica automática que mide los datos ambientales cada 30 minutos desde las 10:30 a. m. hasta 15:00 p. m. durante los días de prueba. La eficiencia del panel fotovoltaico puesta a prueba varía de 11.43 % a 12.80 % cuyo promedio es de

12.10 % mucho menor que la eficiencia que brinda el fabricante en su hoja técnica que es de 15 % a condiciones estándar de laboratorio. Concluyéndose que la eficiencia determinada es aceptable con respecto a la eficiencia especificada en la hoja técnica que brinda el fabricante la cual se debe a las condiciones ambientales de la ciudad de Puno que está a 3827 m s. n. m. que es un factor que influye sobre los niveles de radiación solar y temperatura que son factores externos que influyen de manera considerable en la eficiencia de un panel fotovoltaico [2].

Estimación de la eficiencia de un sistema de energía eléctrica basado en paneles solares considerando variables ambientales en la ciudad de Bogotá. El trabajo se ha realizado para conocer la relación entre la eficiencia de estos dos tipos de paneles fotovoltaicos, Monocristalinos y Policristalinos sobre climas variadas en la ciudad de Bogotá - Colombia. La energía generada por dos paneles fotovoltaicos una Monocristalina y una Policristalina se recolectaron durante un mes las 24 horas en condición de tiempo variados. Al mismo tiempo se implementó una estación de meteorológico que registró las variaciones de variables climáticas como velocidad del viento, temperatura, humedad, irradiancia y lluvia, con el fin de relacionarlas con la potencia generada de cada panel fotovoltaico. Recopilada esta información se realizó un estudio con todas las variables correlacionadas a través de la herramienta estadística PCA (Principals Components Analisisys) donde puede ver el impacto de cada variable climática sobre la potencia generada en ambos paneles y por tanto su impacto sobre la eficiencia [3].

Para mejorar la calidad de vida de los pobladores de las zonas rurales mediante el Ministerio de Energía y Minas en el Perú, se instalaron sistemas fotovoltaicos que benefician de manera directa a 12,782 pobladores y 168 localidades ubicados en las provincias de Chumbivilcas, Paruro y Quispicanchi del Departamento de Cusco, cuyo sistema consta de un panel fotovoltaico de 120 watts, una batería y un controlador de carga que tiene como salida 3 focos de tipo Led,

un tomacorriente y una salida de tipo Usb para cargar celulares, con la única finalidad de reducir la brecha energética que existe actualmente entre las zonas urbanas y zonas rurales del Perú [4].

1.10. ANTECEDENTES DEL PROYECTO FITEL 2 EN EL PERÚ

En el Perú mediante el Fondo de Inversión en Telecomunicaciones (FITEL) ahora Programa Nacional de Telecomunicaciones (PRONATEL), se han ejecutado varios proyectos de integración nacional cuya única finalidad fue acortar la brecha digital que existe entre las zonas urbanas y las zonas rurales del territorio nacional. Entre dichos proyectos está el proyecto FITEL 2, que consistía en la provisión de servicios de telefonía pública a base de tarjetas cuyo contrato se firmó en noviembre de 1999, la concesión fue dada a la empresa TELEREP que posteriormente pasó a la empresa Gilat To Home Perú S.A. y las instalaciones se dieron a inicios del año 2001. Debido a la alta demanda de dicho servicio se implementaron nuevos proyectos de telefonía pública como son los proyectos FITEL 3, FITEL 4 y FITEL 14 - VRAE en el Departamento de Cusco. Dichos proyectos son sistemas satelitales que pueden llevar voz y datos a las zonas más aisladas del territorio nacional y funcionan a base paneles fotovoltaicos, actualmente la empresa Gilat To Home Perú S.A. ganadora de varias licitaciones viene brindando el servicio con normalidad en las zonas donde no hay cobertura de telefonía móvil [5].

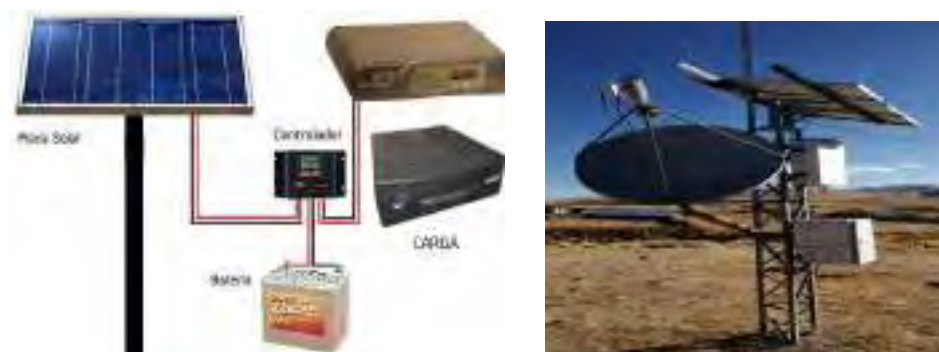


Figura 1: Esquema del sistema satelital del proyecto FITEL 2 (Elaboración propia).

CAPITULO 2: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

2.1. RADIACIÓN SOLAR

Como una inmensa fuente de energía tenemos al Sol, que genera energía mediante reacciones nucleares que se dan en el interior de su núcleo. Donde la pérdida de masa solar “m” se convierte en energía “E”, en este proceso la masa adquiere una velocidad muy alta “c” llamada velocidad de la luz, a este proceso lo podemos representar por la famosa ecuación de Albert Einstein [6].

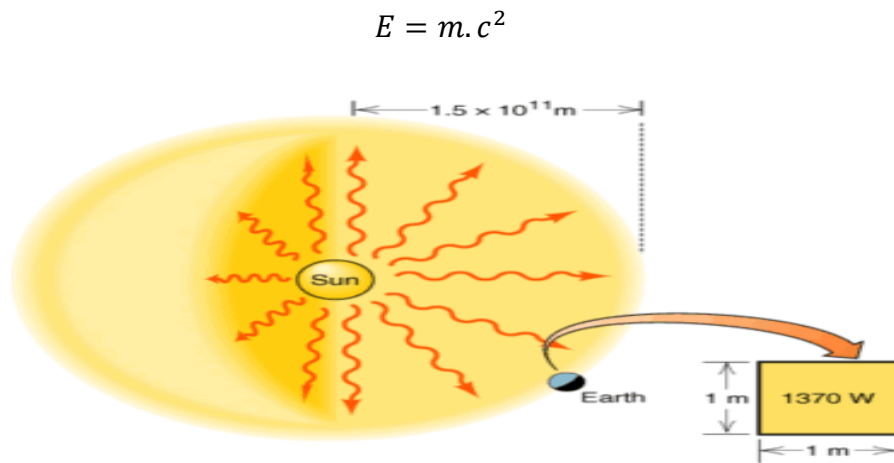


Figura 2: Flujo radiante dirigido hacia la Tierra [6].

Tabla 1: Datos interesantes acerca del Sol.

Diámetro	1 400 000 km.
La distancia Tierra - Sol	1.496×10^8 km (UA)
Masa	300.000 veces la masa de la Tierra
Temperatura superficial	5600 °K
Potencia del Sol	$4 * 10^{26}$ watts
Densidad de potencia o irradiancia en la superficie del Sol	62.5 Mw/m ²
Irradiancia que llega a la superficie terrestre	1.37 kw/m ²
Tiempo que demora la luz solar en llegar a la Tierra	8 minutos

2.1.1. Distancia Sol - Tierra

El movimiento de traslación que presenta la Tierra, genera una trayectoria elíptica con una excentricidad de 0.01673 que hace que la distancia entre la Tierra y el Sol varíe a lo largo del año. Donde la máxima distancia es de 1.017 UA y la mínima es de 0.983 UA.

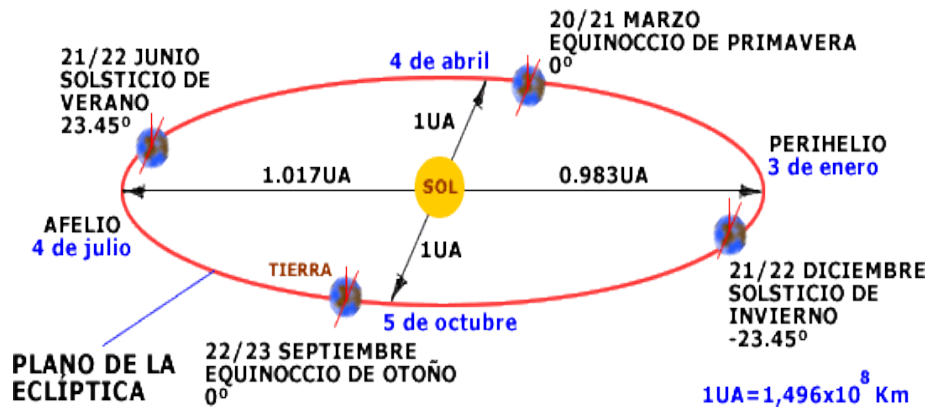


Figura 3: Distancia del Sol a la Tierra [6].

2.1.2. Constante Solar

Es la cantidad de radiación solar presente en una unidad de superficie por unidad de tiempo, la cual se determina en la parte externa de la atmosfera terrestre en un plano perpendicular a los rayos provenientes del Sol.

Dicha energía que irradia el Sol, se da en todas direcciones y aproximadamente a igual proporción. La irradiación que llega a la Tierra es 1414.71 W/m² aproximadamente, con una ligera variación de 0.1 % a 0.3 %.

2.1.3. Ley Cuadrática Inversa

Da mención a algunos fenómenos de tipo ondulatorio, como son la luz y el sonido. Donde la intensidad disminuye de manera proporcional con el cuadrado de la distancia donde se origina.

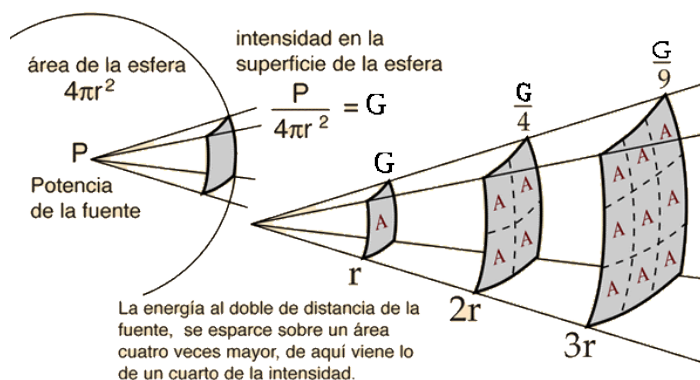


Figura 4: Ley cuadrática inversa [13].

Esta ley cuadrática inversa nos sirve para calcular la intensidad de radiación solar en la parte externa de la superficie terrestre.

Potencia del Sol $P = 4 \cdot 10^{26}$ watts

Superficie de la esfera $S = 4\pi r^2$

Distancia de centro del Sol a la Tierra $R = 1.5 \cdot 10^{11} \text{ m}$

Irradiancia $G = \frac{\text{Energía}}{\text{Superficie} \cdot \text{Tiempo}}$ si $\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo}}$

Entonces $G = \frac{\text{Potencia}}{\text{Superficie}} = \frac{4 \cdot 10^{26} \text{ watts}}{4\pi \cdot (1.5 \cdot 10^{11} \text{ m})^2} = 1414.71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

$$G = 1414.71 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \pm 42.14.7$$

Por conveniencia para realizar cálculos se utiliza $G = 1370 \text{ W/m}^2$.

2.1.4. Irradiancia

Definimos a la irradiancia, como la potencia de energía solar que recae en una unidad de área que se mide en (W/m^2). Para no confundir los términos se define a la irradiación como suma de las irradiancias en un periodo de tiempo que tiene como unidad de medida ($\text{W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$).

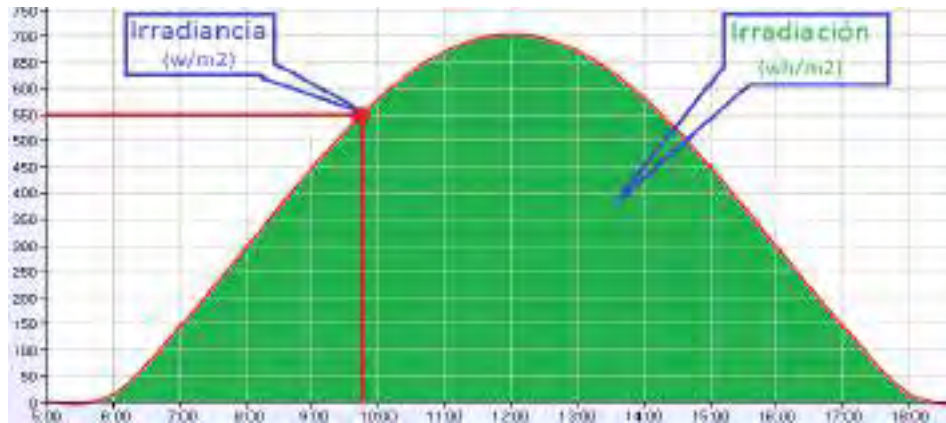


Figura 5: Irradiancia e Irradiación [14].

2.1.5. Horas Sol Pico (HSP)

Llamadas también horas efectivas de Sol, que sirven para calcular cuanta energía van a generar los paneles fotovoltaicos a lo largo de un día. Dicho de otra manera, son el número de horas que tiene un día con una irradiancia de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ cuya unidad de medida es kWh/m^2 [7].

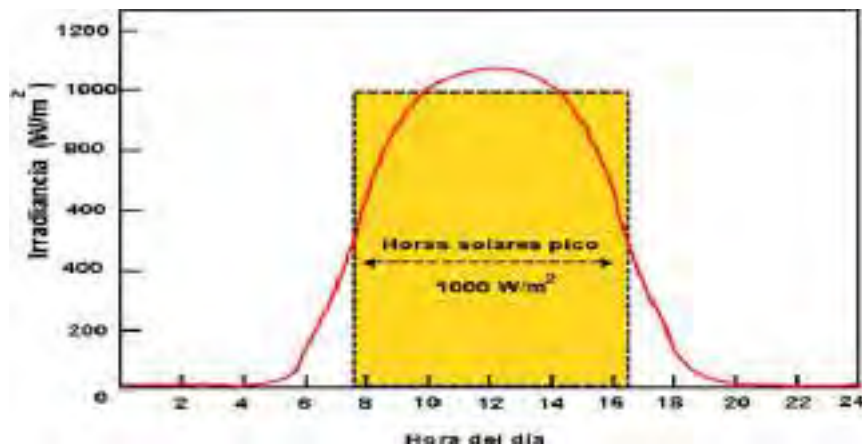


Figura 6: Hora Sol pico [17].

2.1.6. Posición del Sol en Coordenadas Polares

En proyectos fotovoltaicos se debe poner énfasis, la posición del Sol a lo largo del día, para orientar el panel fotovoltaico de manera óptima con la finalidad de aprovechar al máximo la radiación solar. En el Departamento de Cusco por su cercanía al ecuador los paneles fotovoltaicos deben tener un ángulo de inclinación aproximado de 15 grados de sur a norte [8].

Latitud del Lugar (λ): Es la complementaria del ángulo formado por la recta que une el zenit y el nadir con el eje polar. Es positivo hacia el norte y negativo hacia el sur.

Meridiano del Lugar: Circulo máximo de la esfera terrestre que pasa por el lugar, por el zenit y por el nadir.

Distancia Zenital (θ_{zs}): Es el ángulo formado por el radio vector punto - Tierra y la vertical del lugar. Es positivo a partir del zenit.

Altura Solar (γ_s): Ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. ángulo complementario de la distancia zenital.

Angulo Acimutal (Ψ_s): Ángulo formado por la proyección del Sol sobre el plano del horizonte con la dirección sur. positivo 0° a 180° hacia el oeste y negativo hacia el este 0° a -180° .

Horizonte: Lugar geométrico de los puntos con altura 0.

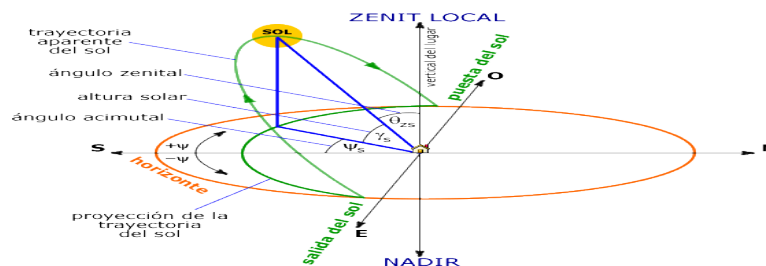


Figura 7: Posición del Sol [6].

2.1.7. Naturaleza de la Radiación Solar

La radiación solar en su trayecto hacia la superficie terrestre, se ve afectado por la presencia de la capa atmosférica que cubre la tierra, nubes, polvo, vapor de agua, etc. Entonces la radiación solar que incide sobre un panel fotovoltaico tiene una componente directa y una difusa [6]:

Radiación Directa (B): son los rayos solares que llegan a la superficie terrestre de manera directa sin ningún cambio de dirección.

Radiación Difusa (D): son aquellos rayos solares que llegan a la superficie terrestre en forma de reflejos, presentan cambios en su dirección que han sido afectados por las nubes, vapor de agua, polvo etc.

Radiación Global (G): Es la radiación total que llega a la superficie terrestre con una componente difusa, una componente directa y una poca cantidad de radiación reflejada.

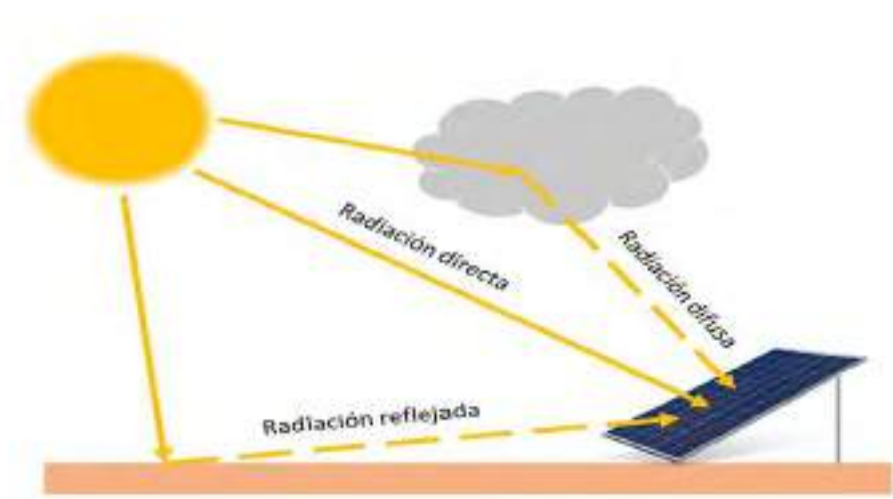


Figura 8: Componentes de la radiación solar [15].

2.1.8. Masa de Aire entre la Atmósfera y la Superficie Terrestre

En términos comunes, es el cuerpo de aire que debe atravesar la luz solar para llegar a un punto determinado de la superficie terrestre. Es un valor que no posee dimensiones, pero que relaciona la longitud de la trayectoria de los rayos solares a través de la atmósfera con el ángulo que forma con la vertical. Al disminuir la altura el espesor de aire que tiene que atravesar la luz solar es mayor debido a ello su energía se ve afectado de manera negativa [9].

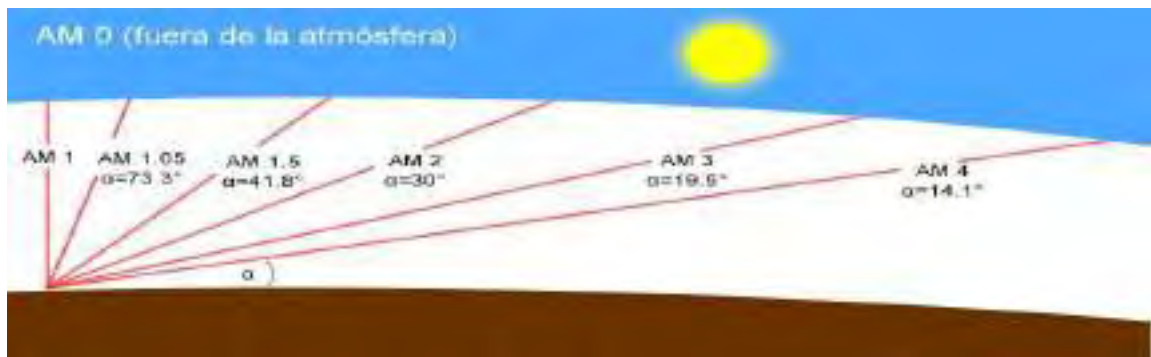


Figura 9: Masa de aire para distintas alturas de Sol [18].

Según las condiciones estándar de laboratorio, los paneles fotovoltaicos se tienen que poner a prueba bajo una masa de aire de 1.5.

Tabla 2: Masa de aire para distintas alturas de Sol.

Masa de aire	1	1,5	2	3	4	5	6
Altura solar	90°	42°	30°	20°	14,5°	11,5°	9,6°

Mediante la siguiente ecuación podemos relacionar la masa de aire con el ángulo cenital:

$$AM = 1 / \text{COS} (90^\circ - \alpha)$$

2.2. EL EFECTO FOTOELECTRICO

El efecto fotoeléctrico, consiste en el desprendimiento de electrones de un cuerpo metálico al ser incidido por un haz de luz a partir de ciertos valores de energía. Este metal desprende electrones y estos electrones adquieren una energía cinética asociado al movimiento en el que son liberados.

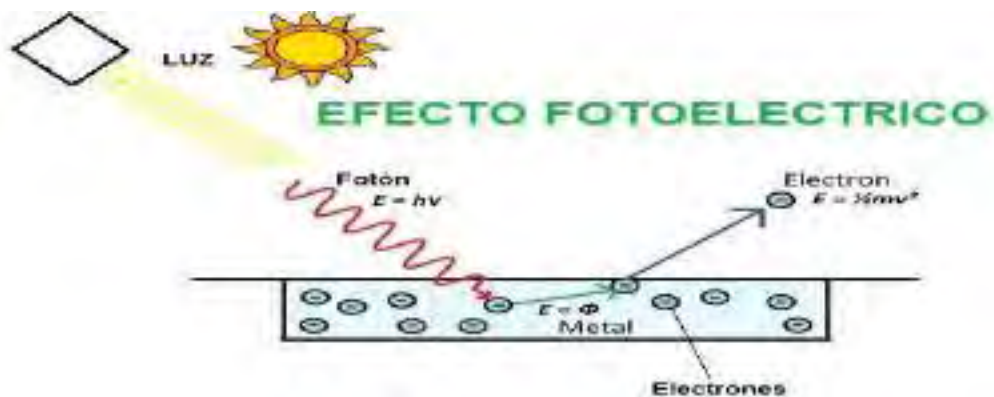


Figura 10: Efecto fotoeléctrico [10].

El fotón que es una pequeña partícula que no posee masa, pero que transporta energía al chocar con un metal, hace que su electrón que está más distante al núcleo sea liberado generándose el par electrón hueco [10].

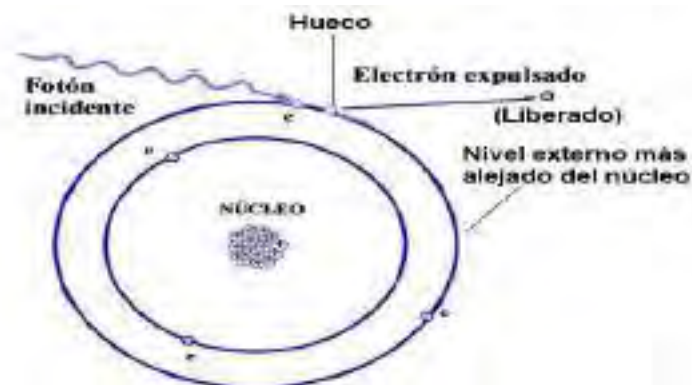


Figura 11: Liberación de un electrón por incidencia de un fotón [10].

2.3. CÉLULA SOLAR

Es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica en energía eléctrica, está conformada por dos electrodos metálicos uno negativo y otro positivo, entre ellos dos placas de Silicio uno negativo y otro positivo separadas por una placa interface que permite el flujo eléctrico en un solo sentido. Los fotones de la luz existen a la placa interface y estas estimulan los átomos de la placa positiva para que liberen electrones, los electrones atraviesan la placa negativa y circulan por el electrodo ya que la interface aísla ambas placas, al cerrar circuito con una pequeña carga los átomos que han perdido electrones tienden a recuperar para equilibrarse por lo que se produce un flujo de cargas que genera las corrientes eléctricas, estas corrientes en la célula son las llamadas corrientes del Diodo o corriente de oscuridad (I_D), debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga y la corriente de iluminación (I_{ph}) producida por la generación de portadores que produce la iluminación [11].

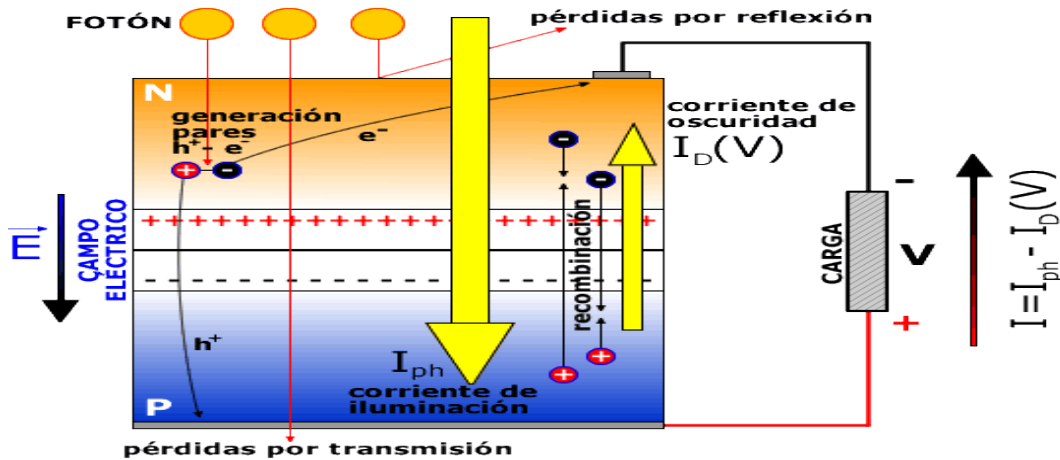


Figura 12: Corrientes internas de una célula solar [6].

$$I_{ph} = I_L \qquad I = I_L - I_D \qquad I_D(V) = I_0 \left[e^{\left(\frac{e \cdot V}{m \cdot k \cdot T}\right)} - 1 \right]$$

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\left(\frac{e*V}{m*k*T} \right)} - 1 \right]$$

Donde

e: Carga del electrón $1.602 * 10^{-19} C$.

m: Factor de idealidad ($1 \leq m \leq 2$).

K: Constante de botzman ($1.38*10^{-23} J * K^{-1}$).

T: Temperatura ambiental °K.

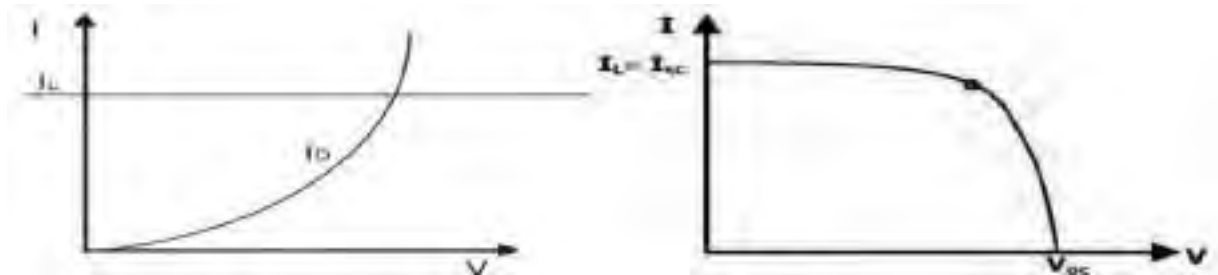


Figura 13: Curvas característicos de una célula fotovoltaica [11].

2.3.1. Tensión de Circuito Abierto de una Célula Solar (Voc)

Es la máxima tensión generada por la célula fotovoltaico al incidir luz solar sobre ella, para el cual el borne de la célula fotovoltaico debe funcionar en el vacío no conectado a una carga. Con un flujo de corriente es igual a cero.

$$V_{oc} = m \frac{KT}{e} * Ln \left[\frac{I_L}{I_0} + 1 \right] \quad \text{cuando } I = 0$$

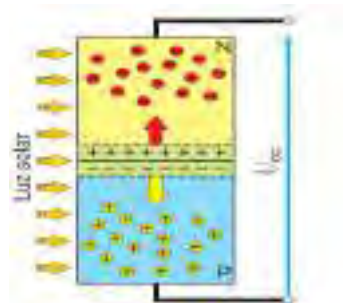


Figura 14: Tensión en circuito abierto [16].

2.3.2. Corriente de Corto Circuito de una Célula Solar (I_{sc})

Es la máxima corriente producida por la célula solar cuando la diferencia de potencial entre los bornes es igual a cero (célula solar en corto circuito).

$$I_{sc} = I_L \quad \text{cuando } (V = 0)$$

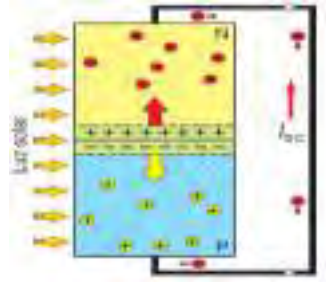


Figura 15: Tensión en corto circuito [16].

2.3.3. Punto de Maxima Potencia de una Celula Solar

Es el punto donde la célula solar es capaz de entregar la máxima potencia hacia una carga determinada.

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp}$$

Donde:

P_{mp} : Punto de máxima potencia.

V_{mp} : Voltaje de máxima potencia.

I_{mp} : Corriente de máxima potencia.

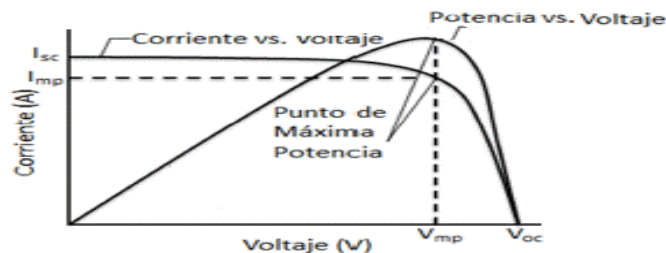


Figura 16: Punto de potencia máxima de un panel fotovoltaico (Elaboración propia).

2.3.4. Eficiencia en la Conversión de Energía (η)

Es la cantidad de irradiancia que se transforma en energía eléctrica al incidir sobre la superficie del panel fotovoltaico, se puede determinar por medio de la siguiente ecuación.

$$\eta = \frac{P_{mp}}{E * A_c}$$

Donde:

E : Irradiancia que incide sobre el panel fotovoltaico (W/m^2).

A_c : Área del panel fotovoltaico (m^2).

2.3.5. Factor de Forma (FF)

Es un término que determina la calidad de panel fotovoltaico, es un valor que mientras más se aproxima a uno significa mejor calidad del panel fotovoltaico. Se determina dividiendo la potencia máxima de un panel fotovoltaico entre en voltaje de circuito abierto y corriente de corto circuito.

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} * I_{cc}}$$

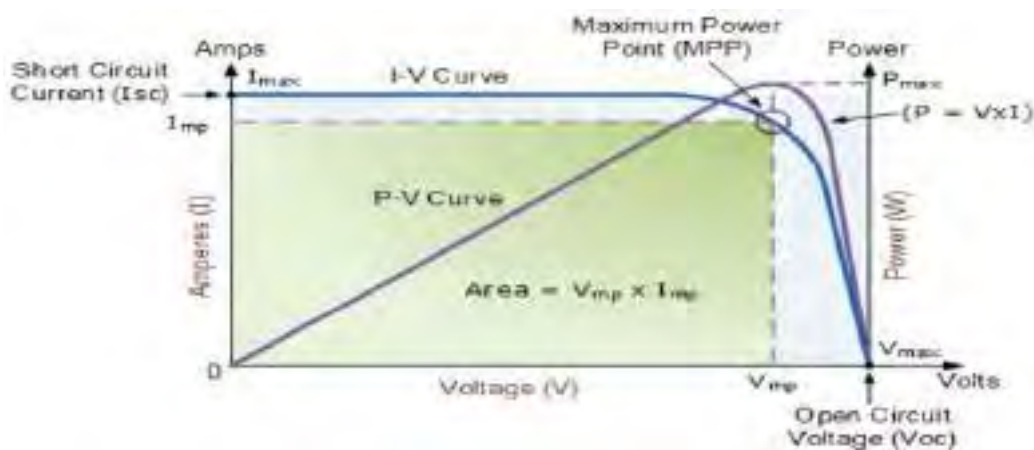


Figura 17: Factor de forma y punto de potencia máxima [6].

2.4. TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS

2.4.1. Paneles Fotovoltaicos Monocristalinos

Los paneles fotovoltaicos de tipo Monocristalino están formados de Silicio cristalino de alta pureza cuya eficiencia en la actualidad varia de 14 % a 17 %, se pueden identificar por medio de sus celdas que tienen un color negro y esquinas recortadas.



Figura 18: Célula fotovoltaico de tipo Monocristalino (Elaboración propia).

2.4.2. Paneles Fotovoltaicos Policristalinos

Las células del panel Policristalino están formadas por un cristal de Silicio con una estructura muy desordenada. En la actualidad pueden llegar a tener una eficiencia de 12 % a 14 % donde se pueden distinguir por el color azul claro y forma cuadrado de sus celdas.



Figura 19: Célula y panel fotovoltaico de tipo Policristalino (Elaboración propia).

2.5. EFECTOS AMBIENTALES EN LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

2.5.1. Efectos de la Irradiancia sobre los Paneles Fotovoltaicos

La irradiancia juega un rol muy importante en la potencia generada por el panel fotovoltaico, Puesto que la corriente y la tensión varían de manera proporcional a la misma, pero la tensión de circuito abierto tiende un ligero descenso, en casos prácticos permanece constante. Debido a la cercanía al ecuador y a la altitud (m s. n. m.) del Departamento de Cusco, se percibe altos índices de irradiancia en horas pico mayores a 1000 W/m^2 .



Figura 20: Efecto de la irradiancia sobre los paneles fotovoltaicos [16].

$$I_{sc(G)} = G \cdot \frac{I_{sc(STC)}}{1000}$$

Donde:

$I_{sc(G)}$: corriente de cortocircuito para una irradiancia G (W/m^2).

$I_{sc(STC)}$: corriente de cortocircuito para una irradiancia de 1000 W/m^2 .

2.5.2. Efecto de la Temperatura sobre los Paneles Fotovoltaicos

Las altas temperaturas afectan considerablemente al panel fotovoltaico, donde su tensión disminuye cuando aumenta la temperatura y la corriente presenta un ligero aumento para casos prácticos se mantiene constante.

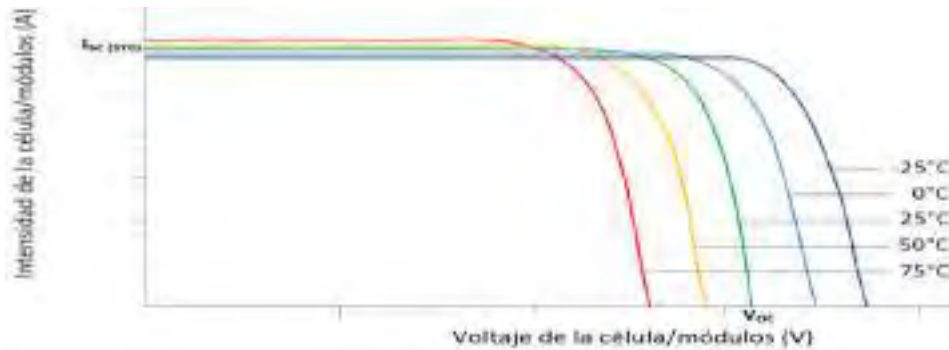


Figura 21: Efecto de la temperatura sobre los paneles fotovoltaicos [16].

Si en presencia de altas temperaturas la tensión disminuye y la corriente no varía, entonces es evidente que la potencia entregada por el panel fotovoltaico se reduce o disminuye. Para el presente estudio este caso se presenta generalmente en la selva, donde las temperaturas superan los 25 grados Celsius.



Figura 22: Variación de potencia máxima por efecto de la temperatura [16].

La temperatura de la célula solar se puede calcular conociendo la temperatura ambiental y la irradiancia por medio de la siguiente ecuación:

$$T_c = T_a + G \cdot \frac{TONC - 20}{800}$$

T_c : Temperatura de la célula solar (°C).

T_a : Temperatura del medio ambiente (°C).

TONC: Temperatura de operación nominal de la célula (°C).

G: Irradiancia (W/m^2)

El valor de la temperatura de operación nominal de la célula (TONC), es un parámetro que se encuentra en la hoja técnica que brinda el fabricante y toma valores que van de 43 a 49 °C si no se cuenta con tal valor se puede tomar como 45 °C como valor de referencia.

$$V_{OC} = V_{OC(STC)} - 0.0023(T_c - 25 \text{ } ^\circ\text{C})$$

En una célula solar de Silicio típica, la corriente de cortocircuito varía 0.63 mA/°C y la tensión de circuito abierto varía -2.3 mV/°C.

2.5.3. Efecto del Punto Caliente de un Panel Fotovoltaico

Este efecto se da cuando algunas células del panel fotovoltaico se comportan como una carga resistiva, en vez de entregar energía disipa la energía producida por el resto de las células. Este efecto será mayor cuando mayor sea la radiación solar que incide sobre el resto de las células. El fenómeno se debe a las suciedad y sombras que cubren algunas células del panel fotovoltaico.



Figura 23: Efecto del punto caliente de un panel solar (Elaboración propia).

2.5.4. Factores que Contribuyen al Efecto de Punto Caliente

La sierra del Departamento de Cusco es frío y seco donde los paneles fotovoltaicos son afectados por la acumulación de polvo en los meses de mayo - noviembre con la presencia de lluvias estas se limpian en el peor de los casos la acumulación de polvo contribuye a la formación de musgos en los bordes del panel fotovoltaico.



Figura 24: Formación de musgos en un panel fotovoltaico (Elaboración propia).

El fenómeno de punto caliente se presenta con frecuencia en la selva que tiene un clima cálido y húmedo, donde la acumulación de polvo con presencia de humedad en los paneles fotovoltaicos se forme una capa de óxido al pasar el tiempo la capa se hace más y más grueso.

Añadir la presencia de plantas que hacen que sus hojas caigan sobre las placas solares y presencia de excremento causado por las aves en la zona.



Figura 25: Presencia de sombra, oxido y excremento de aves sobre los paneles solares (Elaboración propia).

2.7. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA)

Es un método de reducción de dimensión de un conjunto de varias dimensiones mientras se retiene la mayor cantidad de información posible para un análisis más rápido y sencillo. Donde la primera componente principal explica la mayor cantidad de información de la variabilidad y la segunda componente explica la mayor cantidad de información de la variabilidad restante así sucesivamente hasta llegar al 100 % de la información [3].

Representamos un conjunto de datos X por m vectores y Cada vector X_i tiene n elementos.

$$X = \{X_1, X_2, X_3, \dots, X_m\}$$

$$X_i = [X_{i,1}, X_{i,2}, X_{i,3}, \dots, X_{i,n}]$$

Cada vector puede representar una medida y cada componente del vector una característica como temperatura, humedad o radiación solar. Entonces se puede agrupar características tomando los elementos de cada vector. Es decir, el vector de columna de características k para el conjunto X podemos representar como:

$$C_{X,k} = \begin{bmatrix} X_{1,k} \\ X_{2,k} \\ \dots \\ X_{m,k} \end{bmatrix}$$

Para k que van de 1 a n . El subíndice X puede parecer innecesario, sin embargo, esto nos ayudará a distinguir características del conjunto original y de los datos transformados. Entonces podemos unir todas los elementos en la matriz de características considerando cada vector $C_{X,k}$ como una columna en una matriz.

$$C_X = [C_{X,1}, C_{X,2}, \dots, C_{X,n}]$$

La PCA transforma los vectores de características $C_{X,k}$ para definir nuevos vectores que definen componentes con mejores capacidades de clasificación. Así, los nuevos vectores pueden

agruparse según criterios de distancia sobre los elementos más importantes. La PCA asegura que resaltemos los datos que dan cuenta de la variación máxima que se determina por la covarianza que mide la dependencia lineal entre dos variables aleatorias.

Calculando la covarianza podemos determinar si existe una relación entre dos conjuntos de datos. Si consideramos que los datos definidos en la sección anterior tienen solo dos componentes, entonces la covarianza entre características se puede definir considerando el componente de cada vector. Es decir, si $X_i = \{X_{i,1}, X_{i,2}\}$, entonces la covarianza es

$$\sigma_{X,1,2} = E[(C_{X,1} - \mu_{X,1})(C_{X,2} - \mu_{X,2})]$$

Se asume que la multiplicación es elemento por elemento por lo cual $E[\]$ es el valor promedio de los elementos del vector. Denotamos $\mu_{X,k}$ como un vector columna obtenido al multiplicar el valor escalar $E[C_{X,k}]$ por un vector unitario. Es decir $\mu_{X,k}$ es un vector que tiene el valor medio en cada elemento. Por lo tanto, de acuerdo con la ecuación anterior primero restamos el valor medio de cada característica y luego calculamos la media de la multiplicación de cada elemento.

$$\sigma_{X,1,2} = \frac{1}{m} ((C_{X,1} - \mu_{X,1})^T (C_{X,2} - \mu_{X,2}))$$

T representa la transpuesta de la matriz donde los valores de covarianza varían de cero a valores más grandes pueden ser positivos y negativos donde reflejan fuertes dependencias. Cuando los datos tienen más de dos dimensiones la covarianza puede ser definida considerando cada par de componentes. Estos componentes están generalmente representados en una matriz llamada matriz de covarianza definida como:

$$\Sigma_X = \begin{bmatrix} \sigma_{X,1,1} & \sigma_{X,1,2} & \dots & \sigma_{X,1,n} \\ \sigma_{X,2,1} & \sigma_{X,2,2} & \dots & \sigma_{X,2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \sigma_{X,n,1} & \sigma_{X,n,2} & \dots & \sigma_{X,n,n} \end{bmatrix}$$

La matriz de covarianza proporciona información importante sobre los datos. Por ejemplo, al observar valores cercanos a cero, podemos resaltar características independientes útiles para la clasificación. Los valores muy altos o bajos indican características dependientes que no brindarán ninguna información nueva útil para distinguir grupos en sus datos. PCA explota este tipo de observación al definir un método para transformar datos de manera que la matriz de covarianza se vuelva diagonal. Es decir, todos los valores, menos la diagonal, son cero. En este caso, los datos no tienen dependencias, por lo que las características se pueden usar para formar grupos. Imagine que tiene una característica que no depende de otras, luego, al elegir un umbral, puede distinguir claramente entre dos grupos independientemente de los valores de otras características. Además, PCA proporciona información sobre la importancia de los elementos en los nuevos datos.

Estamos buscando una transformación \mathbf{W} que mapee cada vector de características definido en el conjunto \mathbf{X} en otro vector de características para el conjunto \mathbf{Y} , de modo que la matriz de covarianza de los elementos en \mathbf{Y} sea diagonal. La transformación es lineal y se define como:

$$C_Y = C_X W^T$$

define como:

Gráficamente

$$\begin{bmatrix} y_{1,1} & y_{1,2} & \dots & y_{1,n} \\ y_{2,1} & y_{2,2} & \dots & y_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{m,1} & y_{m,2} & \dots & y_{m,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & \dots & x_{m,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{2,1} & \dots & w_{n,1} \\ w_{1,2} & w_{2,2} & \dots & w_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{1,n} & w_{2,n} & \dots & w_{n,n} \end{bmatrix}$$

Donde

$$c_Y^T = W c_X^T$$

$$\begin{bmatrix} y_{1,1} & y_{2,1} & \dots & y_{m,1} \\ y_{1,2} & y_{2,2} & \dots & y_{m,2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ y_{1,n} & y_{2,n} & \dots & y_{m,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{1,2} & \dots & w_{1,n} \\ w_{2,1} & w_{2,2} & \dots & w_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{n,1} & w_{n,2} & \dots & w_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{2,1} & \dots & x_{m,1} \\ x_{1,2} & x_{2,2} & \dots & x_{m,2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ x_{1,n} & x_{2,n} & \dots & x_{m,n} \end{bmatrix}$$

Para dar solución a la covarianza de características en Y basado en las características en X, se reemplaza C_y en C_Y^T para la definición de matriz de covarianza.

$$\Sigma_Y = \frac{1}{m} [(W c_X^T - E[W c_X^T])(c_X W^T - E[c_X W^T])]$$

Al factorizar W se tiene lo siguiente

$$\Sigma_Y = \frac{1}{m} [W (C_X - \mu_X)^T (C_X - \mu_X) W^T]$$

$$\Sigma_Y = W \Sigma_X W^T$$

Se puede usar esta ecuación para encontrar la matriz W tal que Σ_Y sea diagonal. Hasta este punto se definió una transformación de las características en X en un nuevo conjunto Y cuya matriz de covarianza es diagonal. Para mapear Y en X se debe usar la inversa de la transformación y esto se simplifica ya que la inversa de la transformación es igual a su traspuesta [3].

$$W^{-1} = W^T$$

Esta definición puede ser comprobada considerando que

$$\Sigma_X = W^{-1} \Sigma_Y (W^T)^{-1}$$

Ya que la covarianza es simétrica $\Sigma_X = \Sigma_X^T$ y

$$W^{-1}\Sigma_Y(W^T)^{-1} = (W^{-1})^T \Sigma_Y ((W^T)^{-1})^T$$

$$W^{-1} = (W^{-1})^T \text{ y } (W^T)^{-1} = ((W^T)^{-1})^T$$

Las ecuaciones pueden ser únicamente verdaderas si la inversa de W es igual a su traspuesta.

Entonces puede ser escrita como:

$$W^{-1}c_Y^T = W^{-1}Wc_X^T$$

$$W^T c_Y^T = c_X^T$$

Considerando

$$W^{-1} = W^T$$

$$\Sigma_X W^T = W^T \Sigma_Y$$

Y se puede representar de la siguiente manera

$$\begin{bmatrix} w_{1,1} & w_{2,1} & \dots & w_{n,1} \\ w_{1,2} & w_{2,2} & \dots & w_{n,2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{1,n} & w_{2,n} & \dots & w_{n,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_n \end{bmatrix}$$

$$= \lambda_1 \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{1,2} \\ \vdots \\ w_{1,n} \end{bmatrix} + \lambda_2 \begin{bmatrix} w_{2,1} \\ w_{2,2} \\ \vdots \\ w_{2,n} \end{bmatrix} + \dots + \lambda_n \begin{bmatrix} w_{n,1} \\ w_{n,2} \\ \vdots \\ w_{n,n} \end{bmatrix}$$

Los elementos diagonales de la covarianza son nombrados λ usando la notación de algebra de matrices. Similarmente para el lado izquierdo de la ecuación se tiene:

$$\Sigma_X W^T = \Sigma_X \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{1,2} \\ \vdots \\ w_{1,n} \end{bmatrix} + \Sigma_X \begin{bmatrix} w_{2,1} \\ w_{2,2} \\ \vdots \\ w_{2,n} \end{bmatrix} + \dots + \Sigma_X \begin{bmatrix} w_{n,1} \\ w_{n,2} \\ \vdots \\ w_{n,n} \end{bmatrix}$$

Agrupando ambos lados tenemos

$$\begin{aligned} & \Sigma_X \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{1,2} \\ \vdots \\ w_{1,n} \end{bmatrix} + \Sigma_X \begin{bmatrix} w_{2,1} \\ w_{2,2} \\ \vdots \\ w_{2,n} \end{bmatrix} + \dots + \Sigma_X \begin{bmatrix} w_{n,1} \\ w_{n,2} \\ \vdots \\ w_{n,n} \end{bmatrix} \\ &= \lambda_1 \begin{bmatrix} w_{1,1} \\ w_{1,2} \\ \vdots \\ w_{1,n} \end{bmatrix} + \lambda_2 \begin{bmatrix} w_{2,1} \\ w_{2,2} \\ \vdots \\ w_{2,n} \end{bmatrix} + \dots + \lambda_n \begin{bmatrix} w_{n,1} \\ w_{n,2} \\ \vdots \\ w_{n,n} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

se obtiene W puede ser calculado por medio de la siguiente ecuación

$$\Sigma_X W_i = \lambda_i W_i$$

λ_i define el valor propio y W_i define los vectores propios. Para resolver W_i y λ_i primero se deberá notar que $W_i \lambda_i = W_i I \lambda_i$, donde I es la matriz identidad. Por lo tanto, se puede escribir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \lambda_i I W_i - \Sigma_X W_i &= 0 \\ (\lambda_i I - \Sigma_X) W_i &= 0 \end{aligned}$$

Una solución más fácil se puede obtener de W_i igual a cero. Otra solución existe cuando el determinante está dado de la siguiente forma.

$$\det(\lambda_i I - \Sigma_X) = 0$$

Llamada como ecuación característica que se usa para determinar los valores de λ_i posterior a este se puede usar para calcular los valores de W_i . De acuerdo a las formulaciones anteriores cada λ_i es relacionado a un W_i . Sin embargo, varios pueden tener el mismo valor. Por lo tanto, cuando un valor es reemplazado en $(\lambda_i I - \Sigma_X) W_i = 0$, la solución deberá ser calculado combinando todos los vectores independientes obtenidos para todos los λ_i . De acuerdo a las formulas planteadas anteriormente una vez los vectores propios son conocidos, la transformación W es determinada considerando W_i como sus columnas [3].

CAPITULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Para la recolección de datos del proyecto de tesis se ha diseñado dos sistemas, una para medir variables ambientales y otra para medir la potencia máxima del panel fotovoltaico. Estos sistemas fueron muy útiles para la recolección de información en la parte sierra del Departamento de Cusco, donde se tiene en los meses de mayo a setiembre cielos muy despejados (presencia de sol a lo largo del día) y los paneles fotovoltaicos del proyecto FITEL 2 se encuentran limpios, en comparación con los paneles fotovoltaicos de la selva del Departamento del Cusco en su totalidad se encontraron muy sucios. La Figura 27 representa el esquema para determinar la eficiencia del panel fotovoltaico.

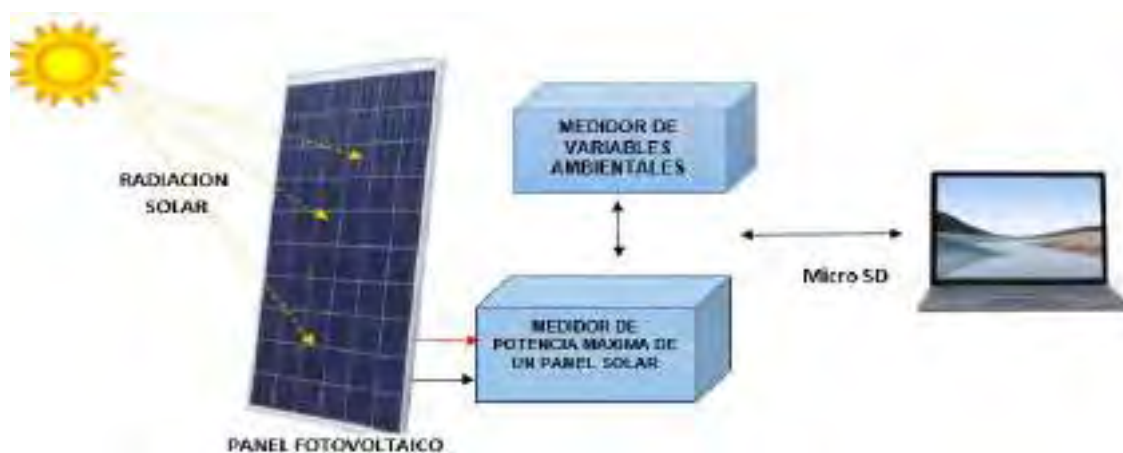


Figura 27: Diagrama esquemático del sistema a implementar (Elaboración propia).

3.1. ELECCIÓN DE MICROCONTROLADOR

Para el procesamiento de información proveniente de los sensores, se ha seleccionado la plataforma Arduino Uno, debido a que cuenta con interfaz I2C, SPI y USART. También se tuvo en cuenta las salidas de voltajes de 5 volt. y 3.3 volt. que son de gran utilidad para alimentar a los sensores y tiene un oscilador de cristal incorporado algo que carece el PIC16F877A, tiene un costo muy bajo en comparación de la plataforma Raspberry PI4.

Tabla 4: Cuadro comparativo para el procesamiento de Datos.

Nombre	Arduino Uno	Raspberry PI4	PIC16F877A
Procesador	ATmega328P	ARM Cortex-A72 con 4 núcleos a 1.5 GHZ	PIC16F877A-I/P
Memoria SRAM	2 KB	256 MB	368 bits
Memoria FLAS	32 KB	SD card (2 a 16 Ghz)	8 KB
Velocidad de Reloj	16 Mhz	700 Mhz	20 Mhz
Nº de Puertos I2C	2	1	1
Nº de Puertos SPI	1	1	1
Nº de Puertos USART	1	1	1
Nº DE I/O Digitales	14 (de los cuales 6 son PWM)	26 (dos se usan para el control de PWM)	-
Nº de Canales Analógicas	6	N/A	8
Nº de I/O	24	26	33
Resolución de ADC	10 bits	-	10 bits
Cuantificación de Niveles	1024	1024	1024
Resolución PWM	10 bit	-	10 bit
Voltaje de operación	3.3-5 volt.	5 volt.	2-5.5 volt.
Costo	90 S/.	450 S/.	50 S/.

Plataforma



3.2. ELECCIÓN DE COMPONENTES PARA MEDIR VARIABLES AMBIENTALES

El sensor de radiación Davis 6450, ha sido seleccionado entre el modelo ST304 debido a su resolución que es 1.67 mVolt /W/m² y por tener un mayor rango de medición que es de 1800 W/m² en comparación de 1400 W/m² del TS304. Con respecto al modelo CMP3 KIPP & ZONEN el modelo Davis 6450 tiene un costo mucho menor y una facilidad para su compra en el mercado internacional.

Tabla 5: Cuadro comparativo de sensores de radiación solar.

Nombre	Sensor de Radiación Solar Davis 6450	Sensor de Radiación Solar Davis TS304	CMP3 KIPP & ZONEN
Respuesta Espectral	400 a 1100 nanómetros	400 a 1100 nanómetros	300 a 2800 nanómetros
Salida Analógico	0 a 3000 mVol	200 a 3280 mVol.	0 a 20 mVol
Resolución	1.67 mVol/W/m ²	2,5 mVol. / W/m ²	5 a 20 µVol/ W/m ²
Precisión	± 5%	± 5%	± 5%
Rango	0 a 1800 W/m ²	0 a 1400 W/m ²	0 a 2000 W/m ²
Tiempo de Respuesta	50 seg. a 1 min.	10 milisegundos	< 20 seg.
Costo	800 S/.	600 S/.	2500 S/.



Para medir la temperatura y la humedad relativa, se ha seleccionado el sensor DHT22 debido a su alta precisión con respecto al DHT11, tiene un alto rango de medida de la humedad relativa algo que no tiene el DHT11 y LM35.

Tabla 6: Cuadro comparativo de sensores de temperatura y humedad.

Nombre	DHT11	DHT22	LM35
Rango de Trabajo de Temperatura	-40 °C a 50 °C	-40 °C a 80 °C	-55 °C a 150 °C
Sensibilidad	-	-	10 mVol/°C
Precisión de Temperatura	±2 °C	< ±0.5 °C	0.5 °C (a 25°C)
Interfaz	Single Bus (bidireccional)	Single Bus (bidireccional)	ADC
Rango de trabajo de Humedad	20 a 90 %	0 a 100 %	N/A
Precisión de humedad	5 %	2 %	N/A
Tiempo de respuesta	1 seg	2 Seg	2 seg



Para almacenar los datos ambientales y la potencia máxima del panel fotovoltaico, se utilizó el módulo micro SD, donde se insertará la memoria micro SD de 2 GB, conectado mediante el interfaz SPI al Arduino Uno.

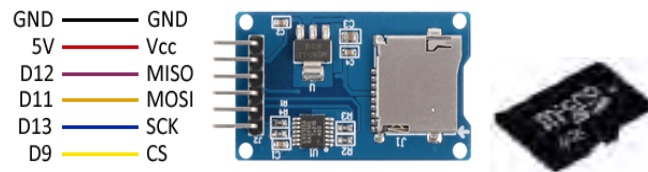


Figura 28: Módulo micro SD y memoria micro SD (Elaboración propia).

Tabla 7: Especificaciones técnicas del módulo micro SD.

Voltaje de Operación	3.3V-5V
Interfaz	SPI
Cuenta con todos los pines SPI de la tarjeta SD	MOSI, MISO, SCK, CS

Para la sincronización del sistema que mide variables ambientales y el sistema que mide la potencia del panel fotovoltaico, se utilizó un módulo reloj de tiempo real (RTC), que es un dispositivo electrónico que permite obtener mediciones de tiempo en horas, minutos, segundos y fecha del día en que se realizó la prueba. Los RTC normalmente están formados por un resonador de cristal integrado con la electrónica necesaria para contabilizar de forma correcta el paso del tiempo.



Figura 29: Módulo reloj DS3231 (Elaboración propia).

Tabla 8: Especificaciones técnicas del reloj DS3231.

Tipo de comunicación	I2C
Voltaje de alimentación	2.3 a 5.5V
Memoria incorporado	EEPROM AT24C32
Pines de salida	SDA ,SCL

Para la visualización de las mediciones se utiliza un LCD 16x2 conectado al Arduino Uno por medio de un módulo I2C.



Figura 30: Módulo interfaz I2C para LCD 16x2 (Elaboración propia).

3.3. DIAGRAMA DE BLOQUES Y ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA QUE MIDE VARIABLES AMBIENTALES

La Figura 31 representa el diagrama de bloques de las conexiones del sistema que mide variables ambientales, alimentado por una batería externa conectado directamente al Arduino Uno.

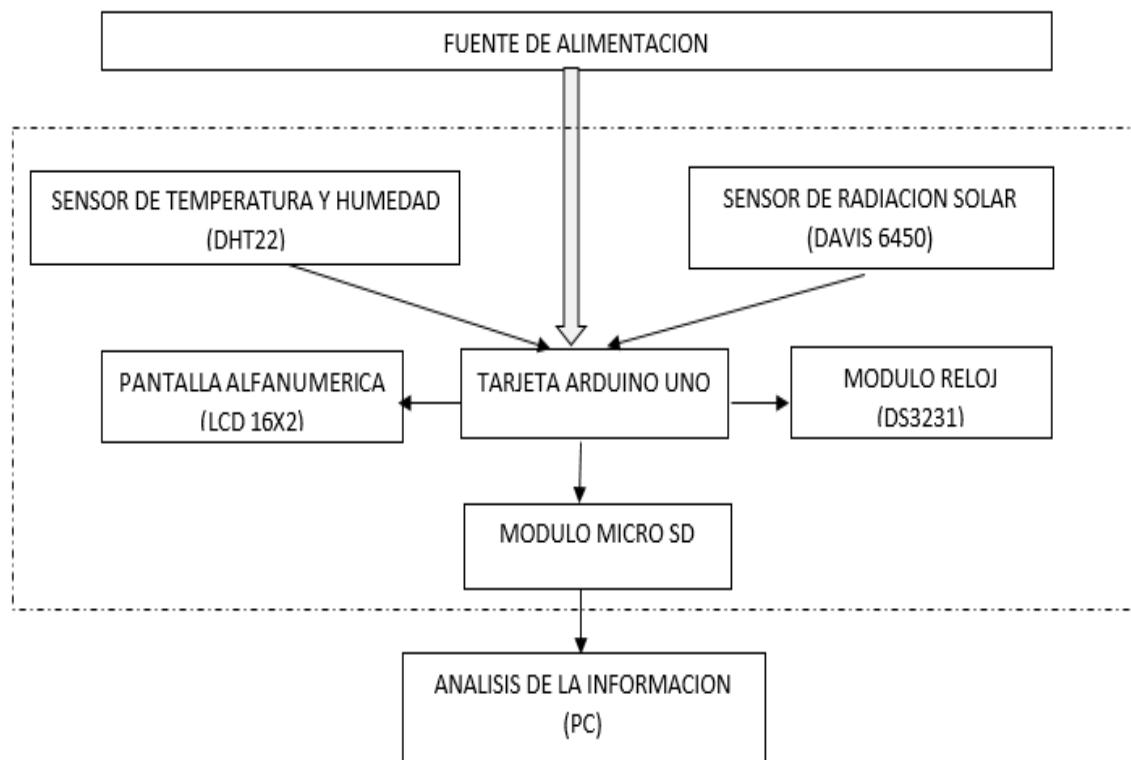


Figura 31: Diagrama de bloques para el sistema que mide variables ambientales (Elaboración propia).

El plano esquemático se realiza mediante un software libre llamado EasyEDA, que permite diseñar circuitos de una manera muy fácil como se aprecia en la Figura 32.

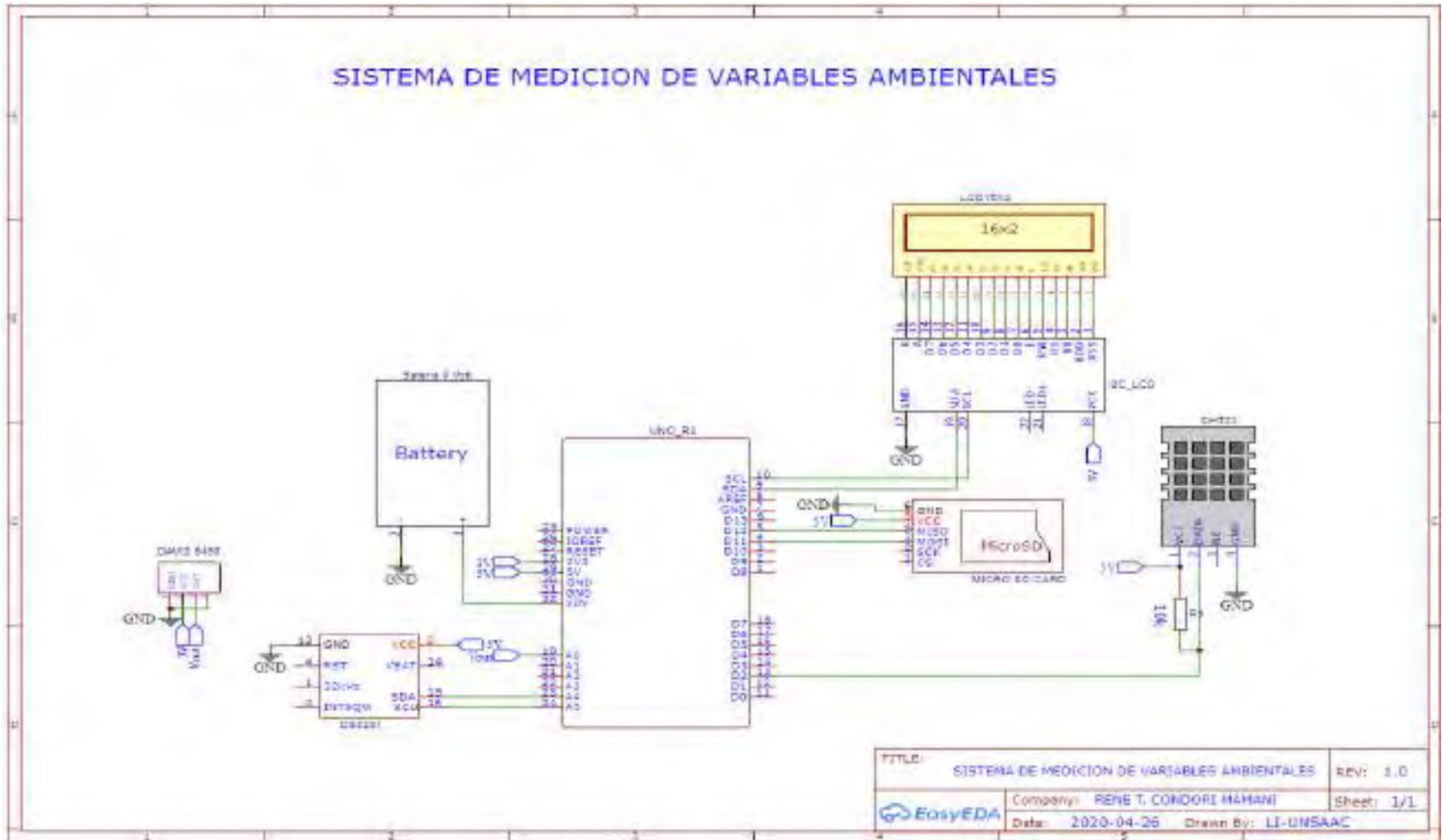


Figura 32: Plano esquemático del sistema de medición de variables ambientales (Elaboración propia).

Para medir la eficiencia de un panel fotovoltaico según la IEC 61215, el dispositivo que mida las variables ambientales debe estar ubicado cerca del panel fotovoltaico que se pone a prueba, el medidor de irradiancia debe tener el mismo ángulo de inclinación que el panel fotovoltaico.



Figura 33: Implementación del sistema que mide variables ambiental (Elaboración propia).

En la Figura 34 muestra el diagrama de flujo del sistema que mide variables ambientales, donde el almacenamiento de datos es cada 20 segundos.

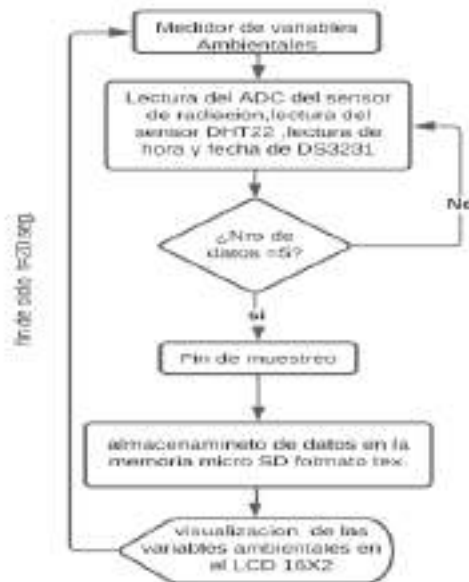


Figura 34: Diagrama de flujo del medidor de variables ambientales (Elaboración propia).

3.4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA QUE MIDE VARIABLES AMBIENTALES

Para validar nuestro sistema de adquisición de datos ambientales, se toma como patrón la estación meteorológica remota de SENAMHI, ubicado en la Provincia de Calca, Distrito de Calca y Departamento del Cusco, en la Latitud: 13°19'59" S y Longitud: 71°57'18" W a 2930 m s. n. m. donde se realiza las calibraciones necesarias, para obtener valores que sean los más próximos a las medidas que nos proporciona la estación de SENAMHI.



Figura 35: Validación del sistema que mide variables ambientales (Elaboración propia).

Para hacer seguimiento la temperatura, humedad e irradiancia que mide nuestro sistema de adquisición de datos ambientales, se adquiere dos instrumentos con certificación de fábrica cuyos valores que miden son idénticos a la estación de SENAMHI.



Figura 36: Instrumentos de medición de variables ambientales (Elaboración propia).

Tabla 9: Datos de la estación SENAMHI del Distrito de Calca.

Fecha y Hora	Temperatura	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Humedad Relativa	Humedad Relativa Máxima	Humedad Relativa Mínima	Irradiancia
2020/07/02 09:00	8.5	11.4	6	58	71	47	560.9
2020/07/02 10:00	13.5	15.7	11.3	43	48	39	730.2
2020/07/02 11:00	17	18.7	15.6	35	39	31	859.4
2020/07/02 12:00	20.2	21.6	18.7	27	31	22	842.8
2020/07/02 13:00	23.1	24.3	21.4	19	23	17	820.5
2020/07/02 14:00	24.8	25.8	23.6	17	18	16	708.1
2020/07/02 15:00	25.9	26.8	24.3	25	17	18	448.2
2020/07/02 16:00	25.2	26.8	22.8	24	16	15	43.7
2020/07/02 17:00	21.3	22.8	20.2	25	31	16	19.3
2020/07/02 18:00	18.9	20.4	17.6	37	41	31	0
2020/07/02 19:00	16.7	17.6	15.9	44	46	41	0
2020/07/02 20:00	15.5	16	14.1	48	51	46	0
2020/07/02 21:00	12.2	14.1	10.7	57	61	51	0
2020/07/02 22:00	9.8	10.8	8.7	65	71	60	0
2020/07/02 23:00	8.2	8.8	7.3	73	79	66	0
2020/07/03 00:00	6.8	7.5	6.2	77	82	72	0
2020/07/03 01:00	6.1	6.9	5.8	81	84	74	0
2020/07/03 02:00	5.1	5.8	4.5	84	88	79	0
2020/07/03 03:00	4.4	4.8	4	87	91	83	0
2020/07/03 04:00	4.1	4.6	3.8	89	92	83	0
2020/07/03 05:00	5.4	5.6	4.4	83	90	80	0
2020/07/03 06:00	5.8	6.1	5.6	79	82	76	0
2020/07/03 07:00	6	6.5	5.8	76	76	72	47.7
2020/07/03 08:00	7.7	9.7	6.5	66	73	56	377.7
2020/07/03 09:00	10.8	12.9	9.2	55	58	50	598
2020/07/03 10:00	13.8	15.2	12.2	49	53	45	710.9
2020/07/03 11:00	16.7	18.7	14.8	42	47	37	849.2
2020/07/03 12:00	19.6	20.9	17.1	34	40	28	829.9
2020/07/03 13:00	21.6	23.3	20.6	26	30	17	824.8
2020/07/03 14:00	23.5	23.9	22.8	15	20	18	714.3
2020/07/03 15:00	23.5	23.9	23.2	15	16	15	449.6
2020/07/03 16:00	22.9	23.8	21.6	19	24	15	43.6
2020/07/03 17:00	20.7	21.6	19.8	27	30	23	18.2
2020/07/03 18:00	18.8	19.7	17.9	33	36	30	0
2020/07/03 19:00	17.3	18.1	16.4	38	42	35	0
2020/07/03 20:00	15.8	16.6	14.1	44	48	42	0
2020/07/03 21:00	12.5	14.1	11	51	54	48	0
2020/07/03 22:00	10.4	11.4	8.8	53	60	50	0
2020/07/03 23:00	9	10	8.1	58	63	53	0
2020/07/04 00:00	7.6	9	6.8	65	71	55	0
2020/07/04 01:00	6.4	6.9	5.9	72	77	68	0
2020/07/04 02:00	5.5	6.2	5	77	81	73	0
2020/07/04 03:00	5.3	5.7	4.6	78	81	75	0
2020/07/04 04:00	4.5	5.5	3.7	83	86	79	0
2020/07/04 05:00	3.5	4.2	2.9	87	90	82	0
2020/07/04 06:00	3.5	4.2	3.2	88	89	84	0
2020/07/04 07:00	3.8	5	3.4	86	87	83	55.2
2020/07/04 08:00	6.6	7.7	5	75	85	66	113.6
2020/07/04 09:00	10.6	13.4	7.7	57	67	48	563.2
2020/07/04 10:00	14.4	15.8	12.2	49	53	45	733.5
2020/07/04 11:00	17.1	18.9	15.7	43	47	38	838
2020/07/04 12:00	19.8	21.3	18.2	34	39	29	833.9
2020/07/04 13:00	22.8	24.2	21	23	29	19	806.1
2020/07/04 14:00	24.7	25.6	23.5	18	20	16	686.9
2020/07/04 15:00	24.9	25.8	24.3	17	18	16	439.6
2020/07/04 16:00	24	24.5	23	17	20	16	45.2
2020/07/04 17:00	21.8	23	20.3	24	30	18	20.4

Tabla 10: Datos del sistema implementado que mide variables ambientales.

Fecha y Hora	Temperatura	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Humedad Relativa	Humedad Relativa Máxima	Humedad Relativa Mínima	Irradiancia
2020/07/02 09:00	8.8	12.2	6.1	58	72	48.1	562.1
2020/07/02 10:00	13.7	16.1	11	42.8	48.6	38.8	734.2
2020/07/02 11:00	17.6	19.1	15.5	34.4	38.7	31.1	861.4
2020/07/02 12:00	20.8	22.1	18.9	26.8	30	21.6	843.5
2020/07/02 13:00	23.9	25.2	21.8	18.8	22.9	17	818.5
2020/07/02 14:00	25.5	26.1	23.9	16.8	17.8	15.8	710.2
2020/07/02 15:00	26.8	27.1	24	24.8	16.6	17.9	445.6
2020/07/02 16:00	26.2	27	22.6	23.8	15.8	14.8	42.1
2020/07/02 17:00	21.8	22.6	20.1	25	31.2	15.8	16.9
2020/07/02 18:00	19.2	20	17	37	39	30.2	0
2020/07/02 19:00	16.8	17.4	16	43.8	46	41.2	0
2020/07/02 20:00	15.3	16	14.1	48	51	46	0
2020/07/02 21:00	12	14.1	10.7	57.1	61	51	0
2020/07/02 22:00	9.6	10.8	8.7	64.8	71	60	0
2020/07/02 23:00	8	8.8	7.3	72.8	79	66	0
2020/07/03 00:00	6.6	7.5	6.2	77.2	82	72	0
2020/07/03 01:00	6.2	6.9	5.8	80.8	84	74	0
2020/07/03 02:00	5	5.8	4.5	84.2	88	79	0
2020/07/03 03:00	4.2	4.8	4	87.6	91.2	83	0
2020/07/03 04:00	4	4.6	3.8	88.8	92.4	83	0
2020/07/03 05:00	5.41	5.6	4.4	83.12	90.1	80	0
2020/07/03 06:00	5.86	6.1	5.6	78.8	82.2	76	0
2020/07/03 07:00	6.21	6.59	5.91	75.8	75.7	71.6	44
2020/07/03 08:00	7.81	9.82	6.62	65.9	72.6	55.9	379.1
2020/07/03 09:00	10.91	12.95	9.41	54.6	57.2	49.8	602.1
2020/07/03 10:00	13.92	15.8	12.32	49.2	53.01	44.6	713.1
2020/07/03 11:00	16.9	19	15.2	41.6	46.4	37.81	850.2
2020/07/03 12:00	20.02	21.8	18	33.82	40	27.3	832.2
2020/07/03 13:00	22.2	23.8	21.1	25.6	29.6	16.6	826.4
2020/07/03 14:00	24.2	24.2	22.7	14.8	20	17.8	713.6
2020/07/03 15:00	23.8	24.1	23.8	14.9	15.6	14.8	435.8
2020/07/03 16:00	23.1	24	22.2	18.8	23.6	14.6	40.9
2020/07/03 17:00	21	21.8	20.11	26.8	30	23.01	15.9
2020/07/03 18:00	19	19.8	18.1	33.1	36.2	30.8	0
2020/07/03 19:00	17.38	18.18	16.48	38	42.08	34.2	0
2020/07/03 20:00	16	16.8	14.2	43.8	47.2	42	0
2020/07/03 21:00	12.51	14.21	11.2	51.2	54	47.8	0
2020/07/03 22:00	10.42	11.41	9.1	53	59.1	58.9	0
2020/07/03 23:00	10.1	10.1	8.24	57.9	63.1	52.9	0
2020/07/04 00:00	7.66	9.82	6.72	64.8	71.2	54.2	0
2020/07/04 01:00	6.3	7.1	6.12	71.4	76.8	67.2	0
2020/07/04 02:00	5.62	6.2	5.24	76.1	81.3	73.8	0
2020/07/04 03:00	5.38	5.82	4.64	77.8	80.2	75.1	0
2020/07/04 04:00	5.1	5.68	3.6	82.8	86.2	78.8	0
2020/07/04 05:00	3.62	4.3	3.1	86.4	88.9	81.8	0
2020/07/04 06:00	3.52	4.34	3.1	87.6	89.1	83.6	0
2020/07/04 07:00	4.02	5.6	3.8	85.8	86.8	82	48.8
2020/07/04 08:00	7.2	8.1	5.8	74.8	84.6	65.8	110.8
2020/07/04 09:00	10.5	13.6	7.6	57.2	66.8	48.2	568.2
2020/07/04 10:00	15	16.01	12	48.5	53.2	44.8	740.2
2020/07/04 11:00	17.2	19.1	15.2	42.2	47.8	37.2	840
2020/07/04 12:00	20	22	18.6	33.6	40.1	28.2	838.2
2020/07/04 13:00	22.8	24.2	21	23	29	19	806.1
2020/07/04 14:00	25.1	26.2	23	18.2	20.8	15.2	690.1
2020/07/04 15:00	25.2	26	24.1	16.2	17.2	15.8	442.2
2020/07/04 16:00	24.8	25	23.2	16.1	20.1	15.6	48
2020/07/04 17:00	22.2	24.2	20.1	23.6	29.4	18.1	16

Una vez realizada las calibraciones necesarias del sistema que mide variables ambientales en la estación de SENAMHI del Distrito de Calca, por recomendación del especialista, se pone a prueba para su validación durante tres días, donde los valores son casi iguales a las medidas de SENAMHI como se aprecia en la Tabla 9 y Tabla 10.

3.4.1. Validación del Sensor de Temperatura

Al comparar las mediciones de temperatura de la estación SENAMHI de la Tabla 9 y el sistema implementado de la Tabla 10, se obtiene la gráfica de una recta como se muestra en la Figura 37.

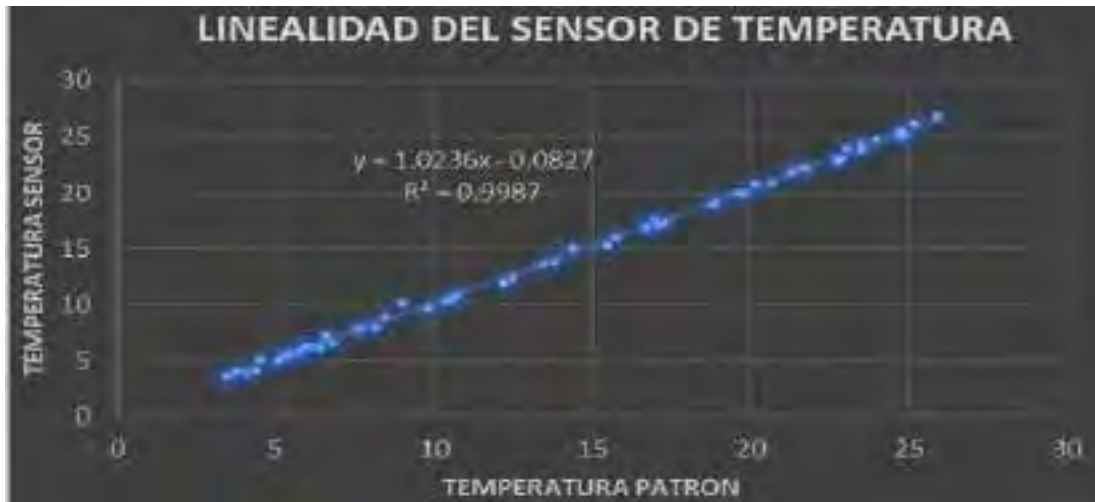


Figura 37: Temperatura SENAMHI vs temperatura sistema implementado (Elaboración propia).

$$q = am \pm b$$

Mediante el método de mínimos cuadrados se calcula los valores de “a” y “b” siendo la “a” pendiente de la recta y “b” punto de cruce de la recta con el eje Y.

$$a = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = 1.0236 \quad b = \frac{n(\sum q_i)(\sum m_i^2) - (\sum m_i q_i)(\sum m_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = -0.0827$$

Con los valores de “a” que se aproxima a uno y “b” que se aproxima a cero podemos decir, que la variable dependiente es casi igual la variable independiente, esa similitud podemos determinar con la correlación R.

$$R = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{\sqrt{(n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2)(n\sum q_i^2 - (\sum q_i)^2)}} = 0.9993$$

Si el coeficiente de correlación varía entre $(0.96 < R < 1)$ significa que el grado de asociación es perfecta o tiene una correlación perfecta.

3.4.2. Validación del Sensor de Humedad

Al comparar valores de humedad de SENAMHI de la Tabla 9, con los valores de humedad medidos con el sistema implementado de la Tabla 10, se obtiene la gráfica de una recta de la Figura 38.



Figura 38: Húmeda SENAMHI vs humedad sistema implementado (Elaboración propia).

$$q = am \pm b$$

$$a = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = 1.0016 \quad b = \frac{n(\sum q_i)(\sum m_i^2) - (\sum m_i q_i)(\sum m_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = -0.2724$$

Con el método de mínimos cuadrados se calculan los valores de “a” y “b” donde “a” se aproxima a uno y “b” es casi cero entonces la variable dependiente es casi igual a la variable independiente, esa similitud podemos determinar con la correlación R.

$$R = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{\sqrt{(n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2)(n\sum q_i^2 - (\sum q_i)^2)}} = 0.9999$$

Si el coeficiente de correlación varía entre $(0.96 < R < 1)$ significa que el grado de asociación es perfecta o tiene una correlación perfecta.

3.4.3. Validación del Sensor de Radiación Solar

La Figura 39 representa la comparación de sensores de radiación de la estación SENAMHI de la Tabla 9 y sistema implementado de la Tabla 10.

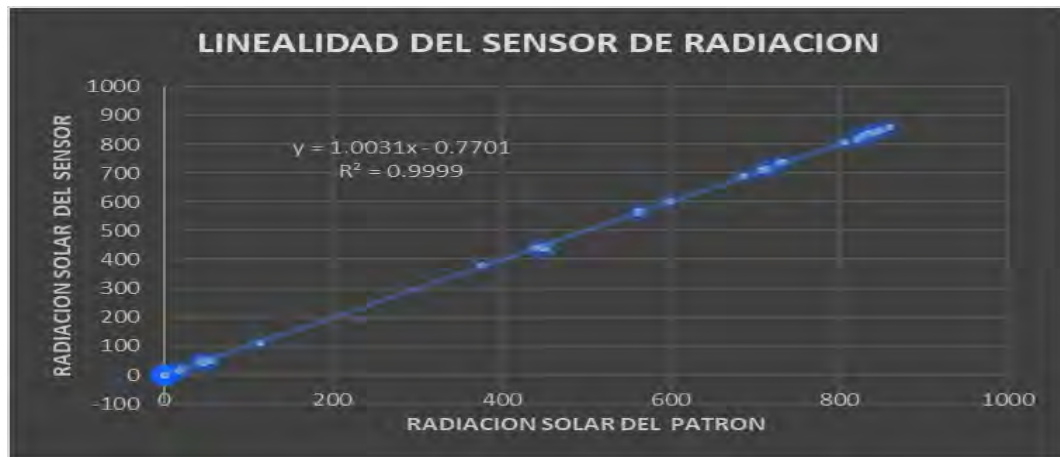


Figura 39: Radiación solar de SENAMHI vs radiación solar del sistema implementado (Elaboración propia).

$$q = am \pm b$$

$$a = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = 1.0031 \quad b = \frac{n(\sum q_i)(\sum m_i^2) - (\sum m_i q_i)(\sum m_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = -0.7701$$

El valor de la pendiente “a” es practicamente uno y el valor de 0.7 de “b” es un valor insignificante, en comparación a los valores que mide el sensor de radiación solar que estan alrededor de 1000 W/m².

$$R = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{\sqrt{(n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2)(n\sum q_i^2 - (\sum q_i)^2)}} = 0.9999$$

el coeficiente de correlación esta entre (0.96 < R < 1) significa que el grado de asociación es perfecta o tiene una correlación perfecta.

3.5. ELECCIÓN DE COMPONENTES PARA EL SISTEMA QUE MIDE LA POTENCIA DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

La corriente de los paneles fotovoltaicos del proyecto FITEL 2, debido a su antigüedad no supera los 5 Amperios, para lo cual se ha seleccionado el sensor de corriente ACS712 - 5A, debido a su alta sensibilidad con respecto a los sensores WCS1600 y ACS712 – 20A.

Tabla 11: Cuadro comparativo de sensores de corriente.




NOMBRE	ACS712 - 5A	WCS1600	ACS712 - 20A
Rango de medición	± 5 Amp.	±100 Amp.	±20 Amp.
Sensibilidad	185 mV/A	22 mV/A	100 mV/A
Tipo de Salida	Analógico	Analógico	Analógico
Interfaz	ADC	ADC	ADC



Para medir el voltaje se ha seleccionado el sensor FZ0430 0V ~ 25V, debido a que es muy fácil de encontrar en el mercado local en comparación a los sensores Phidget y INA3221.

Tabla 12: Cuadro comparativo de sensores de voltaje.

Nombre	FZ0430 0V – 25V	Phidgets	INA3221
Rango de medición	0 Volt. – 25 Volt.	± 30 Volt.	0 Volt. – 30 Volt.
Resolución	4.89 mVolt.	100 mVolt.	-
Tipo de Salida	Analógico	Analógico	Analógico
Interfaz	ADC	ADC	I2C

Los paneles fotovoltaicos tienen la cualidad de entregar una potencia máxima para una carga determinada. Para determinar ese punto de potencia máxima se usa como carga variable un alambre de Nicrom N° 16 con una resistencia total de 21 Ohms, que es capaz de soportar altas temperaturas debido a su buen calibre.



Figura 40: Alambre de Nicrom (Elaboración propia).

3.5.1. Diagrama de Bloques y Esquemático del Sistema Medidor de Potencia

La Figura 41 representa el diagrama de bloques del sistema de medición de potencia, que esta alimentado por una batería externa de 5 voltios.

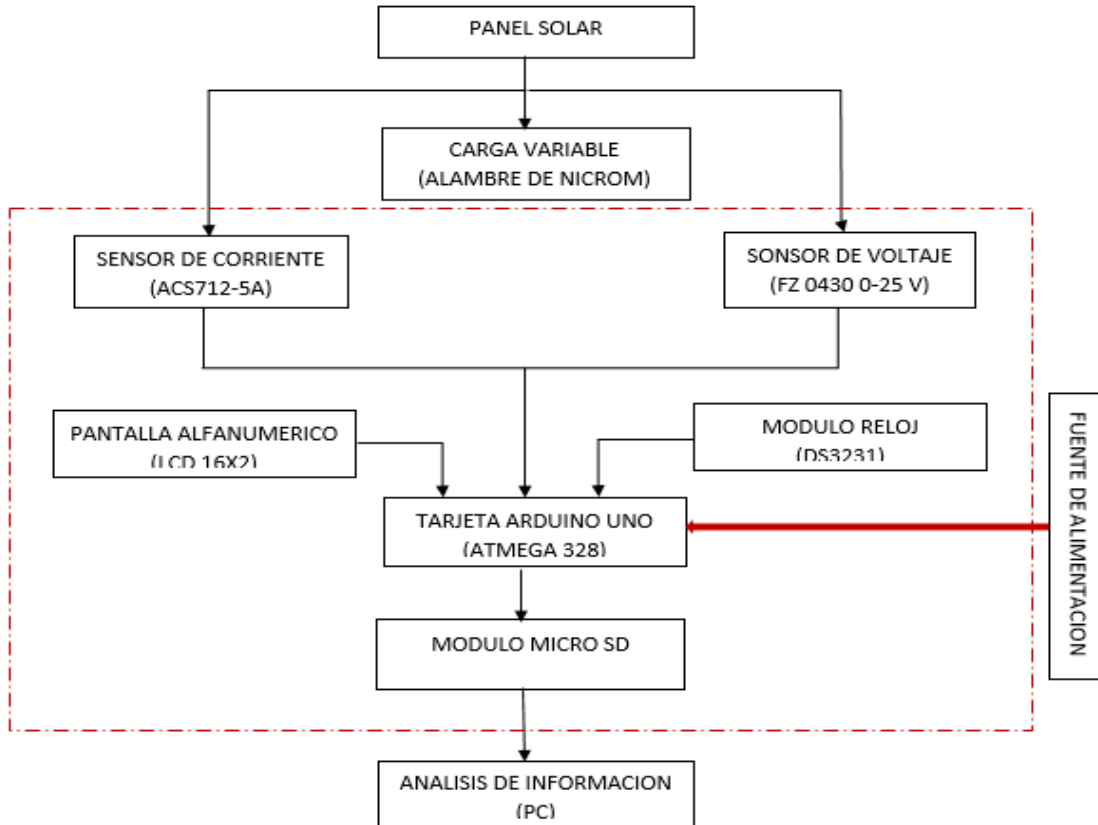


Figura 41: Diagrama de bloques del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).

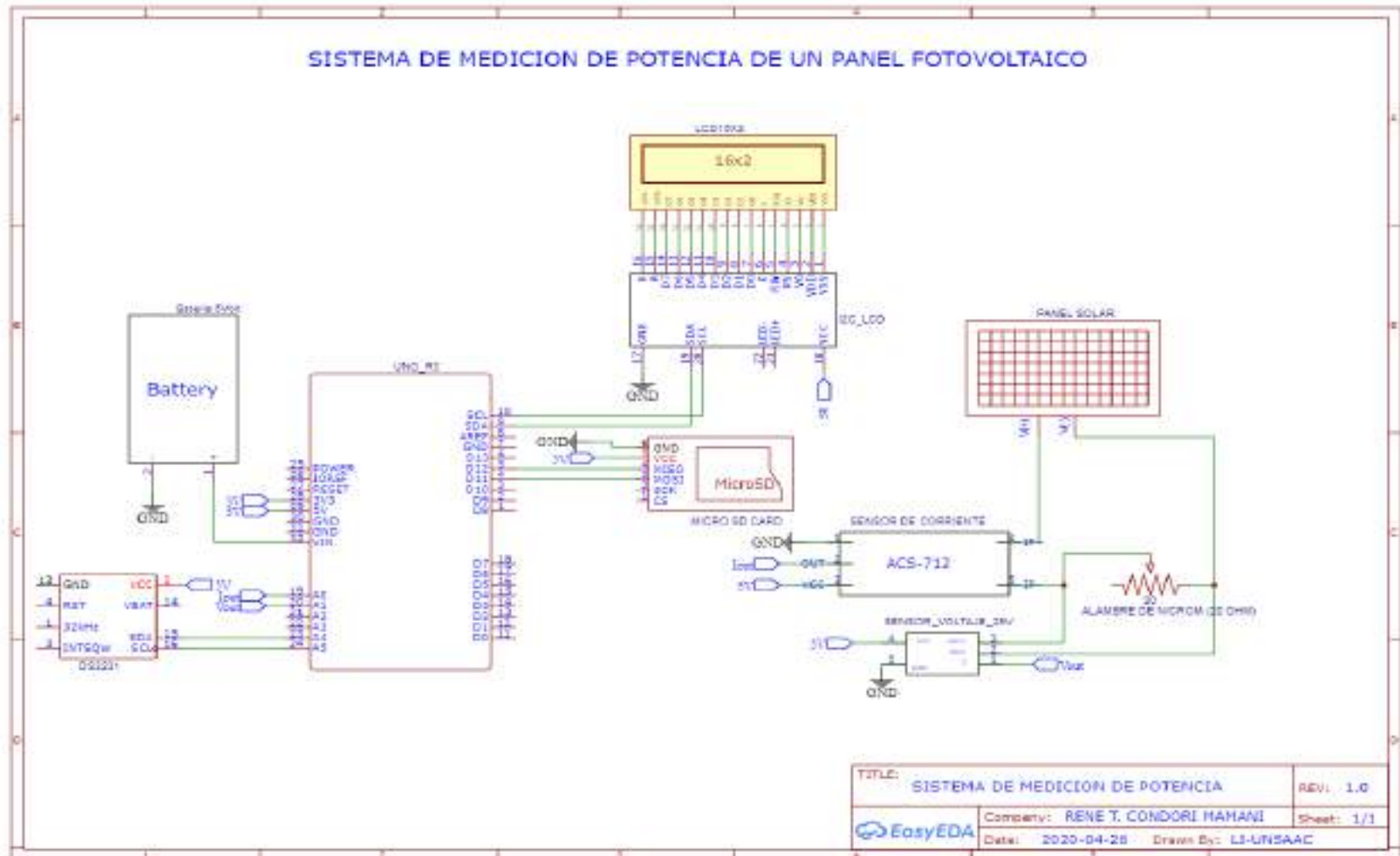


Figura 42: Diagrama esquemático del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).

Para encontrar el punto de potencia máxima del panel fotovoltaico, se conecta de manera directa la salida del panel fotovoltaico a la carga de Nicrom, se realiza variación de carga de manera manual con un conector tipo cocodrilo, las medidas son sensado por medio del sensor de corriente y voltaje, dichos valores se visualizan en la pantalla LCD 16x2. Este proceso se realiza hasta encontrar el punto de potencia máxima del panel fotovoltaico.



Figura 43: Implementación del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).

La Figura 44 representa el diagrama de flujo del sistema de medición de potencia, donde el almacenamiento de los datos se realiza cada 20 segundos una vez encontrado el punto de potencia máxima del panel fotovoltaico.

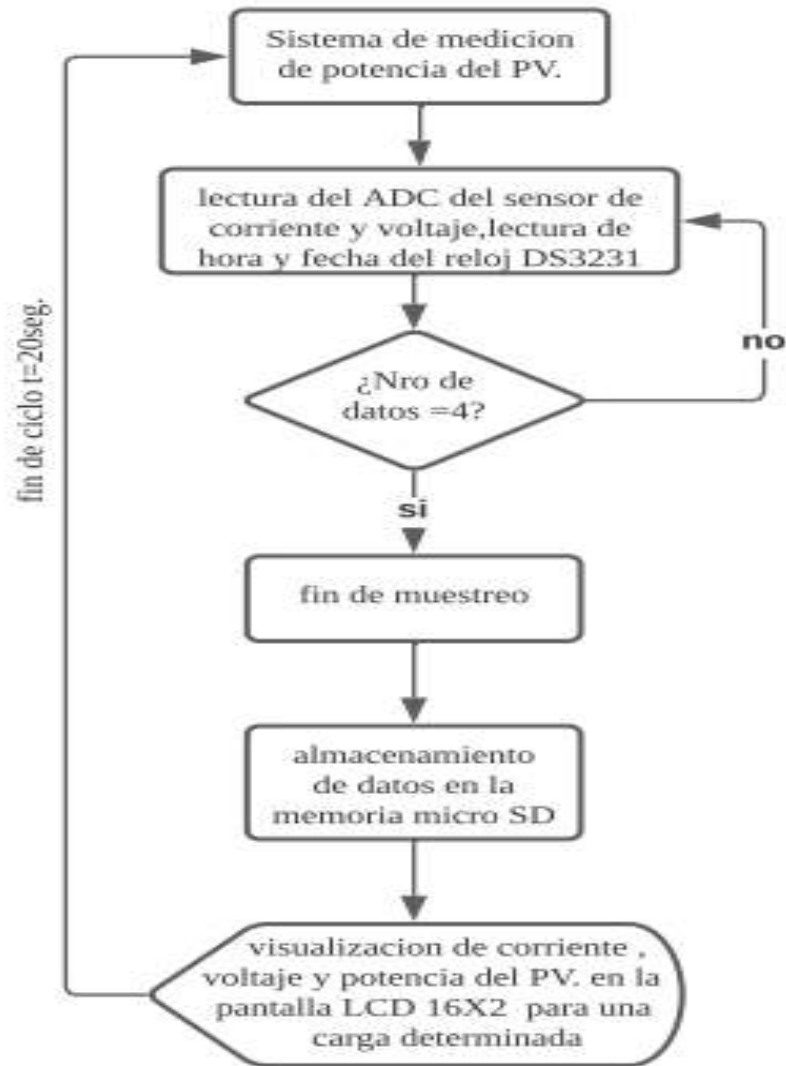


Figura 44: Diagrama de flujo del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).

3.6. VALIDACIÓN DEL SISTEMA MEDIDOR DE POTENCIA

Para la validación del sistema medidor de potencia, se utiliza un multímetro Hold Peak HP – 70 C para medir el voltaje que entra del panel fotovoltaico al sistema implementado y una pinza amperimétrica PRASEK PR - 54 PREMIUM para medir la corriente que entra al sistema, ambos instrumentos utilizados tienen una certificación de fábrica.



Figura 45: Validación del sistema de medición de potencia (Elaboración propia).

Tabla 13: Validación del sistema implementado con los instrumentos patrón.

Corriente Instrumento (m)	Voltaje Instrumento (m)	Corriente Sensor (q)	Voltaje Sensor (q)	Error de Corriente	Error Voltaje
0	11.53	0.01	11.5	0.01	0.03
0.2	11.14	0.19	11.12	0.01	0.02
0.32	11.04	0.3	11	0.02	0.04
0.48	10.91	0.46	10.88	0.02	0.03
0.64	10.65	0.63	10.62	0.01	0.03
0.84	10.33	0.84	10.28	0	0.05
0.95	9.99	0.93	9.95	0.02	0.04
1.01	9.56	0.98	9.53	0.03	0.03
1.23	9.12	1.22	9.09	0.01	0.03
1.3	8.88	1.31	8.87	0.01	0.01
1.48	8.42	1.5	8.4	0.02	0.02
1.6	8.13	1.6	8.1	0	0.03
1.58	7.38	1.57	7.34	0.01	0.04
1.74	7.08	1.75	7.04	0.01	0.04
1.98	6.9	1.97	6.94	0.01	0.01
2.02	6.42	2.02	6.43	0	0.01
2.11	6.06	2.12	6.04	0.01	0.02
2.23	5.61	2.23	5.62	0	0.02
2.32	5.3	2.32	5.2	0	0.1
2.38	5.09	2.38	5.06	0	0.03
2.55	5.08	2.55	5.06	0	0.02
2.78	4.1	2.79	4.08	0.01	0.02
2.86	3.92	2.87	3.91	0.01	0.01
2.98	3.2	2.99	3.19	0.01	0.01
3.23	2.8	3.24	2.78	0.01	0.02
3.4	2.43	3.4	2.4	0	0.03
3.64	1.58	3.65	1.57	0.01	0.01
3.8	1.2	3.8	1.18	0	0.02
3.84	0.7	3.85	0.66	0.01	0.02
3.96	0.0	3.97	0.02	0.01	0.01

3.6.1. Validación del Sensor de Voltaje

m = medida del multímetro HoldPeak HP – 70 C (instrumento patrón).

q = medida del sensor de voltaje fz0430.

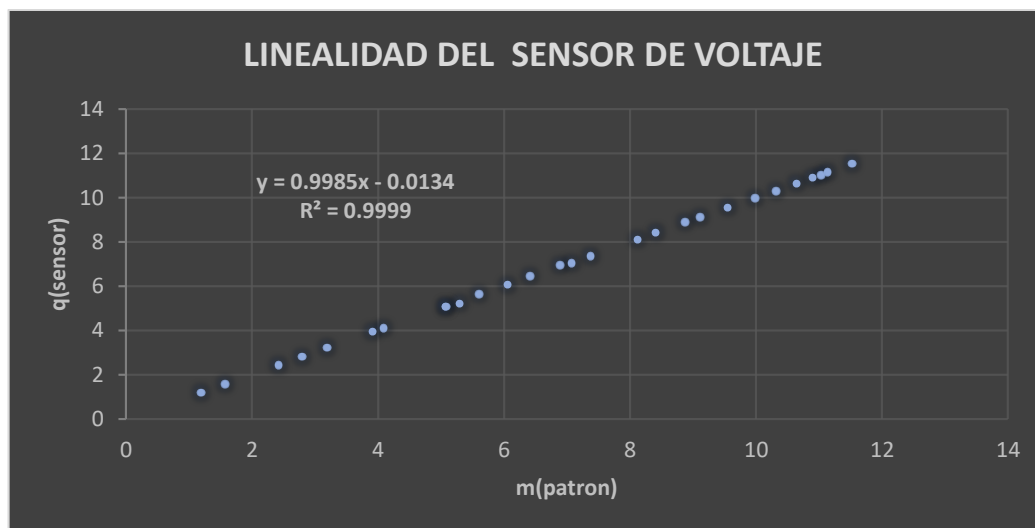


Figura 46: Voltaje del instrumentó patrón vs voltaje del sistema implementado (Elaboración propia).

$$q = am \pm b$$

$$a = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = 0.9985$$

$$b = \frac{n(\sum q_i)(\sum m_i^2) - (\sum m_i q_i)(\sum m_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = -0.0134$$

$$R = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{\sqrt{(n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2)(n\sum q_i^2 - (\sum q_i)^2)}} = 0.9999$$

Los valores de la pendiente “a” es prácticamente uno y “b” es casi cero, podemos deducir que las medidas del sensor son casi iguales a la del instrumentó utilizado como patrón, el coeficiente de correlación esta entre $(0.96 < R < 1)$ significa que tiene una correlación perfecta.

3.6.2. Validación del Sensor de Corriente.

m = medida de la pinza amperimétrica PRASEK PR - 54 PREMIUM (instrumento patrón).

q = medida del sensor de corriente ACS712 – 5 A.

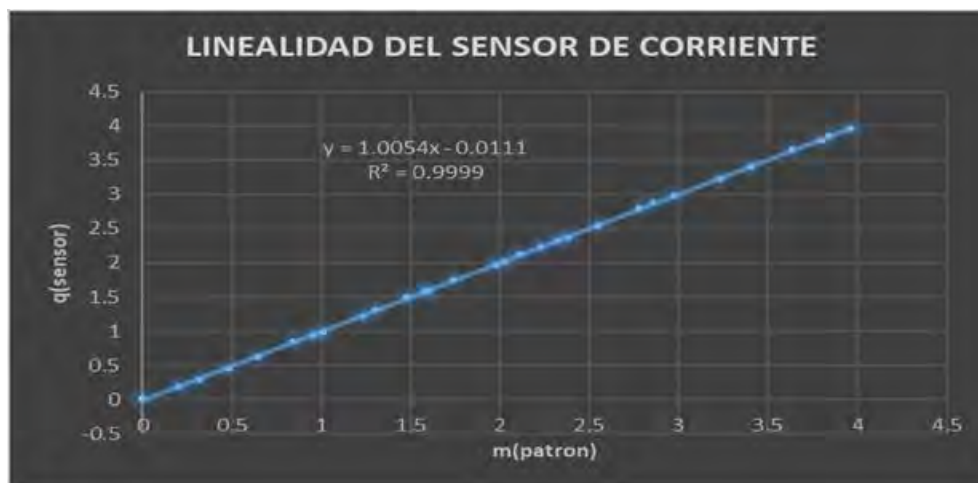


Figura 47: Corriente del instrumento patrón vs corriente del sistema implementado (Elaboración propia).

$$q = am \pm b$$

$$a = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = 1.0054$$

$$b = \frac{n(\sum q_i)(\sum m_i^2) - (\sum m_i q_i)(\sum m_i)}{n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2} = -0.0111$$

$$R = \frac{n\sum m_i q_i - (\sum m_i)(\sum q_i)}{\sqrt{(n\sum m_i^2 - (\sum m_i)^2)(n\sum q_i^2 - (\sum q_i)^2)}} = 0.9999$$

Con los valores de “a” y “b” podemos deducir que las medidas de corriente del instrumento patrón son casi iguales y R está dentro de ($0.9 < R < 1$) que significa que existe una muy buena correlación.

3.7. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA MEDIDOR DE VARIABLES AMBIENTALES Y DE POTENCIA

Para determinar la eficiencia del panel fotovoltaico, se tiene que determinar el punto en donde el panel fotovoltaico es capaz de entregar la máxima potencia a la carga de Nicrom, luego el sistema implementado captura los datos de corriente y voltaje del panel fotovoltaico a través de los sensores ACS712 – 5 A y FZ0430, estos datos son visualizados en tiempo real en la pantalla LCD 16x2 y almacenados en una tarjeta micro SD en un formato csv (valores separados por comas). El sistema medidor de potencia esta sincronizado con el sistema de medición de variables ambientales mediante el módulo de reloj DS3231 que es un reloj de tiempo real.

Las mediciones en campo se realizaron entre las 11:00 a. m. a 14:00 p. m. para obtener altos valores de irradiancia solar. Con la carga Nicrom se realiza una búsqueda continua de potencia hasta encontrar el punto donde el panel fotovoltaico es capaz de entregar máxima potencia, luego se realiza mediciones en el punto de máxima potencia durante 10 a 20 minutos y después iniciar una nueva búsqueda. Con este sistema también se captura el voltaje del panel en circuito abierto y corriente en corto circuito.

Para medir la eficiencia de los paneles fotovoltaicos del proyecto FITEL 2, el sistema de medición de variables ambientales, se coloca encima de uno de los paneles fotovoltaicos para que el sensor de radiación solar tenga el mismo ángulo de inclinación que el panel fotovoltaico que se ponen a prueba, donde el sistema de medición de potencia se conecta directamente al panel de prueba como la Figura 48.



Figura 48: Medición de variables ambientales y potencia de un panel fotovoltaico (Elaboración propia).

Los datos se almacenan en formato csv para el medidor de potencia y formato texto para el medidor de variables ambientales.

Los datos almacenados son extraídos a Excel, para determinar el promedio de cada una de las variables medidos durante un intervalo de tiempo razonable que puede ser de 10 a 20 minutos.

Row	Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Column 5	Column 6	Column 7	Column 8	Column 9	Column 10
88	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
89	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
90	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
91	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
92	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
93	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
94	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
95	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
96	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
97	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
98	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
99	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00
90	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00	00000000	12.00	10.00	03.00	000.00

Figura 49: Promedio de las variables ambientales y potencia máxima del panel fotovoltaico (Elaboración propia).

3.8. LIMITACIONES DEL SISTEMA MEDIDOR DE VARIABLES AMBIENTALES Y MEDIDOR DE POTENCIA

Este sistema funcionó muy bien en la parte sierra del Departamento de Cusco, puesto que en los meses de mayo a setiembre se percibe buena radiación solar a lo largo del día (cielo despejado), además mencionar que los paneles fotovoltaicos que se ponen a prueba están casi limpios. En una hora se puede realizar limpieza de paneles, calibraciones necesarios y mediciones para la tesis.

En cambio, se presentó problemas en la parte selva del Departamento de Cusco debido a la presencia de nubes constantes a lo largo del día, hay poca presencia de radiación directa y los pocos minutos de buena radiación solar se tiene que aprovechar al máximo. También mencionar que los paneles fotovoltaicos del proyecto FITEL 2 que se ponen a prueba se encuentran muy sucios, cubiertos con una capa de óxido y sombreados por presencia de árboles cercanos al sistema satelital, para realizar las mediciones primero se realiza una limpieza de los paneles fotovoltaicos que dura aproximadamente una hora.

El acceso que brinda el concesionario para realizar las mediciones en los paneles fotovoltaicos es normalmente de una a dos horas, tiempo en el que se tiene que realizar las mediciones necesarias. También mencionar que los paneles fotovoltaicos de proyecto FITEL 2 tienen diferentes potencias máximas, para lo cual es necesario calibrar en campo el sensor de corriente ACS712 – 5 A, eso dura aproximadamente de 5 a 10 minutos, la calibración debe hacerse en una radiación que oscile entre los 1000 W/m² para obtener resultados razonables, el tiempo para hacer la búsqueda de máxima potencia de manera manual dura aproximadamente 5 minutos y la

captura de datos se desarrolla en 10 minutos. Mencionar también que altas temperaturas mayores a 35 °C presentes en el valle de La Convención (Kiteni, Kepashiato, Villa Kiterina, Pichari, Kimbiri, etc.) hacen que nuestro sensor de temperatura muestre valores no reales 5 °C a 10 °C por encima del valor real .

Debido a las dificultades presentados en la selva del Departamento de Cusco, era necesario acortar el tiempo para hacer las calibraciones, mediciones y aprovechar los tiempos cortos de radiación directa, para tal motivo fue necesario realizar una optimización de los sistemas de medición de variables ambientales y de medición de potencia.

3.9. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA MEDIDOR DE VARIABLES AMBIENTALES Y SISTEMA MEDIDOR DE POTENCIA

Se requiere un sistema optimizado que nos permita medir de una manera muy rápida las características eléctricas de un panel solar y variables ambientales, visualizar los datos capturados en el pc o celular, almacenar los datos capturados en una memoria SD considerando la ubicación del lugar, hora y fecha de la medición. Donde el esquema grafico que más se acomoda a nuestra idea es la Figura 50.

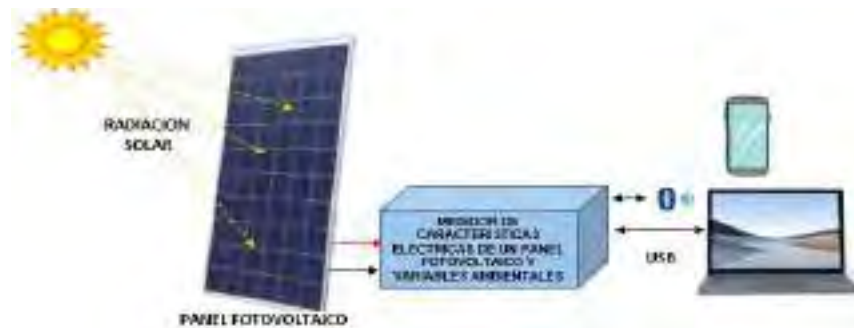


Figura 50: Medidor de características eléctricas de un panel fotovoltaico y variables ambientales (Elaboración propia).

Para diseñar el circuito a utilizar, se toma como referencia al diagrama de bloques que se muestra en la Figura 51. Para el cual se utilizará un capacitor electrolítico para que actúe como una carga variable y controlarlo por medio de un Relé.

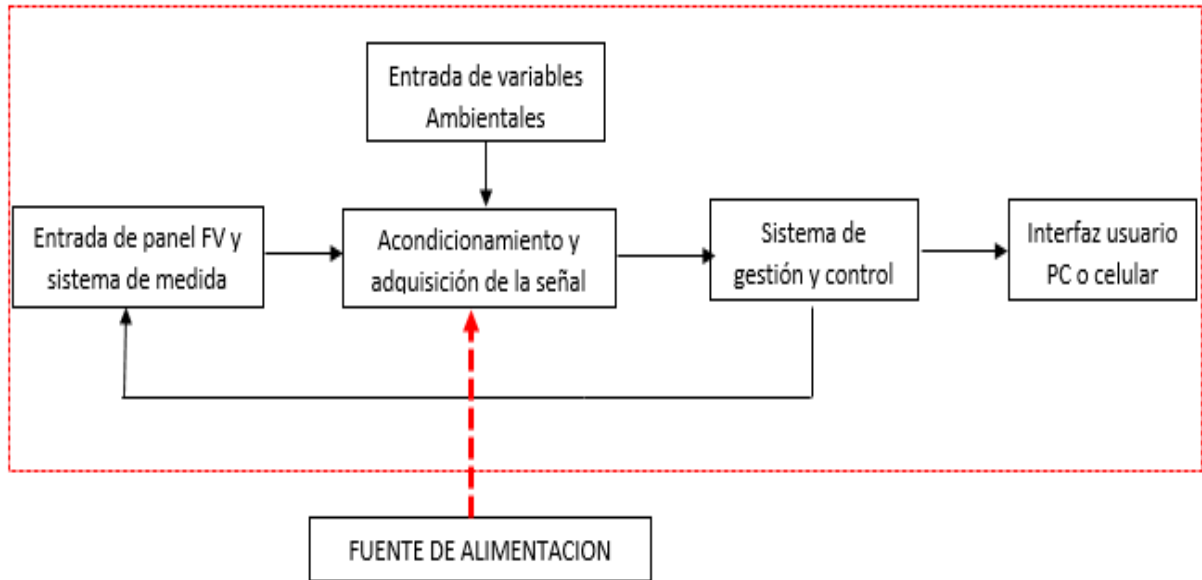


Figura 51: Diagrama de bloques del sistema optimizado (Elaboración propia).

3.9.1. Elección de Componentes Electrónicos para el Sistema Optimizado

Para el procesamiento de la información se seleccionó el STM32F103C8T6, que cuenta con una velocidad de procesamiento de 72 Mhz, que es 4.5 veces más velos que el Arduino Uno, además tiene una resolución de ADC de 12 bit mayor al Arduino Uno que solo tiene 10 bit. En comparación con el Raspbery PI 4 se optó por el STM32F103C8T6 debido a su bajo costo y su facilidad para acoplarse a una placa impresa.

Tabla 14: Cuadro comparativo para el procesamiento de datos.

Nombre	STM32F103C8T6	Arduino Uno	Raspberry PI 4
Procesador	CPU ARM 32 bits Cortex-M3	ATmega328P	ARM Cortex-A72 con 4 núcleos a 1.5 GHZ
Memoria SRAM	20 KB	2 KB	256 MB
Memoria FLAS	64 KB	32 KB	SD card (2 a 16 Ghz)
Velocidad de Reloj	72 Mhz	16 Mhz	700 Mhz
N° de Puertos I2C	2	2	1
N° de Puertos SPI	2	1	1
N° de puertos USART	3	1	1
N° DE I/O Digitales	15	14 (de los cuales 6 son PWM)	26 (dos se usan para el control de PWM)
N° de canales Analógicas	10	6	N/A
N° de I/O	32	24	26
Resolución de ADC	12 bit	10 bit	10 bit
Cuantificación de Niveles	4096	1024	1024
Resolución PWM	16 bit	10 bit	
Dimensiones	5.3 cm x 2.2 cm	8.0 cm x 5.51 cm	8.8 cm x 5.8 cm
Costo	50 S/.	90 S/.	450 S/.




Plataforma



Para la medir la temperatura y humedad se ha seleccionado el sensor SHT31, que ofrece precisión en sus lecturas en temperaturas mayores 25 °C entre las otras dos opciones.

Tabla 15: Cuadro comparativo de sensores de temperatura.

NOMBRE	SHT31	DHT22	LM35
Rango de Trabajo de Temperatura	-40 °C a 145 °C	-40 °C a 80 °C	-55 °C a 150 °C
sensibilidad	–	–	10 mVol/°C
Precisión de Temperatura	0.2 °C	< ±0.5 °C	0.5 °C (a 25 °C)
Rango de trabajo de Humedad	0 a 100 %	0 a 100 %	N/A
Precisión de humedad	2 %	2 %	N/A
Tiempo de respuesta	2 seg.	2 Seg.	2 seg.

Para la selección de sensores temperatura, se ha realizado una comparación de los sensores SHT31, DHT22 y LM35 en la ciudad de Quillabamba, donde la temperatura supera los 30 °C en horas 12:30 p. m. a 14:30 p. m. los sensores LM35 y DHT22 a partir de temperaturas mayores a 30 °C presentan variaciones muy grandes por lo que las lecturas en estos sensores para temperaturas altas sean erróneas, en tal sentido se opta por el sensor SHT31 que es más robusta a altas temperaturas.

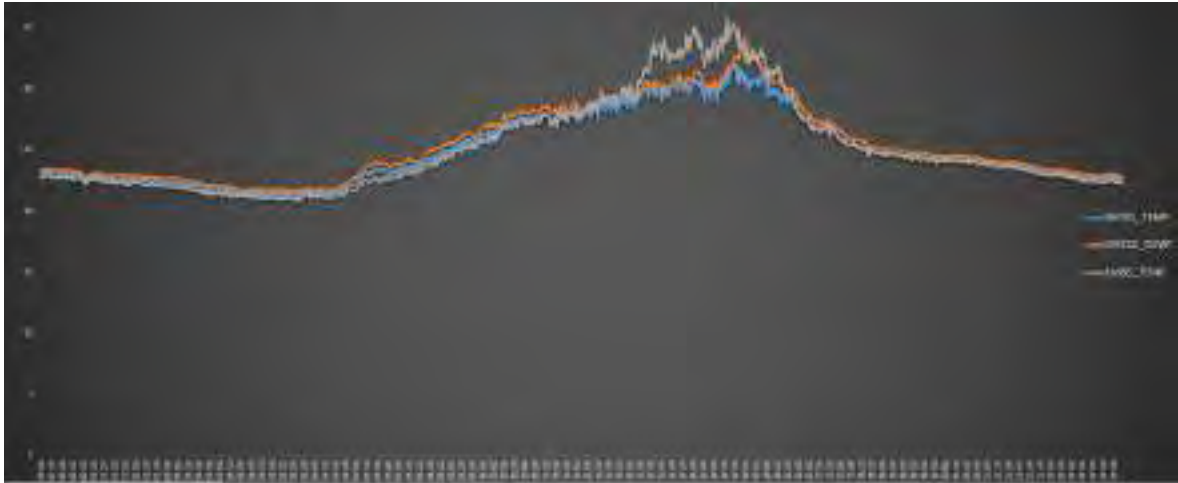


Figura 52: Comparación de los sensores de temperatura (Elaboración propia).

Para visualizar las mediciones de las variables ambientales y las características eléctricas del panel fotovoltaico en tiempo real, se utiliza el módulo Bluetooth HC - C5 que conecta el sistema implementado y el celular.



Figura 53: Módulo Bluetooth hc - 05 (Elaboración propia).

Tabla 16: Especificaciones técnicas módulo Bluetooth HC - C5.

Voltaje de operación	3.6 Volt. – 6 Volt. DC
Consumo corriente	50 mAmp.
Frecuencia	Banda ISM 2.4GHz
Bluetooth	V2.0+EDR
Modulación	GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
Potencia de transmisión	4 dBm, Class 2
Sensibilidad	-84 dBm a 0.1% BER
Alcance	10 metros
Interface comunicación	Serial TTL
Velocidad de transmisión	1200 bps hasta 1.3 Mbps
Baudrate por defecto	38400, 8, 1, n.
Temperatura de trabajo	- 20C a +75C

Para el registro de hora, fecha y coordenadas geográficas, se usa el módulo GPS NEO - 6M incluye antena y es compatible con el microcontrolador STM32F103C8T6.



Figura 54: Módulo GPS NEO - 6M (Elaboración Propia).

Tabla 17: Especificaciones técnicas del módulo GPS NEO - 6M.

Voltaje de alimentación	3 - 5 VDC
Interfaz	Serial UART 5V
Baud rate por defecto	9600 bps
Frecuencia de refresco	5 Hz
Indicador de señal	LED

Para controlar la toma de datos del sistema, mediante el proceso de carga y descarga del capacitor se utiliza un Relé.



Figura 55: Módulo Relé de 5V (Elaboración propia).

Tabla 18: Especificaciones técnicas del módulo Relé.

Alimentación y Control	5 VDC
Corriente de activación	20 mA por canal
Tensión máxima en DC	30 V/10 A por canal
Tensión máxima en AC	250 V/10A por canal

Para medir la corriente en el circuito, se utiliza un a resistencia Shunt de precisión, que usan los instrumentos que miden la corriente, a través de la cual se deriva una corriente eléctrica y se determina la diferencia de tensión a través de ella, luego por la ley de Ohm se calcula la corriente que fluye por la resistencia Shunt.



Figura 56: Resistencia Shunt de precisión (Elaboración propia).

Tabla 19: Especificaciones técnicas de la resistencia Shunt.

Diámetro	1.5 mm
Distancia entre pines	10 mm
Altura	14 mm
Resistencia	0.1 Ohm

3.9.2. Diseño del Circuito del Sistema Optimizado

Para esta parte del diseño se usa el aporte de (Hernández, 2020) trazador de curvas I - V de bajo coste para células fotovoltaicas. Que se basa en un capacitor electrolítico como una carga variable, que es controlado por un Relé para el proceso de carga y descarga.

Para este estudio se diseña un sistema completo, que determina las características eléctricas del panel fotovoltaico y variables ambientales.

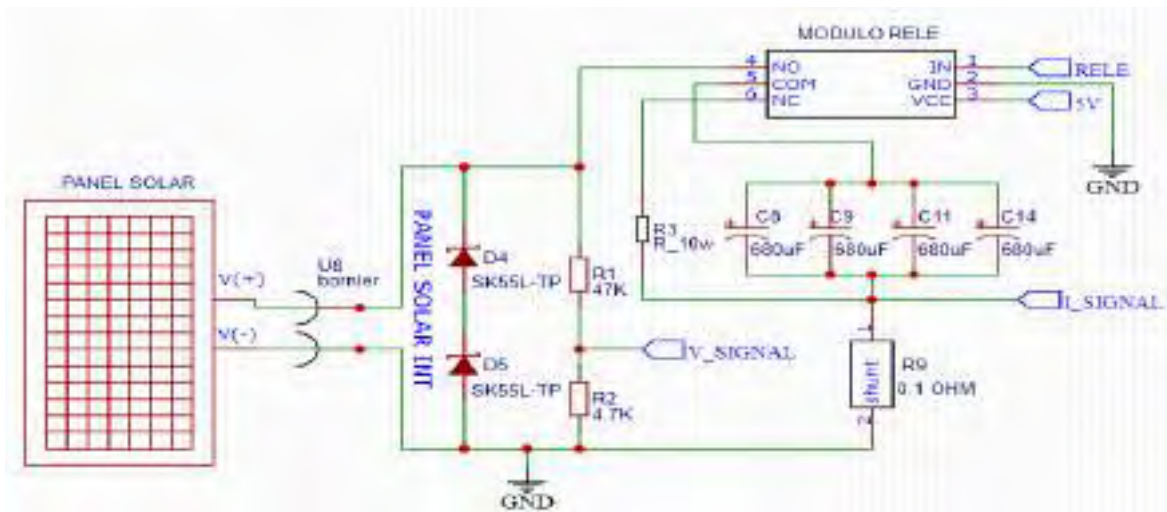
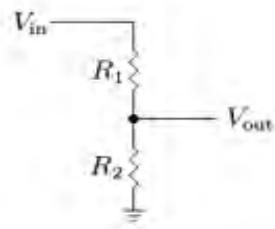


Figura 57: Diseño del sistema que mide la tensión y corriente (Elaboración propia).

Teniendo en cuenta que la tensión máxima de entrada para la cual se ha diseñado el circuito es de 35 Voltios, por otro lado, el voltaje máximo en cualquier Pin E/S de los ARM - STM32F103C8T6 es de 3.3 Voltios, para lo cual se realiza un divisor de tensión y determinar los valores comerciales de R_1 y R_2 .



$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{in}$$

$$3.3 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * 35 \quad 3.3(R_1 + R_2) = 35R_2 \quad \rightarrow \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{9.6}{1} \quad \approx \quad R_1 = 10R_2$$

$$R_1 = 47K \quad y \quad R_2 = 4.7K$$

$V_{out} = V_SIGNAL$ varia de 0 a 3.3 Volt. y V_{ref} varia de [0-4096]

Nuestro ARM - STM32F103C8T6 tiene una resolución de 4096 de 12 bits entonces:

$$presicion = \frac{V_SIGNAL}{Resolucion} = \frac{3.3}{4096} = 0.00080 \text{ Volt.}$$

$$V_{out} = V_SIGNAL = 0.0008056 * V_{ref} \text{ Volt.}$$

De igual manera para la salida de la resistencia Shunt que mide corriente:

$$V_{ref} \text{ varia de [0-4096] entonces } V_{shunt} = \frac{V_{ref} * 3.3}{4096} \quad y \quad I_{shunt} = \frac{V_{shunt}}{0.1} = 0.008 * V_{ref} \text{ Amp.}$$

El principio del diseño para obtener la curva característica de un panel fotovoltaico, es el proceso de carga y descarga del capacitor, que permite simular una carga variable para obtener corriente y voltaje a diferentes niveles.

La primera medida se presenta en el instante cuando el contacto normalmente abierto (NO) del Relé se conecta al contacto común (COM), en ese instante el I_SIGNAL mide la Ics y el capacitor actúa como un conductor (cero Ohm), a medida que el capacitor va cargándose actúa como una carga variable y la corriente en el capacitor va disminuyendo, una vez que se complete

la carga del capacitor no hay flujo de corriente, I_SIGNAL mide cero Amperios y V_SIGNAL mide Voc. Cuando se haya completado el proceso de carga del capacitor, el contacto común (COM) del Relé se conecta al contacto normalmente cerrado (NC) y empieza el proceso de descarga del capacitor en la resistencia de 56 Ohm de 10 watts, los Diodos Schottky D4 y D5 impiden que la corriente circule en sentido contrario.

En el proceso de carga de nuestro sistema, se muestran 400 puntos en la curva I - V a una frecuencia de muestreo de 10 KHz, donde la señal de voltaje del capacitor en el momento de carga dura aproximadamente 80 milisegundos en estabilizarse. La corriente en un capacitor está en función a la variación del voltaje en el tiempo.

$$I = C \frac{dV}{dt} \quad \text{y} \quad q(t) = CV(t)$$



Figura 58: Tensión y corriente en el proceso de carga del capacitor (Elaboración propia).

Realizando la gráfica de tensión vs corriente, obtenemos la gráfica que se muestra en la Figura 59 que es exactamente la curva V - I de un panel fotovoltaico. En este caso el voltaje no empieza de cero debido a que el capacitor no se descarga completamente, pero es fiable para determinar las características eléctricas de un panel fotovoltaico.

Una vez realizado el diseño para la parte de potencia, el circuito se complementa añadiendo sensores que midan las variables ambientales, dispositivos de almacenamiento de datos, Bluetooth, GPS, I2C para LCD 16x2 y dispositivo para la comunicación serial.



Figura 59: Corriente vs voltaje del proceso de carga del capacitor (Elaboración propia).

3.9.3. Implementación del Sistema Optimizado

Después de haber realizado el diseño del circuito esquemático en el programa EasyEDA, se realiza en el mismo programa el diseño PCB del circuito, para luego imprimirla en una maquina CNC 3018 - 300 W.

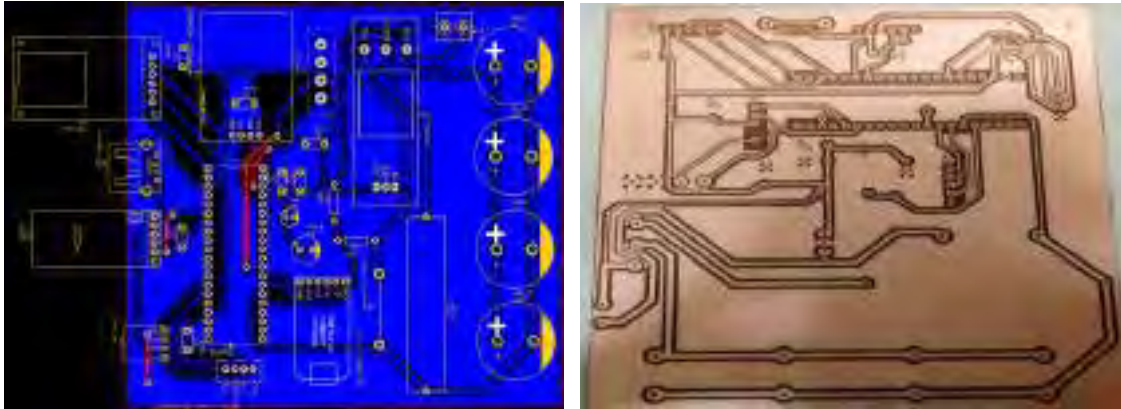


Figura 61: Diseño de la PCB y placa del circuito impreso (Elaboración propia).

Una vez implementado el sistema, se realiza el diseño y escaneo en 3D la cubierta externa para proteger el circuito implementado. Así la radiación solar no tenga contacto directo con el sensor de temperatura y solo así se conseguirá mediciones razonables.



Figura 62: Circuito implementado y escaneo de la cubierta externa (Elaboración propia).

Para casos prácticos el sistema implementado debe tener el mismo ángulo de inclinación del panel fotovoltaico que se pone a prueba.



Figura 63: Sistema medidor de características eléctricas del Panel fotovoltaico (Elaboración propia).

3.9.4. Diagrama de Flujo del Sistema Optimizado

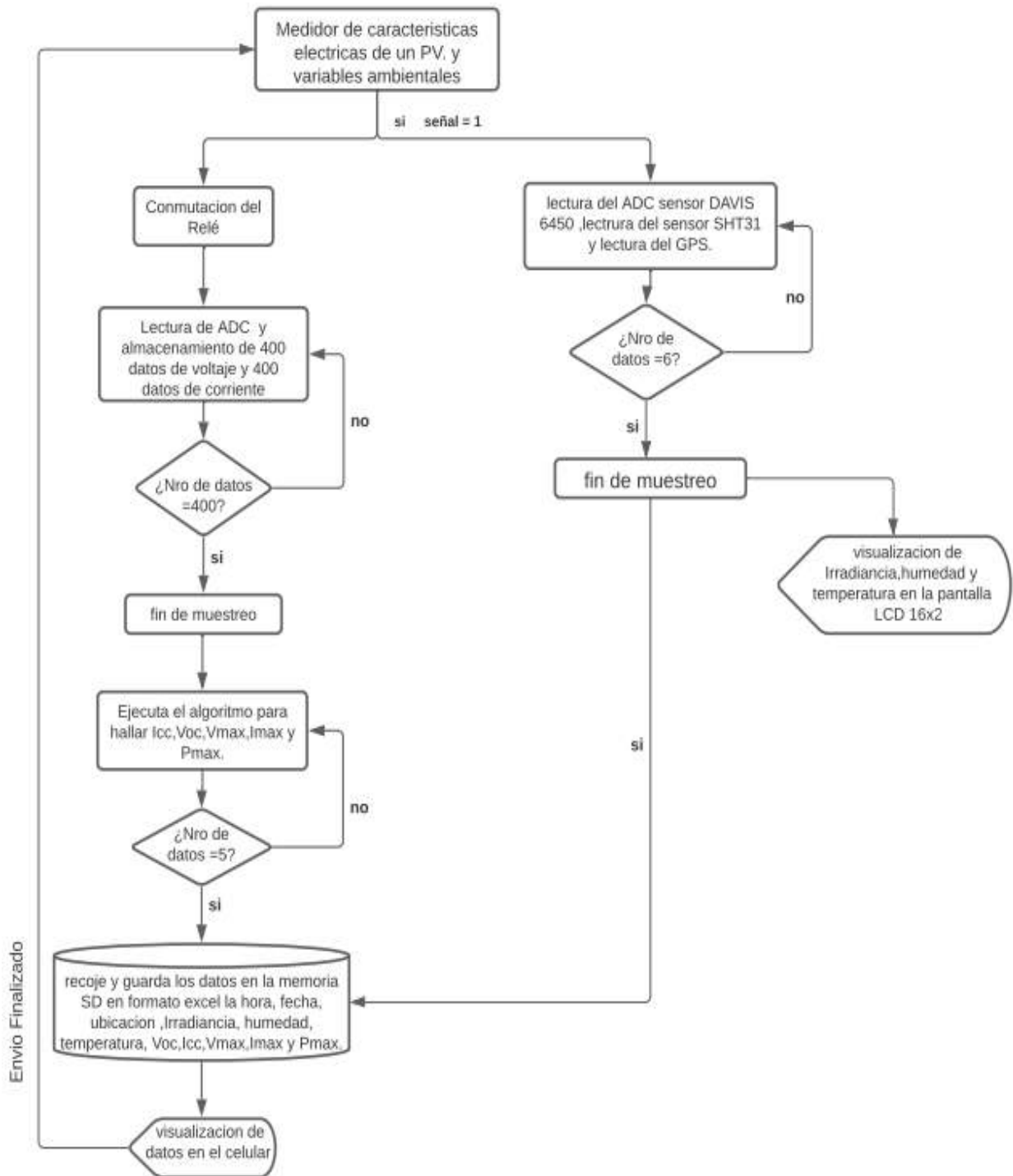


Figura 64: Diagrama de flujo del sistema optimizado (Elaboración propia).

3.9.5. Validación del Sistema Optimizado

Para la validación de los sensores que miden las variables ambientales se utilizó los instrumentos que fueron validados en la estación de SENAMHI.



Figura 65: Validación del sistema optimizado (Elaboración propia).

Para validar las mediciones de las características eléctricas del panel fotovoltaico del sistema optimizado, se utiliza el sistema anterior que funciona con alambre de Nicrom para la búsqueda de potencia máxima. Para medir la tensión en circuito abierto y corriente en corto circuito se hace seguimiento con la pinza amperimétrica PRASEK PR - 54 PREMIUM que tiene certificación de fábrica.

Tabla 20: Medición de las características eléctricas del PV. con el alambre de Nicrom.

Fecha	Hora	Humedad	Temperatura	Irradiancia	Voc	Icc	Vmax	Imax	pmax
2/08/2021	11:55.0	39.80	18.8	1006.2	19.56	4.43	17.2	4.1	70.52
2/08/2021	11:55.0	39.80	18.6	1005.8	19.56	4.43	17	4.1	69.7
2/08/2021	11:56.0	39.60	18.8	1006.5	19.56	4.43	17.2	4.1	70.52
2/08/2021	11:56.0	39.55	18.8	1006.5	19.56	4.43	17.1	4.1	70.11
2/08/2021	11:56.0	39.43	18.8	1006.9	19.56	4.43	17.1	4.1	70.11
2/08/2021	11:57.0	39.36	19	1007.2	19.56	4.43	17.1	4.1	70.11
2/08/2021	11:57.0	39.23	19.2	1007.2	19.56	4.43	17.2	4.1	70.52
2/08/2021	11:57.0	39.17	19.1	1007.5	19.56	4.43	17.1	4.1	70.11
2/08/2021	11:58.0	39.06	19.2	1006.8	19.56	4.43	17.2	4.1	70.52
2/08/2021	11:58.0	38.96	19.2	1007.8	19.56	4.43	17.2	4.1	70.52
2/08/2021	11:58.0	38.87	19.6	1007.8	19.56	4.43	17.2	4.1	70.52
2/08/2021	11:59.0	38.77	19.6	1007.9	19.56	4.43	17.2	4.1	70.52
2/08/2021	11:59.0	38.68	19.6	1008.1	19.56	4.43	17.2	4.2	72.24
2/08/2021	11:59.0	38.56	19.6	1008.3	19.56	4.43	17.2	4.2	72.24
2/08/2021	12:00.0	38.48	19.8	1007.5	19.56	4.43	17.2	4.1	70.52
2/08/2021	12:00.0	38.39	19.7	1008.9	19.56	4.43	17.2	4.2	72.24
2/08/2021	12:00.0	38.27	19.8	1008.8	19.56	4.43	17.2	4.2	72.24
2/08/2021	12:01.0	38.19	19.8	1009.0	19.61	4.45	17.2	4.2	72.24
2/08/2021	12:01.0	38.10	19.8	1009.2	19.61	4.45	17.2	4.2	72.24
2/08/2021	12:01.0	38.07	19.8	1008.4	19.61	4.45	17.2	4.2	72.24
PROMEDIO		38.92	19.33	1007.62	19.57	4.43	17.17	4.14	71.00

Tabla 21: Medición de las características eléctricas del PV con el sistema optimizado.

Fecha	Hora	Ubicación	Irradiancia	Temperatura	Humedad	Voc	Icc	Vmax	Imax	Pmax
2/08/2021	12:02	13°32'00"S 71°55'27"W	1007.6	19.1	40.4	19.7	4.3	17.4	4.1	71.6
2/08/2021	12:03	13°32'00"S 71°55'27"W	1005.5	19.1	39.2	19.6	4.3	17.2	4.1	71.2
2/08/2021	12:04	13°32'00"S 71°55'27"W	1008	19.6	38.9	19.5	4.4	17.3	4.1	71.4
2/08/2021	12:05	13°32'00"S 71°55'27"W	1008.2	19.7	38.0	19.4	4.4	17.3	4.1	71
2/08/2021	12:06	13°32'00"S 71°55'27"W	1010.4	19.7	37.8	19.4	4.4	17	4.2	71.1
2/08/2021	12:07	13°32'00"S 71°55'27"W	1009.4	19.8	37.5	19.4	4.4	17.4	4.1	71.2
2/08/2021	12:08	13°32'00"S 71°55'27"W	1010.1	19.8	37.4	19.4	4.4	17.1	4.2	71.4
Promedio			1008.46	19.54	38.46	19.49	4.37	17.24	4.13	71.27

Debido a que se cuenta con un solo panel fotovoltaico de 75 watts para realizar las pruebas de validación, primero se realiza las mediciones con el sistema que utiliza carga de Nicrom desde las 11:50 a. m. – 12:01 p. m. inmediatamente después se realiza las pruebas con el sistema optimizado desde las 12:02 p. m. - 12:08 p. m., en ese intervalo de tiempo 11:55 a. m. a 12:08 p. m. no se presentó mucha variación de radiación solar, temperatura y humedad. Los resultados en promedio de la tensión de circuito abierto, corriente en circuito cerrado, voltaje máximo, corriente máximo y potencia máximo son idénticos como se aprecia en la Tabla 20 y 21.

En el proceso de carga del capacitor en sistema toma 400 muestras de voltaje y corriente, una vez terminada la toma se abre el Relé y el capacitor se descarga en la resistencia de 56 Ohm.

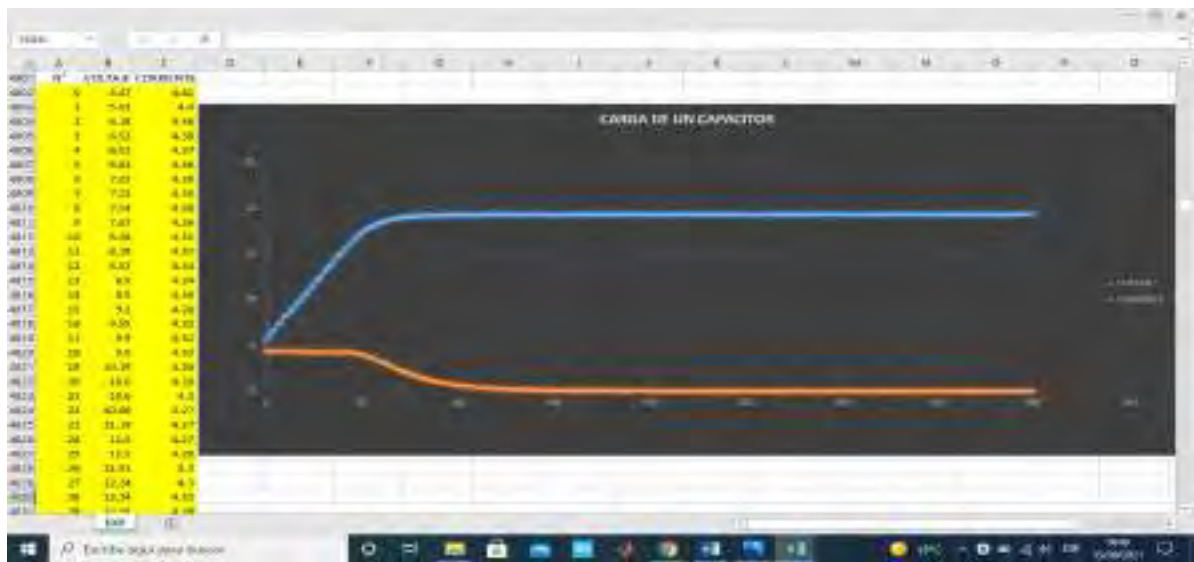


Figura 66: Grafica de tensión y corriente de la carga de un capacitor (Elaboración propia).

En la Figura 67 se muestra la grafica del proceso de carga del capacitor corriente vs voltaje de las 400 muestras tomadas en el proceso .



Figura 67: Corriente vs voltaje en el proceso de carga del capacitor (Elaboración propia).

Para medir las características electricas del PV 2, se tiene que colocar el sistema implementado encima del PV 1, para que el sensor de radiación solar tenga el mismo algulo de inclinación del PV 2, por medio de un cable se debe conectar el PV 2 con el sistema implemtado como se muestra en la siguiente Figura 68.



Figura 68: Forma de medir las características eléctricas de un PV con el sistema optimizado (Elaboración propia).

3.10. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para las pruebas que se realizaron en campo primero se procedió a limpiar los paneles fotovoltaicos, sobre todo en la selva debido a que el 100 % de ellos presentan capas de óxido debido a la abundancia de suciedad y humedad en las zonas. De esta manera, obtener resultados razonables para el análisis en general.



Figura 69: Limpieza de los paneles fotovoltaicos (Elaboración propia).

La selva del Departamento de Cusco tiene una geografía muy accidentada, en tal sentido las pruebas se realizaron en localidades cercanas a una carretera principal, también se considera para este estudio el proyecto FITEL 14, debido a que en esta parte existen muy pocas localidades beneficiados con el proyecto FITEL 2 y en su mayoría están muy alejados de la vía principal. A continuación, en la Figura 70 se muestra la distribución de las localidades donde se realizaron las pruebas.



*Figura 70: Zonas geográficas donde se realizaron la toma de datos
(Elaboración propia).*

Tabla 22: Cuadro general de mediciones realizadas.

Localidad	Coordenadas	Irradiancia (W/m ²)	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Voltaje en circuito abierto (Voc)	Corriente en Circuito Cerrado (Icc)	Voltaje de máxima potencia (V)	Corriente de Máxima Potencia (A)	Potencia Máxima (W)
Quillihuara	14.551667 S 71.429722 W	1152.30	12.04	17.33	20.69	3.77	16.27	3.06	49.86
Chañi	14.578056 S 71.420556 W	1048.70	13.24	18.50	20.62	3.74	16.00	2.88	46.08
Livincaya	14.207778 S 71.244722 W	1085.14	17.87	24.58	20.71	3.62	16.38	2.784	45.60
patacallasaya	14.271389 S 71.160556 W	1015.46	14.84	23.85	19.92	4.06	13.74	3.14	43.13
Ceaccahua	14.197500 S 71.245556 W	1028.99	18.87	23.31	19.48	4.06	12.35	3.56	43.97
Huayllabamba	13.515278 S 71.685278 W	1059.29	19.14	12.58	19.52	4.47	12.44	3.85	47.89
Ttio 01	13.772500 S 71.574167 W	1004.38	25.22	12.29	20.33	4.76	11.11	3.63	40.33
Urinsaya	14.735556 S 71.628333W	1004.80	21.21	12.41	20.31	4.29	14.26	3.14	44.78
Chahuaytire	13.389444 S 71.773611W	1071.20	20.61	19.20	19.96	3.94	15.30	3.08	47.12
Ranraccasa PV 01	13.686667 S 71.903333W	909.99	27.00	18.80	19.88	3.27	16.04	2.44	39.14
Ranraccasa PV 02	13.686667 S 71.903333W	909.66	29.22	18.73	19.92	3.70	14.04	3.26	45.77
Ranraccasa PV 03	13.686667 S 71.903333W	937.34	28.90	16.11	19.91	2.77	11.58	2.80	32.42
Pumapugio PV 01	14.068333 S 71.995833W	1096.63	17.25	19.62	20.82	4.19	14.18	3.26	46.23
Pumapugio PV 02	14.068333 S 71.995833W	1003.78	17.16	18.09	10.14	4.04	6.54	3.4	22.24
Pomatales	13.327222 S 72.232500 W	980.16	23.59	13.94	19.45	5.41	15.21	4.82	73.31
Santa Lucia	14.067211 S 71.704143 W	1046.04	21.35	26.28	20.13	4.12	14.46	3.21	46.42
San Juan	14.115780 S 71.66460 W	1019.06	23.02	28.76	20.01	4.15	14.08	3.03	42.66
Huayllayoc PV 01	12.808306 S 72.686022 W	1004.54	44.51	24.24	19.38	3.68	15.13	2.59	39.19
Huayllayoc PV 02	12.808306 S 72.686022 W	1007.64	43.69	24.99	19.31	3.43	15.06	2.37	35.69
Guayanay PV 01	12.811364 S 72.65599 W	1003.64	31.80	37.24	19.41	3.71	15.74	3.00	47.22
Guayanay PV 02	12.811364 S 72.65599 W	995.54	31.90	36.81	19.30	3.42	15.03	2.70	40.58
Guayanay PV 03	12.811364 S 72.65599 W	1022.52	33.30	35.17	19.44	3.70	15.08	3.20	48.26
Otari nativos PV 01	12.460833 S 73.856667 W	973.36	32.30	42.45	19.65	4.76	13.35	3.99	53.27
Otari nativos PV 02	12.460833 S 73.856667 W	981.51	38.32	34.63	19.45	5.04	13.63	4.62	62.97
Cumpirushiato PV 01	12.617778 S 73.104444 W	976.66	41.72	34.70	18.23	2.14	8.86	1.33	11.78
Cumpirushiato PV 02	12.617778 S 73.104444 W	1065.69	44.22	31.46	18.60	4.16	12.83	3.38	43.37
Kepashiato Alto	12.651944 S 73.192500 W	824.67	41.78	33.71	18.79	3.24	10.19	1.58	16.10
Santushari PV 01	12.314722 S 73.941944 W	813.80	35.38	42.66	19.06	3.13	15.18	2.96	44.93
Santushari PV 02	12.314722 S 73.941944 W	825.23	35.38	37.06	19.23	4.12	13.83	3.20	44.26
Otari San Martin	12.478611 S 73.843056 W	1003.03	34.64	54.86	19.53	3.52	15.82	3.21	50.78
Kiterina Alta	12.929444 S 73.528389 W	998.76	42.94	42.47	19.16	4.10	14.70	3.45	50.72
union Vista Alegre	12.765556 S 73.623889 W	1008.23	41.63	45.39	19.20	4.08	14.26	3.57	50.91
Santa rosa PV 01	13.033244 S 72.626194 W	1006.59	33.47	36.63	19.39	2.81	11.25	2.17	24.41
Santa Rosa PV 02	13.033244 S 72.626194 W	1001.80	33.84	36.43	19.28	2.73	10.98	2.17	23.83
Sicre PV 01	12.997158 S 72.535053 W	991.51	34.57	35.99	19.50	2.91	11.30	2.22	25.09
Sicre PV 02	12.997158 S 72.535053 W	1004.84	35.52	34.08	19.45	2.74	11.11	2.18	24.22
huallpamayta	12.954690 S 72.63778 W	1028.92	36.32	38.20	19.28	2.80	11.73	2.16	25.34
Sullucuyoc	13.0407200 S 72.69608 W	1039.27	37.25	43.03	19.21	2.84	10.94	2.25	24.62
Chaupimayo B	12.85570 S 72.737483 W	240.12	33.35	40.63	19.01	0.91	10.59	0.82	8.68
Progreso PV 01	12.63218 S 72.984650 W	1004.30	37.76	42.13	19.20	2.97	10.12	2.36	23.85
Progreso PV 02	12.63218 S 72.984650 W	1017.23	39.55	40.22	19.14	2.91	10.02	2.33	23.33

3.10.1. Fenómenos Naturales Observados Durante el Estudio

Durante el estudio se observó la presencia de fenómenos naturales sobre los paneles fotovoltaicos como el polvo, suciedad, óxidos, decoloraciones, hojas de plantas, sombras y excremento de aves. En la Tabla 23 se describe las localidades en donde hubo presencia de fenómenos naturales sobre los PV.

Tabla 23: Presencia de fenómenos naturales.

Localidad	Zona	Polvo	Suciedad	Óxido	Decoloración	Hojas de plantas	Sombras	Excremento de Aves
QUILLIHUARA	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
CHAÑI	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
LIVINCAYA	Sierra	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO
PATACCALASAYA	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
CCANCCA HUA	Sierra	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO
HUAYLLABAMBA	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO
TTIO	Sierra	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO
URINSAYA	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
CHAHUAYTIRE	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
RANRACCASA	Sierra	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO
PUMAPUGIO	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
POMATALES	Sierra	SI	NO	NO	SI	NO	SI	NO
SANTA LUCIA	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
SAN JUAN	Sierra	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO
HUAYLLAYOC	Selva	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
GUAYANAY	Selva	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI
OTARI NATIVOS	Selva	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI
CUMPIRUSHIATO	Selva	NO	SI	SI	NO	NO	SI	SI
KEPASHIATO ALTO	Selva	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO
SANTUSHARI	Selva	SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
OTARI SAN MARTIN	Selva	NO	SI	SI	NO	SI	SI	NO
KITERINA ALTA	Selva	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
UNION VISTA ALEGRE	Selva	SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
SANTA ROSA	Selva	SI	SI	SI	SI	NO	SI	NO
SICRE PV.01	Selva	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
HUALLPAMAYTA	Selva	NO	SI	SI	SI	NO	SI	SI
SULLUCUYOC	Selva	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO
CHAUPIMAYO B	Selva	NO	SI	SI	SI	SI	NO	NO
PROGRESO	Selva	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI
TOTAL		13	15	15	22	9	14	7

CAPITULO 4: CALCULO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

4.1. CÁLCULO DE LA EFICIENCIA DEL PANEL FOTOVOLTAICO

Para determinar la eficiencia del panel fotovoltaico utilizamos la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{P_{mp}}{E * A_c}$$

Donde:

P_{mp} : Potencia máxima que entrega el panel fotovoltaico (watts).

E : Irradiancia que incide sobre el panel fotovoltaico (W/m^2).

A_c : Área efectiva del panel fotovoltaico (m^2).

En la hoja técnica no incluyen el área efectiva de los paneles fotovoltaicos, para lo cual se utilizó una mica transparente para delinear el perímetro de una celda, determinar el área de la celda, para luego multiplicar por la cantidad de celdas así obtener el área efectiva total del panel fotovoltaico como se muestra en siguiente Figura 71.



Figura 71: Método utilizado para calcular el área del panel fotovoltaico (Elaboración propia).

Tabla 24: Cálculo de eficiencia del panel fotovoltaico para cada localidad.

Localidad	Área Total de la Célula Fotovoltaica. (m²)	Irradiancia (W/m²)	Potencia Máxima (W)	Eficiencia (%)
Quillihuara	0.497	1152.30	49.86	8.71
Chañi	0.497	1048.70	46.08	8.84
livincaya	0.497	1085.14	45.60	8.46
Pataccalasaya	0.497	1015.46	43.13	8.55
Ccanchahua	0.497	1028.99	43.97	8.60
Huayllabamba	0.497	1059.29	47.89	9.10
Tio 01	0.497	1004.38	40.33	8.08
Urinsaya	0.497	1004.80	44.78	8.97
Chahuaytire	0.497	1071.20	47.12	8.85
Ranraccasa PV 01	0.497	909.99	39.14	8.65
Ranraccasa PV 02	0.497	909.66	45.77	10.12
Ranraccasa PV 03	0.497	937.34	32.42	6.96
Pumapugio PV 01	0.497	1096.63	46.23	8.48
Pumapugio PV 02	0.497	1003.78	22.24	4.46
Pomatales	0.630	980.16	73.31	11.87
Santa Lucia	0.497	1046.04	46.42	8.93
San Juan	0.497	1019.06	42.66	8.42
Huayllayoc PV 01	0.560	1004.54	39.19	6.97
Huayllayoc PV 02	0.560	1007.64	35.69	6.32
Guayanay PV 01	0.560	1003.64	47.22	8.40
Guayanay PV 02	0.560	995.54	40.58	7.28
Guayanay PV 03	0.560	1022.52	48.26	8.43
Otari nativos PV 01	0.562	973.36	53.27	9.74
Otari nativos PV 02	0.562	981.51	62.97	11.42
Cumpirushiato PV 01	0.497	976.66	11.78	2.43
Cumpirushiato PV 02	0.497	1065.69	43.37	8.19
Kepashiato Alto	0.497	824.67	16.10	3.93
Santushari PV 01	0.540	813.80	44.93	10.22
Santushari PV 02	0.540	825.23	44.26	9.93
Otari San Martin	0.540	1003.03	50.78	9.38
Kiterina Alta	0.540	998.76	50.72	9.40
Union Vista Alegre	0.540	1008.23	50.91	9.35
Santa Rosa PV 01	0.360	1006.59	24.41	6.74
Santa Rosa PV 02	0.360	1001.80	23.83	6.61
Sicre pv 01	0.360	991.51	25.09	7.03
Sicre pv 02	0.360	1004.84	24.22	6.70
Huallpamayta	0.360	1028.92	25.34	6.84
Sullucuyoc	0.360	1039.27	24.62	6.58
Chaupimayo b	0.360	240.12	8.68	10.05
Progreso PV 01	0.360	1004.30	23.85	6.60
Progreso PV 02	0.360	1017.23	23.33	6.37

4.2. ANALISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el análisis de la información utilizaremos el método del PCA o Análisis de Componentes Principales descrito en la página 48 mediante el programa IBM SPSS.

Donde el objetivo es construir un pequeño número de nuevas variables llamadas componentes principales en las cuales se concentre la mayor cantidad posible de información. La matriz de datos representa el 100 % de la información realizando la transformación obtenemos la matriz de componentes principales donde la primera columna de la matriz de componentes representa el 45.421 % de la información y la columna dos el 28.118 % de la información así sucesivamente hasta llegar 100 % como se aprecia en la matriz siguiente.

Si sumamos el primer y segunda componente principal, obtenemos el 73.539 % de la información transformada con el cual ya se puede hacer nuestro análisis, ya que estas dos columnas representan la mayor parte de la información con respecto al 26.461 % restante.

Tabla de Datos		Componentes
$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1p} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{np} \end{bmatrix}$	\rightarrow	$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1p} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \dots & C_{np} \end{bmatrix}$
100 % de la información	45.421 %	28.118 % 0.363 %

Para nuestro análisis solo se considera las variables cuantitativas de mayor importancia como se aprecia en la matriz de correlaciones de la Figura 25.

Tabla 25: Matriz de correlaciones.

		Altitud (msnm)	Irradiancia (w/m2)	Humedad Relativa (%)	Temperatura Ambiental (°C)	Potencia Máxima (W)	Eficiencia (%)	N° Aprox. de años en funcionamiento
Correlación	Altitud (msnm)	1,000	,257	-,840	-,902	,229	,196	,559
	Irradiancia (w/m2)	,257	1,000	-,248	-,244	,379	-,149	,110
	Humedad Relativa (%)	-,840	-,248	1,000	,672	-,249	-,114	-,409
	Temperatura Ambiental (°C)	-,902	-,244	,672	1,000	-,314	-,298	-,472
	Potencia Máxima (W)	,229	,379	-,249	-,314	1,000	,757	-,426
	Eficiencia (%)	,196	-,149	-,114	-,298	,757	1,000	-,222
	N° Aprox. de años en funcionamiento	,559	,110	-,409	-,472	-,426	-,222	1,000

a. Determinante = ,001

De la matriz de correlaciones podemos concluir que hay variables que están fuertemente asociados o tienen una buena correlación, simultáneamente, la potencia máxima y la eficiencia que tienen una correlación de 0.757.

La determinante 0.001 prácticamente es cero, ello indica que tiene mucho sentido hacer uso de la PCA, por que las variables involucradas en el análisis están fuertemente correlacionadas o tienen alto grado de asociación.

Tabla 26: Extracción de datos estandarizados.

	Inicial	Extracción
Altitud (msnm)	1,000	,944
Irradiancia (w/m2)	1,000	,155
Humedad Relativa (%)	1,000	,747
Temperatura Ambiental (°C)	1,000	-,844
Potencia Máxima (W)	1,000	,951
Eficiencia (%)	1,000	,732
N° Aprox. de años en funcionamiento	1,000	,776

Mediante la PCA se ha reducido de siete dimensiones a solamente dos dimensiones. Podemos ver que los datos se estandarizaron a uno, de los cuales se explica el 94.4 % pertenece a la variable altitud, el 74.75 % de la variable humedad relativa, el 84.4 % de la variable temperatura,

el 95.1 % de la variable potencia máxima, el 73.2 % de la variable eficiencia y el 77.6 % de la variable N° de años de funcionamiento. Pero se puede apreciar que solo se puede explicar el 15.5 % de la variable irradiacia, es una de las desventajas que se tiene al hacer uso de este método de análisis.

Tabla 27: Varianza total explicada.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,179	45,421	45,421	3,179	45,421	45,421
2	1,968	28,118	73,539	1,968	28,118	73,539
3	1,064	15,194	88,733			
4	,453	6,470	95,203			
5	,261	3,730	98,932			
6	,049	,705	99,637			
7	,025	,363	100,000			

Al explicar la matriz de correlación que es equivalente a hacer un análisis sobre las componentes y las variables estandarizadas, es decir con media cero y desviación estándar uno. Significa que cada variable tiene una varianza uno, por qué fue estandarizada, en ese sentido como tengo 7 variables la suma de la varianza o varianza total es 7, dicho de otra forma, la traza de la matriz de covarianzas es igual a 7, por propiedad de algebra lineal la traza de una matriz es la suma de sus valores propios por lo tanto estos valores también suman 7.

El valor propio de la varianza se da cuando $|A - \lambda I| = 0$ y estas están ordenadas de forma decreciente. En nuestro caso el valor propio más grande es 3.179 que es la primera componente que explica el 45.421 % de la información y la segunda componente principal tiene un valor propio de 1.968 que representa el 28.118 % de la información. Sumando la primera componente más la segunda componente principal se explica 73.593 % de la información.

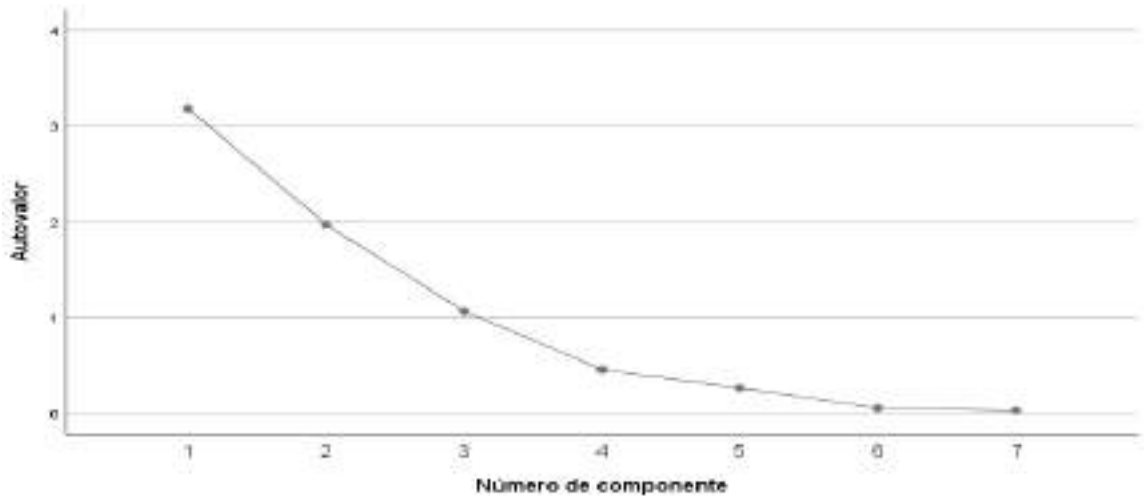


Figura 72: Gráfico de sedimentación (Elaboración propia).

La gráfica de sedimentación muestra el valor propio de cada componente principal versus número de componentes principales correspondiente, donde a partir de la componente tres se presenta poca variabilidad, la pendiente de la recta tiende a disminuir.

Tabla 28: Matriz de componentes.

	Componente	
	1	2
Altitud (msnm)	,959	-,154
Irradiancia (w/m2)	,388	,065
Humedad Relativa (%)	-,856	,119
Temperatura Ambiental (°C)	-,918	,027
Potencia Maxima (W)	,409	,885
Eficiencia (%)	,321	,793
N° Aprox. de años en funcionamiento	,512	-,717

En la Tabla 28 de la matriz de componentes, podemos apreciar en la primera componente principal, la variable altitud está bien representado con un 0.959 y muy correlacionado con la variable temperatura y humedad el signo negativo indica que crece en sentido opuesto.

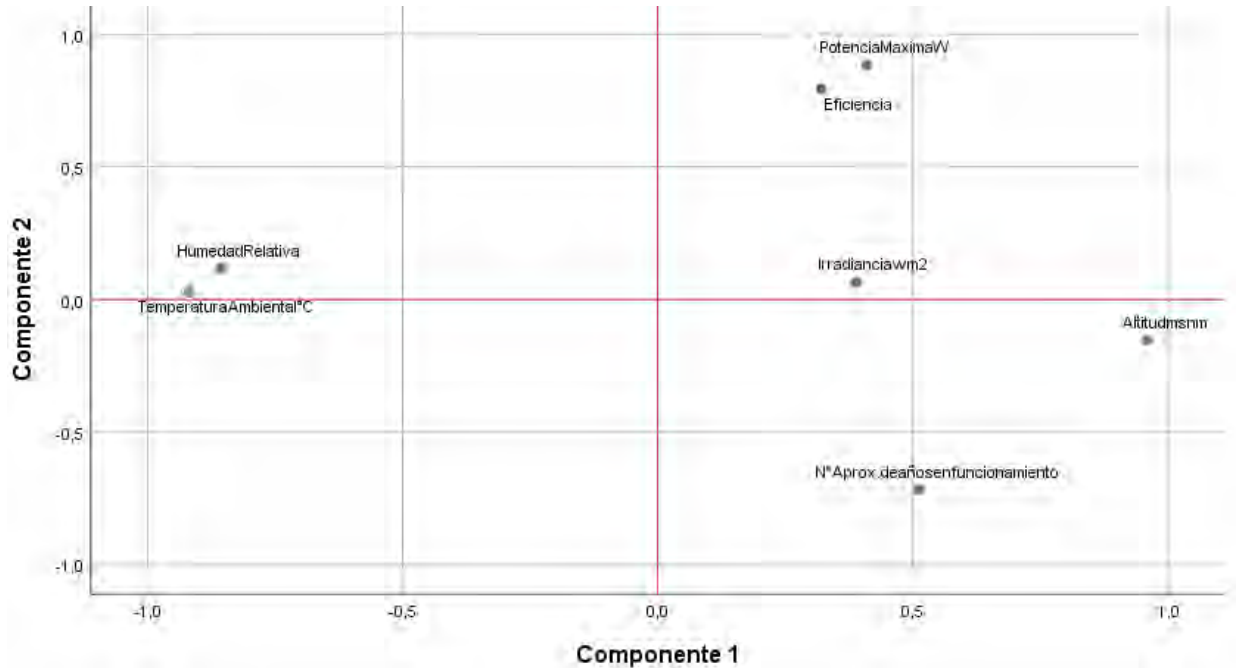


Figura 73: Distribución de variables sobre las componentes principales (Elaboración propia).

De la Figura 73 del gráfico de componentes podemos apreciar del eje de la componente dos, aquellas variables que están por encima de la media (el origen representa la media) están representados de manera positiva como la eficiencia que está muy correlacionado con la potencia máxima e irradiancia. Aquellos que están representados por debajo de la media representan algo negativo (algo malo) para la eficiencia, como son la temperatura y humedad que están muy correlacionados y crecen de manera negativa esto en la componente uno. Un análisis del eje de la componente dos podemos ver también que la variable N° aprox. de años en funcionamiento del panel fotovoltaico está por debajo de la media, lo cual significa que crece de manera negativa con respecto a la eficiencia o dicho de otra manera el tiempo de funcionamiento afecta de manera negativa la eficiencia del panel fotovoltaico.

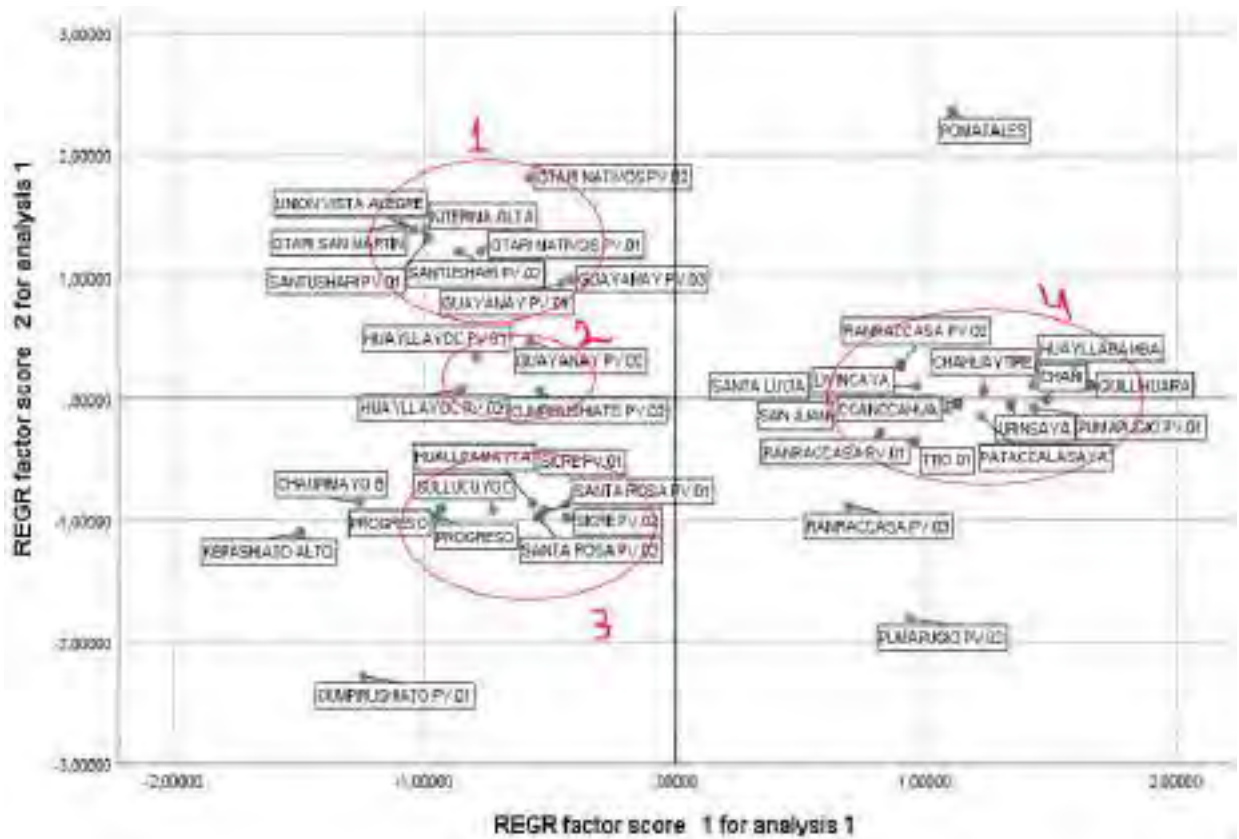


Figura 74: Distribución de localidades sobre las componentes principales (Elaboración propia).

En la Figura 74 se agrupa la concentración de localidades en 4 grupos, los grupos 1, 2 y 3 representan localidades de la selva y el grupo 4 representa localidades de la sierra del Departamento de Cusco. Al relacionar los grupos de la Figura 74 con las variables de la Figura 73 se observa que el grupo 4 tienen una alta relación con la variable irradiación y se encuentran por encima de la media con respecto a la componente principal uno, el grupo 1, 2 y 3 son localidades de la selva del Departamento del Cusco y están por debajo de la media con respecto a la componente principal uno y muy representados con la variable temperatura y humedad.

4.2.1. Análisis de la Eficiencia del Panel Fotovoltaico

Realizando un análisis con respecto a la variable eficiencia podemos ver que los PV de las localidades de la sierra del grupo 4 pertenecientes al proyecto FITEL 2 están más representados con la variable eficiencia, es decir, tienen muy buena eficiencia después de varios años en funcionamiento. Por otra parte, por el efecto espejo podemos ver que las localidades de la selva del grupo 3 pertenecientes al proyecto FITEL 2 están al lado opuesto a la eficiencia o tienen muy poca representación en eficiencia.

El grupo 1 perteneciente al proyecto FITEL 14 y el grupo 2 que representa a los paneles fotovoltaicos cambiados durante el funcionamiento del proyecto FITEL 2, ambos tienen una eficiencia mayor al grupo 3, ya que tienen una antigüedad de aproximadamente 10 años funcionando con respecto al grupo 3 y 4 que llevan aproximadamente 20 años funcionando.

El PV de la localidad de Pomatales es la que tiene muy buena representación con respecto a la variable eficiencia, es debido a que es un panel nuevo que tiene aproximadamente 10 años en funcionamiento y está ubicado en la sierra del Departamento de Cusco.

El PV 03 de la localidad de Ranraccasa y el PV 02 de la localidad de Pumapugio pertenecientes a la sierra del Departamento de Cusco, y los PV de la localidad de Kepashiato Alto y el PV 01 de la localidad de Kumpírushiato pertenecientes a la selva del Departamento de Cusco, tienen una baja representación en eficiencia debido a que se encuentran dañados donde el voltaje de salida o corriente de salida es muy bajo.

4.2.2. Análisis con Respecto a las Variables Ambientales

De la Figura 73 y Figura 74 podemos apreciar que los PV de las localidades del grupo 1, 2 y 3 pertenecientes a la zona selvática están más representados por las variables humedad y temperatura con respecto al grupo 4 de la sierra, pero se debe tener en cuenta que estas variables afectan de manera negativa a la eficiencia del panel fotovoltaico, la temperatura afecta de manera directa al voltaje de salida, la humedad hace que se formen capas de óxido sobre los paneles fotovoltaicos a través del tiempo, provocando que la radiación solar no llegue directamente al PV.

El grupo 4 perteneciente a la zona sierra del Departamento de Cusco está más representado por la variable irradiancia y más alejados de las variables humedad y temperatura, ello hace que su eficiencia luego de varios años de funcionamiento sea mayor a comparación con los paneles fotovoltaicos ubicados en la selva del mismo departamento.

4.2.3. Análisis de Fenómenos Naturales Presentes en el Estudio

Los fenómenos naturales contribuyen al efecto de punto caliente, se presenta en gran medida en la selva del Departamento del Cusco. De la Tabla 23 podemos extraer la cantidad de localidades en donde las células fotovoltaicas fueron afectados por los fenómenos naturales como se aprecia en la siguiente Tabla 29.

Tabla 29: Localidades con presencia de fenómenos naturales sobre los PV.

Zona	Polvo	suciedad	Oxido	Decoloración	Hojas de plantas	Sombras	Excremento de Aves
Sierra	5	0	0	14	0	3	0
Selva	8	15	15	8	9	11	7
Total	13	15	15	22	9	14	7

Tabla 30: Representación porcentual de los fenómenos naturales.

Zona	Polvo	Suciedad	Oxido	Decoloración	Hojas de plantas	Sombras	Excremento de Aves
Sierra	38.46 %	0 %	0 %	63.64 %	0 %	21.43 %	0 %
Selva	61.54 %	100 %	100 %	36.36 %	100 %	78.57 %	100 %

De la Tabla 29 y

Tabla 30 se observa, de un total de 13 localidades con presencia de polvo sobre los celdas fotovoltaicas el 38.46 % pertenecen a la sierra y el 61.54 % pertenecen a la selva, de igual manera de un total de 15 localidades con presencia de suciedad sobre las celdas fotovoltaicos el 100 % pertenecen a la selva, de un total de 15 localidades con presencia de óxido sobre las celdas fotovoltaicas el 100 % se presentan en la selva, el fenómeno de la decoloración estuvo presente en 22 localidades donde el 63.64 % pertenecen a la sierra y el 36.36 % pertenecen a la selva, de un total de 9 localidades en donde se observó la presencia de hojas de plantas sobre las células fotovoltaicas el 100 % pertenecen a la selva, de un total de 14 localidades con presencia de sombra sobre las células fotovoltaicas se observó que el 21.43 % pertenecen a la sierra y el 78.57 % pertenecen a la selva y de 7 localidades donde hubo presencia de excremento de aves sobre las celdas fotovoltaicas el 100 % pertenecen a la zona selva del Departamento del Cusco.

4.2.4. Análisis de la Información Considerando el Promedio de las Variables.

Para que los resultados del promedio sean razonables no se considera a aquellos paneles fotovoltaicos que por avería tienen potencias muy bajas, como, por ejemplo, los paneles fotovoltaicos de las localidades de Kepashiato Alto con 16.10 watts, Kumpirushiato con 11.78 watts, Chaupimayo con 8.68 watts y Pumapugio con 22.23 watts. Tampoco se consideran

los paneles fotovoltaicos recientemente instalados que tienen una potencia muy alta como es el caso del panel fotovoltaico de la localidad de Pomatales que tiene una potencia de 73.31 watts.

$$\text{Promedio} = \bar{X} \pm S$$

$$\text{media} = \bar{X} = \frac{1}{N} * \sum_1^N X_i \qquad \text{Desviacion estandar} = S = \sqrt{\frac{\sum_1^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

donde N es la cantidad de datos.

Tabla 31: Promedio de las variables ambientales y variables del panel fotovoltaico .

Zona	Marcas de PV.	Potencia del PV (W)	Flujo de luz	Nº Años. De años en funcionamiento	Altitud Promedio (metros)	Irradiación Promedio (w/m2)	Humedad Promedio (%)	Temperatura Promedio (K)	Potencia Máxima Promedio (watts)	Eficiencia Actual Promedio (%)	Eficiencia según hoja técnica del fabricante (%)
Sierra	SABER	Monocrystine 70	RTTLZ	20	3786.12	3025.99 ± 67.85	36.48 ± 1.07	28.53 ± 5.21	44.05 ± 4.26	6.65 ± 0.55	14.08
Sierra	SABER	Monocrystine 50	RTTLZ	20	3201.5	3021.81 ± 35.68	36.34 ± 1.17	36.04 ± 2.09	14.31 ± 0.67	6.68 ± 0.20	13.89
Sierra	REVEN	Monocrystine 70	RTTLZ	20	3336.14	3228.81 ± 103.62	44.48 ± 6.54	37.99 ± 3.99	48.32 ± 3.41	9.56 ± 0.40	14.08
Sierra	ETROLAR	Monocrystine 85	RTTLZ	20	3715	3774.3 ± 5.76	38.54 ± 1.51	35.31 ± 4.23	38.11 ± 6.68	10.88 ± 1.79	13.82
Sierra	TOTAL ENERGIA	Policrystine 80	RTTLZ	20	3314.4	3006.73 ± 3.87	31.65 ± 5.51	37.04 ± 6.48	42.19 ± 5.99	7.48 ± 0.91	14.08

Para paneles fotovoltaicos de 70 watts su potencia luego de 20 años en funcionamiento, la potencia se redujo a 64.14 % aproximadamente, esto en la zona sierra del Departamento de Cusco. En paneles fotovoltaicos de 50 watts con la misma cantidad de años en funcionamiento, la potencia se redujo a 48.66 % aproximadamente en la selva del Departamento de Cusco.

Con los datos que brinda el fabricante se calcula la eficiencia inicial de los paneles fotovoltaicos y se hace una comparación con la eficiencia actual luego de 20 años en funcionamiento. En tal sentido, la eficiencia de los paneles fotovoltaicos de 70 watts en la sierra se redujo de 14.08 % a 8.65 %, así mismo, la eficiencia de paneles fotovoltaicos de 50 watts en la selva se redujo de 13.89 % a 6.68 %.



Figura 75: Prueba de sombra con paneles fotovoltaicos (Elaboración propia).

Cuando se realizó pruebas de sombra con paneles fotovoltaicos usados, la potencia del panel fotovoltaico Monocristalino disminuye de 40.8 watts a 35.50 watts al cubrir una pequeña parte de una celda, para el caso del panel Policristalino sucede lo mismo, la potencia disminuye de 36.37 watts a 29.14 watts. Al tapar una celda completa la potencia entregada por el panel fotovoltaico disminuye drásticamente con valores menores a 10 watts para ambos casos.

4.3. CONTRASTACION DE LA HIPOTESIS

El fenómeno de la degradación de los paneles fotovoltaicos en la selva del Departamento de Cusco se presenta en gran medida por el efecto de punto caliente, causado por las sombras de árboles y por la formación de óxidos cuyo origen son la presencia de humedad, lluvia, polvo y abundante suciedad. Junto a ello, las altas temperaturas ocasionan que las eficiencias de los paneles fotovoltaicos sean menores en comparación a las zonas frías y secos que caracterizan a la sierra. Debido a estos fenómenos la eficiencia de paneles fotovoltaicos luego de aproximadamente 20 años en funcionamiento es de 6.68 % en la selva, siendo mucho menor que la eficiencia de los paneles fotovoltaicos estudiados en la sierra, donde se obtuvo una eficiencia de 8.65 %.

CAPITULO 5: PRESUPUESTO

PRESUPUESTO EN MATERIALES					
Item	Detalle	Descripcion	Cantidad	P.Unitario(S/.)	Sub Total (S/.)
1	Componentes electronicos	Tarjeta arduino uno	2	S/50.00	S/100.00
		Sensor de radiacion solar(DAVIS 6450)	1	S/850.00	S/850.00
		Sensor de temperatura y humedad (DHT22)	2	S/30.00	S/60.00
		Sensor de corriente acs712-5A	2	S/20.00	S/40.00
		Sensor de voltaje fz0430	2	S/15.00	S/30.00
		Modulo micro SD	4	S/15.00	S/60.00
		Moduloreloj DS3231	2	S/12.00	S/24.00
		Memoria micro SD	4	S/20.00	S/80.00
		Protoboard	2	S/12.00	S/24.00
		Modulo lcd 16x2	3	S/15.00	S/45.00
		Interfaz I2C	3	S/12.00	S/36.00
		Alambre de Nicrom N° 22	1	S/12.00	S/12.00
		Alambre de Nicrom N° 16	1	S/20.00	S/20.00
		Terminales tipo cocodrilo	8	S/1.50	S/12.00
		Cables de conexión	1	S/10.00	S/10.00
		Resistencia	10	S/0.40	S/4.00
		Panel solar de 80 watts	1	S/250.00	S/250.00
		Controlador de 10 Amp	1	S/100.00	S/100.00
		Cable vulcanizado de tres hilos	3	S/15.00	S/45.00
		Bateria de 7 Am/H	1	S/100.00	S/100.00
		Bateria externa con puerto usb	2	S/80.00	S/160.00
		Sensor de temperatura SHT31	1	S/40.00	S/40.00
		Modulo bluetooth	1	S/30.00	S/30.00
		Resistencia Shunt	1	S/25.00	S/25.00
Resistencia de 56 ohm 10W	1	S/8.00	S/8.00		
ARM- STM32F103C8T6	2	S/30.00	S/60.00		
Módulo GPS NEO-6M	1	S/90.00	S/90.00		
Rele de 10A	1	S/10.00	S/10.00		
2	Instrumentos de medicion	Pinza amperimetrica PRASEK PR-54 PREMIUM	1	S/220.00	S/220.00
		Multímetro HoldPeak HP-70C	1	S/180.00	S/180.00
		Medidor de radiacion solar (SM-206)	1	S/300.00	S/300.00
		Medidor de temperatura y humedad TA298	1	S/60.00	S/60.00
3	Herramientas de trabajo	Laptop HP CORE I7	1	S/2,500.00	S/2,500.00
		Celular de gama media	1	S/850.00	S/850.00
		Alicate de corte	1	S/10.00	S/10.00
		Alicate de punta	1	S/10.00	S/10.00
		Desarmador estrella	1	S/5.00	S/5.00
		Desarmador plano	1	S/5.00	S/5.00
		Perrillero	3	S/4.00	S/12.00
		Cinta aislante	2	S/5.00	S/10.00
		Trapo industrial	10	S/1.00	S/10.00
		Cuter	1	S/10.00	S/10.00
4	Servicio de terceros	Detergente	5	S/5.00	S/25.00
		Diseño de la PCB	1	S/50.00	S/50.00
		Impresión de la placa PCB	1	S/350.00	S/350.00
		Implementacion del circuito	1	S/100.00	S/100.00
		Programacion del circuito	1	S/200.00	S/200.00
		Diseño e impresión 3D de caja externo del circuito	1	S/150.00	S/150.00

TOTAL=	S/7,382.00
---------------	-------------------

PRESUPUESTO EN RECOLECCION DE INFORMACION					
Item	Detalle	Descripcion	localidades	P.Unitario(S/.)	Sub Total (S/.)
1	Zona sierra del Departamento del Cusco	Provincia de Canas	1	S/100.00	S/100.00
		Provincia de Calca	1	S/60.00	S/60.00
		Provincia de Canchis	3	S/80.00	S/240.00
		Provincia de Acomayo	2	S/85.00	S/170.00
		Provincia de Paruro	1	S/60.00	S/60.00
		Provincia de Quispicanchi	3	S/70.00	S/210.00
		Provincia de Anta	1	S/50.00	S/50.00
		Provincia de Espinar	2	S/120.00	S/240.00
		Provincia de Chumbivilcas	1	S/120.00	S/120.00
2	Zona selva del Departamento del Cusco	Provincia de la Convencion	15	S/150.00	S/2,250.00
				TOTAL=	S/3,500.00

PRESUPUESTO TOTAL =	S/10,882.00
----------------------------	--------------------

CONCLUSIONES

- El fenómeno de la oxidación está presente en gran parte en la selva del Departamento de Cusco, por la abundante humedad, polvo y suciedad que forman capas de óxido sobre los paneles fotovoltaicos, ello contribuye al efecto de punto caliente en las celdas solares (comportamiento de una celda solar es la una resistencia disipadora de energía) como consecuencia, la potencia generada es muy bajo.
- Desde que se firmó el contrato del proyecto FITEL 2 en noviembre de 1999, iniciando sus instalaciones en los años 2000 y 2001, pasaron aproximadamente 20 años. En la actualidad los paneles fotovoltaicos de 70 watts presentan una reducción en su potencia a un 64.14 % aproximadamente, esto en la zona sierra del Departamento de Cusco. Los paneles fotovoltaicos de 50 watts redujeron a 48.66 % aproximadamente en la selva del Departamento de Cusco.
- Luego de 20 años aproximados en funcionamiento los paneles fotovoltaicos de marca SIMENS redujeron su eficiencia inicial de 14.08 % a 8.65 % en la sierra cusqueña, con una pérdida de 5.43 %. De igual manera en la selva hubo una reducción del 13.89 % a 6.68 % con una pérdida de 7.21 %.
- Las eficiencias más altas luego de 20 años aproximados en funcionamiento, corresponde a los paneles fotovoltaicos presentes en zonas mayores a los 3500 m s. n. m. lo cual garantiza la perdurabilidad de los proyectos en zonas de mayor altitud.

- Se concluye que en el proyecto FITEL 2, los paneles fotovoltaicos no fueron distribuidos adecuadamente, ya que en lugares como la selva naturalmente afectada por el fenómeno de punto caliente y altas temperaturas se instalaron paneles de 50 watts y en zonas de la sierra donde el panel fotovoltaico tiene un buen rendimiento a lo largo de los años se instalaron paneles de 70 watts, esta mala distribución origino fallas constantes en el tema de energía en la selva del Departamento de Cusco.
- Se concluye que la estructura que soporta a los paneles fotovoltaicos de todos los proyectos en general, no están diseñados para acceder a ello fácilmente. Consecuentemente los beneficiarios no pueden realizar labores de limpieza de manera constante, así el 100 % de los paneles fotovoltaicos presentes en la zona selva fueron afectados por el fenómeno de oxidación causado por presencia de polvo y suciedad.
- Si una pequeña parte de una celda solar al ser afectada por sombra, puede ocasionar que el panel fotovoltaico disminuya en aproximadamente en un 20 % su potencia generada.

RECOMENDACIONES

- Si se va realizar mediciones de paneles fotovoltaicos de diferentes potencias se recomienda no usar sensores de corriente del tipo ACS712 – 5 A o ACS712 – 20 A, ya que su sensibilidad influye considerablemente en la medición de corriente (se tiene que calibrar la sensibilidad para cada nivel de corriente) para evitar las calibraciones utilice una resistencia Shunt de precisión.
- Se recomienda realizar más investigaciones en la zona selva debido a que los sensores, equipos eléctricos y electrónicos son afectados considerablemente por el efecto de humedad, temperatura, corrosión, oxidación, Etc. Ello hace que su vida útil sea muy corta, además presentan medidas erróneas como paso con el sensor de temperatura DHT22 para temperaturas mayores a 35 °C marcaba medidas muy diferentes a los valores reales.
- Se recomienda hacer limpieza de los panes fotovoltaicos de manera mensual en la zona selva para evitar la formación de capa de óxido que afecta considerablemente en la eficiencia entregada.
- Para la zona de la selva se recomienda hacer una inspección visual de manera diaria al sistema fotovoltaico, debido a que las hojas de la vegetación que existe alrededor caen encima del panel fotovoltaico y eso hace que se genere el efecto de punto caliente que disminuye en gran medida la potencia del panel fotovoltaico.

- Se recomienda utilizar paneles fotovoltaicos que tengan mayor cantidad de diodos bypass, de este modo el panel fotovoltaico no perderá mucha potencia en presencia de efecto de punto caliente.
- Para proyectos de inversión se recomienda hacer un nuevo diseño de estructura que soporta a los paneles solares, y así acceder fácilmente a ellos para realizar tareas de mantenimiento.
- Es recomendable usar paneles fotovoltaicos de gran potencia, debido a que los paneles fotovoltaicos de pequeña potencia pierden rápido su eficiencia con el pasar de los años y ello hace que se tenga que hacer requerimientos nuevos de paneles fotovoltaicos, esto es principalmente para las zonas rurales de difícil acceso. Es importante adquirir un panel fotovoltaico de gran potencia para que no sea necesario conseguir nuevos paneles solares, lo cual puede ser un trabajo agotador, es un consejo para los municipios o entidades que piensan llevar a cabo proyectos en zonas bastante alejadas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Romoacca, j. h. (2018). estudio comparativo de potencia generada por paneles fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos en la universidad nacional de san antonio abad del cusco. repositorio unsaac, 6.
- [2] Mamani mamani y. kenndy, m. y. (21 de 11 de 2019). determinación experimental de la eficiencia de un panel fotovoltaico marca sunbe solar tipo slp 60-12 de 60 w bajo las condiciones ambientales de puno con énfasis en la intensidad de radiación solar. obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/unap/12379>
- [3] Raul, m. b. (2017). estimación de la eficiencia de un sistema de energía eléctrica basado en paneles solares considerando variables ambientales en la ciudad de bogotá. obtenido de <https://hdl.handle.net/11634/3238>
- [4] sequeiros, j. c. (17 de 04 de 2017). diario el correo. obtenido de <https://diariocorreo.pe/edicion/cusco/mas-de-tres-mil-viviendas-tendran-energia-solar-en-cusco-743553>
- [5] FITEL. (2001). los proyectos de fitel. obtenido de <http://www.fitel.gob.pe/archivos/fi50a1431505ae8.pdf>
- [6] Almonacid, d. g. (1995). curso solar. obtenido de http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/2_radiacion_00.htm

- [7] Sebastian, e. (3 de 9 de 2019). radiacion solar irradiancia y insolacion. obtenido de eliseo sebastian energia solar: <https://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>
- [8] Curso solar(accedida en febrero del 2020). calculo de radiacion solar. Obtenido de http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/02_intermedio/ej_cal_radiacion.htm
- [9] Seslab. (08 de 2021). especializacion en sistemas fotovoltaicos. obtenido de http://seslab.org/fotovoltaico/32_masa_de_aire_entre_la_atmosfera_y_la_superficie_terrestre.ht
- [10] Tecnologia, a. (14 de 09 de accedida 2020). efecto fotoelectrico. obtenido de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/efecto-fotoelectrico.html>
- [11] Peña, j. d. (setiembre de 2014). electronica aplicada a los sistemas fotovoltaicos. Obtenido de https://issuu.com/jaguilarpena/docs/electronica_aplicada_sfv_pfc_redu3
- [12] Centro nacional de energias renovables.(10 de 06 de 2020). iec 61215 - irena.Obtenido de https://www.irena.org/eventdocs/forum%20on%20regional%20cooperation/1225_quality%20of%20the%20pv%20system_javier%20diaz.pdf.
- [13] Classic, M. (2005). Obtenido de : <http://hyperphysics.phy-astrgsu.edu/hbasees/Acoustic/invsqs.html>
- [14] Helio Esfera. (2021). Obtenido de <https://www.helioesfera.com/irradiancia-irradiacion-y-radiacion-solar>
- [15] Hernández, E. P. (06 de 2020). TRAZADOR DE CURVAS I-V DE BAJO COSTE PARA CÉLULAS FOTOVOLTAICAS. Obtenido de

<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/19812/TRAZADOR%20DE%20CURVAS%20I%20DE%20BAJO%20COSTE%20PARA%20CELULAS%20FOTOVOLTAICAS.pdf?sequence=1>

[16] Ingelibre.(2014).Obtenidode <https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>

[17] Martínez,M.P.(2017).Obtenido.de:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012017000200007

oscarmtznarva. (2020). Obtenido de <https://elforoverde.org/energias-renovables/la-radiacion-solar/>

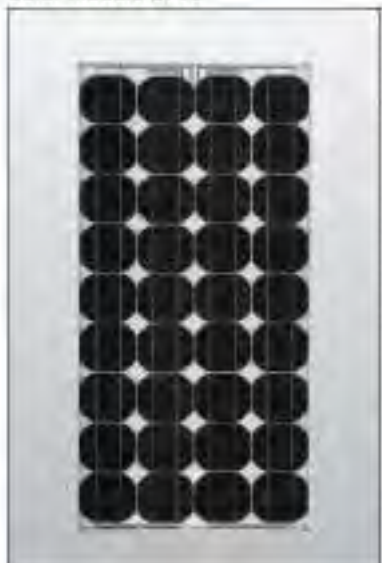
[18] SESLab.(2015).Obtenido_de

http://seslab.org/fotovoltaico/32_masa_de_aire_entre_la_atmosfera_y_la_superficie_terrestre.ht

ANEXOS

ANEXO A: HOJA TECNICA DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Solar module SP70



These 200-watt modules are suitable for use in any environment. They are designed to meet the highest standards of performance and reliability. The modules are constructed with high-quality materials and are designed to withstand harsh weather conditions. The modules are also designed to be easy to install and maintain. The modules are available in a variety of configurations to meet your specific needs. For more information, please contact your local distributor.

Module Characteristics:
 Maximum Power Output: 200 Watts
 Maximum Current: 4.25 A
 Maximum Voltage: 18.25 V
 Short-Circuit Current: 4.7 A
 Open-Circuit Voltage: 21.4 V

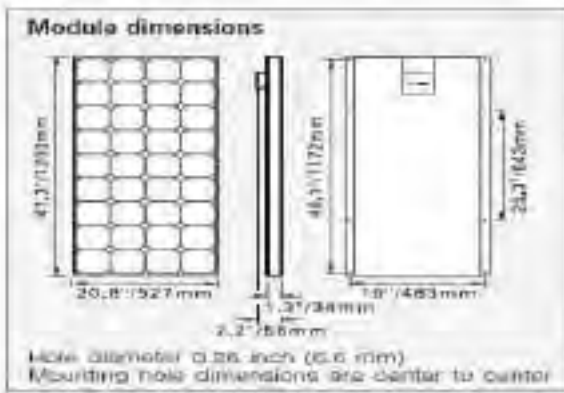
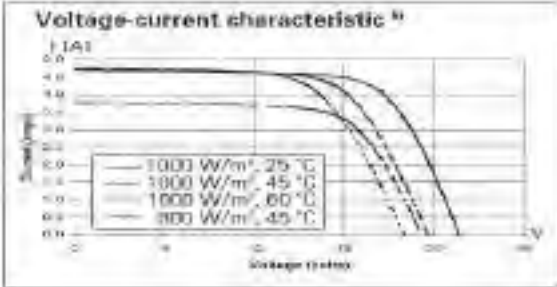
Module Weight:
 Module Weight: 20.0 lbs (9.1 kg)
 Maximum Weight: 25.0 lbs (11.3 kg)
 Minimum Weight: 15.0 lbs (6.8 kg)

Construction and Installation:
 1. Mounting holes are spaced 2.2 inches (56 mm) apart.
 2. The module is designed for use in a 12V system.
 3. The module is designed to be used in a variety of environments.
 4. The module is designed to be easy to install and maintain.

Solar module SP70

Electrical parameters		12V/6V
Maximum power rating P_{max} [W]		70
Rated current I_{mp} [A]		4.25 / 8.5
Rated voltage V_{mp} [V]		18.5 / 8.25
Short circuit current I_{sc} [A]		4.7 / 5.4
Open circuit voltage V_{oc} [V]		21.4 / 10.7
Thermal parameters		
NOCT ¹⁾ [°C]		45±2
Temp. coefficient: short circuit current		2.50 mA / °C
Temp. coefficient: open circuit voltage		-0.77 V / °C
Qualification test parameters ²⁾		
Temperature cycling range [°C]		-40 to +85
Humidity levels: damp heat [%RH]		85
Maximum system voltage [V]		600 (max. V _{oc} array)
Wind Loading PSF [N/m ²]		60 (2400)
Maximum distortion ³⁾ [%]		1.3
Relative impact [inches (mm)]		1.0 (25)
	MPH (m/s)	52 (23)
Weight Pounds (kg)		16.2 (7.3)

- 1) W_p (Watt peak) = Peak power (Minimum W_p = 65 Watts)
 Air Mass AM = 1.5
 Irradiance E_p = 1000 W/m²
 Cell temperature T_c = 25 °C
- 2) Normal Operating Cell Temperature at:
 Irradiance E_p = 600 W/m²
 Ambient temperature T_a = 20 °C
 Wind speed V_w = 1 m/s
- 3) Diagonal fitting of the module frame
- 4) Per IEC 1215 test requirements
- 5) 12 Volts configuration



Your address for photocopies from Siemens Solar

Siemens Solar



Photovoltaics is our passion

ET MODULE

ET-M53685	85Wp
ET-M53680	80Wp
ET-M53675	75Wp
ET-M53670	70Wp

EFFICIENCY

- Low voltage temperature coefficient allows higher power output at high-temperature condition
- High efficient, high reliable solar cells ensure our product output stability

MATERIALS

- Advanced EVA encapsulation system with triple-layer back sheet meets the most stringent safety requirements for high-voltage operation
- The sturdy, anodized aluminum frame allows the modules to be mounted on a variety of standard racking systems and to withstand harshest conditions
- Ultra reliable bypass diodes prevent damage through overheating due to shaded or defective cells
- Innovative, environmentally friendly packing method using pile-edges ensures modules arrive in perfect condition

BENEFITS

- Manufactured in an ISO 9001/2000 certified plant
- High efficiency, high safety, high reliability
- Output power tolerance of $\pm 3\%$
- 25-year limited warranty on power output, 5-year limited warranty on materials and workmanship



16-1203



ET SOLAR GROUP www.etsolar.com

ET Solar China

245, A2 World Trade Center Building,
87 Shant Road, Nanchang 330029, China
Tel: +86 25 8639 6956 Fax: +86 25 8639 3033
Email: sales@etsolar.com

ET Solar USA

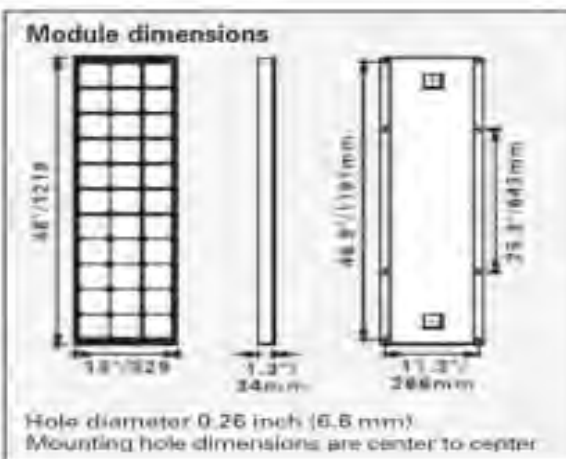
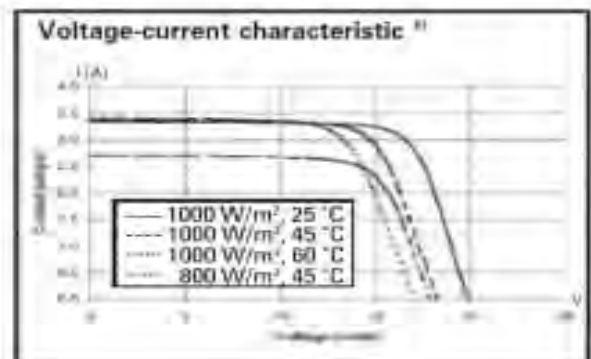
4950 Wynnwood Blvd, Suite 200,
Raleigh, NC 27608, USA
Tel: +1 919 400 9898 Fax: +1 919 400 9320
Email: sales@etsolar.com

ET Solar Europe

ET Solar GmbH, Marchfeldstrasse,
Lindenbergstr. 130 / 2 H, D-80335 München, Germany
Tel: +49 89 310040263 Fax: +49 89 319940408
Email: sales@etsolar.de
Italy Office Tel: +39 352 224088 Email: etsolar@stetnet.it

Solar module SM50-H		
Electrical parameters		
Maximum power rating P_{max}	[W _p] ¹⁾	50
Rated current I_{MPP}	[A]	3.15
Rated voltage V_{MPP}	[V]	15.9
Short circuit current I_{SC}	[A]	3.35
Open circuit voltage V_{OC}	[V]	19.8
Thermal parameters		
NOCT ²⁾	[°C]	45±2
Temp. coefficient: short-circuit current		1.2 mA / °C
Temp. coefficient: open-circuit voltage		-0.77 V / °C
Qualification test parameters⁴⁾		
Temperature cycling range	[°C]	-40 to +85
Humidity freeze, Damp heat	[%RH]	85
Maximum system voltage	[V]	600 (1000 V per IEC 61730)
Wind Loading PSF	[N/m ²]	50 [2400]
Maximum distortion ⁵⁾	[°]	1.2
Hailstone Impact	Inches [mm]	1.0 [25]
	MPH [m/s]	52 [v=23]
Weight	Pounds [kg]	11.5 [5.2]

- 1) W_p (Watt peak) = Peak power
(Minimum W_p = 45 Watts)
- Air Mass AM = 1.5
Irradiance E = 1000 W/m²
Cell temperature T_c = 25 °C
- 2) Normal Operating Cell Temperature at:
Irradiance E = 800 W/m²
Ambient temperature T_a = 20 °C
Wind speed W_w = 1 m/s
- 3) Diagonal lifting of the module plane
- 4) Per IEC 1215 test requirements
- 5) 12 Volt configuration



**ProCharger™-S
Junction-box**

Maximum cable diameter: 4 mm²

Type of protection: IP54

Your address for photovoltaics from Siemens Solar



KC85T

MODULO
FOTOVOLTAICO
POLICRISTALINO
DE ALTO
RENDIMIENTO



25 AÑOS DE GARANTIA



CARACTERISTICAS SOBRESALIENTES

- La avanzada tecnología e instalaciones fabriles automatizadas de Kyocera hacen posible estos módulos solares policristalinos que tienen una eficiencia de conversión de más del 16%.
- A fin de protegerlas contra las condiciones ambientales más severas, las celdas se encuentran encapsuladas entre una cubierta frontal de vidrio templado y láminas de material plástico (EVA) y una lámina de tedlar como cubierta posterior.
- La totalidad del laminado se encuentra dentro de un armazón de aluminio anodizado que asegura su resistencia estructural y facilidad de instalación.

USOS TÍPICOS

- Estaciones repetidoras de microondas y de radio
- Electrificación de pueblos en áreas remotas
- Instalaciones médicas en áreas rurales
- Corriente eléctrica para casas de campo
- Sistemas de comunicaciones de emergencia
- Sistemas de vigilancia de datos ambientales y de calidad del agua
- Faros, boyas y balizas de navegación marítima
- Bombeo para sistemas de riego, agua potable en áreas rurales y abrevaderos para el ganado
- Balizamiento para protección aeronáutica
- Sistemas de protección catódica
- Sistemas de desalinización
- Vehículos de recreo
- Señalización ferroviaria

ESPECIFICACIONES

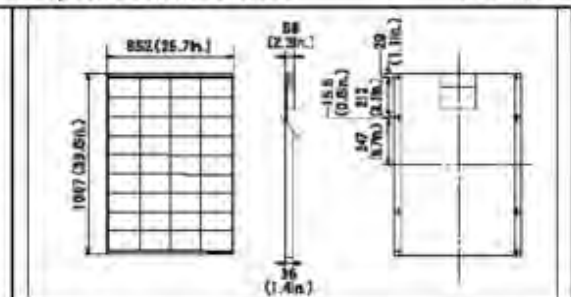
Especificaciones Eléctricas

MODELO	KC85T
Potencia de Salida Maxima	87.0 vatios
Tolerancia	+10% / -5%
Tensión óptima	17.4 voltios
Corriente óptima	5.02 amperios
Tensión de circuito abierto	21.7 voltios
Corriente de corto circuito	5.34 amperios
Largo	1007 mm (39.6 in.)
Ancho	652 mm (25.7 in.)
Espesor	58 mm (2.3 in.)
Peso	8.3 kg (18.3 lbs.)

Nota: Las especificaciones eléctricas indicadas corresponden a condiciones normalizadas de pruebas: 1 kW/m², masa de aire: 1.5 T temperatura de célula 25°C.

Especificaciones Físicas

(en mm)



Kyocera garantiza que la disminución de potencia no será mayor al 10 % de la potencia especificada para el módulo dentro de un plazo de 12 años y que no será mayor al 20 % dentro de un plazo de 25 años. Los valores de producción de potencia serán medidos conforme a las

ANEXO B: ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

Maquina de Control Numérico Computarizado CNC 3018

La máquina CNC 3018 300w dispone de:

- Cama de trabajo de 30x18 cm
- Estructura de aluminio ligero
- Actuadores del tipo Nema
- Movimientos suaves y controlados a través de ejes mecanizados
- Motor con potencia de 300w
- Modulo laser de 15w
- Módulo laser no ajustable
- Velocidad del motor no ajustable

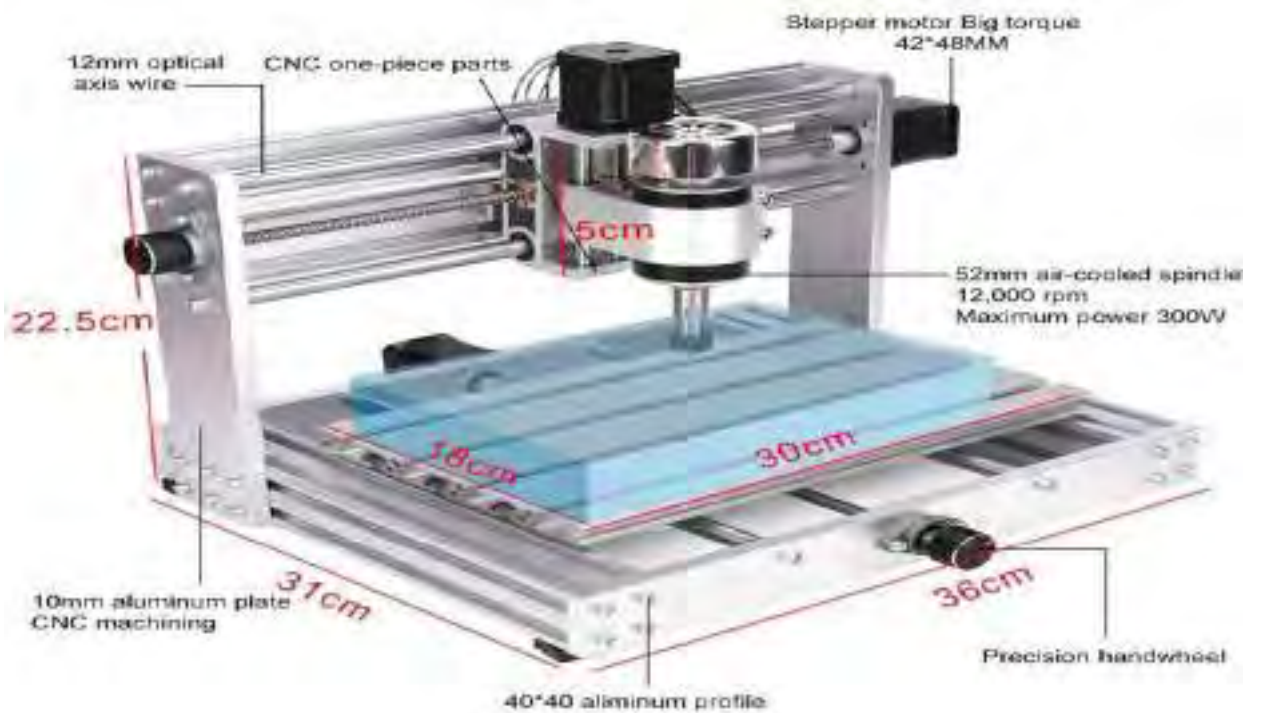
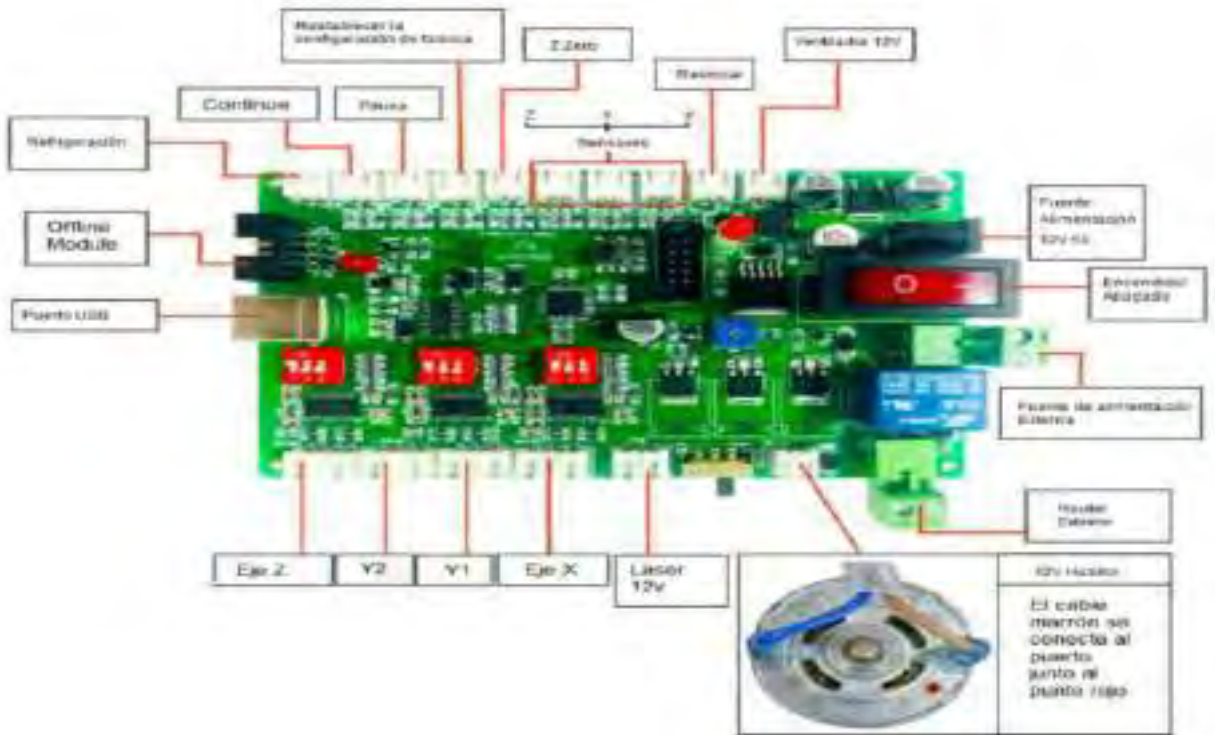
Especificaciones técnicas

- Adaptador alimentación: 127 VCA a 60Hz
- Potencia del láser: 15 w
- Potencia del motor: 300 w
- Longitud de onda laser: 450 nm
- Estructura: Fabricada de aluminio ligero
- Área de trabajo: 30x18 cm
- Ejes mecanizados: x, y, z
- Tipo de actuadores: Motores Nema
- Velocidad sin carga spindle: 12000 rpm
- Dimensiones de la máquina: (40x40x30) cm
- Software de control: Candle
- Software laser: Engraver Master y LaserGRBL
- Software PCB: CopperCAM y FlatCAM
- Sistema Operativo: Windows XP/ Win 7/ Win 8/ Win10

Componentes de la máquina

- Una CNC Modelo 3018
- Adaptador alimentación 127 v
- Cable USB de comunicación
- Módulo láser de 15 w
- Un Router 300 w
- Cable de alimentación AC
- Cables de conexión motores x, y, z y motor Spindle Router
- Cables de conexión laser
- Lentes de protección con estuche

DIAGRAMA DE CONEXIÓN



Pinza Amperimetrica Prasek Primium PR-54

PR50 Series		
Digital Clamp Meters		
PR-54		
Specifications		
Model		PR-54
AC Current (A)	40A/400A 40A/600A	±(2.5%+5)
DC Current (A)	40A/400A 40A/600A	±(2%+3)
AC Voltage (V)	4V/40V/400V/600V	±(1%+5)
DC Voltage (V)	400mV/4V/40V/400V/600V	±(0.8%+1)
Resistance (Ω)	400Ω/4KΩ/40KΩ/400KΩ/4MΩ/40MΩ	±(1%+2)
Capacitance (F)	4nF/40nF/400nF/4μF/40μF/100μF	
Frequency (Hz)	10Hz~1MHz 10Hz ~ 10MHz 10MHz	±(0.1%+3)
Temperature (°C)	-40 °C ~ 1000°C	
Features		
Display Count		9999
Auto Range		✓
Jaw Capacity		28mm
True RMS		✓
Duty Cycle	0.1%~99.9%	✓
Diode		✓
Auto Power Off		✓
Continuity Buzzer		✓
Low Battery Indication		✓
Data Hold		✓
Relative Mode		✓
MAX Mode		✓
Setup		✓
Input Impedance for DCV	Around 10MΩ	✓
General Characteristic		
Power	9V Battery (6F22)	
LCD Size	35.6X 18mm	
Product Color	Red and Grey	
Product Net Weight	260g	
Product Size	208mm X 76mm X30 mm	
Standard Accessories	PR-54 -Battery, Test Lead, Carrying Bag	
Standard Individual Packing	Gift Box, English Manual	
Standard Quantity Per Carton	40 PCs	
Standard Carton Measurement	540mm X 495mm X 335mm (0.09 CBM Per Standard Carton)	
Standard Carton Gross Weight	25Kg	



Solar Power Meter SM 206 - Solar



REFERENCE: SM-206

Range	1-3999 w/m ² (btu)
Resolution	0.1 w/m ²
Accuracy	±5% of reading
Functions	Memory peak, freezing reading
Features	LCD display
Power	9 VDC Battery

DESCRIPTION:

Located a meter radiation Solar Digital?

Meter portable digital solar (model SM206), a precision instrument for measurement of the radiation solar and other applications where solar energy is important. Measures directly no need for adjustments. Perfect for the owners, technicians and engineers.

Specification:

Dr. Meter Power Meter SM206 digital solar and solar radiation Pyrometer East Metro solar is an precision instrument for measurement of the solar radiation. Is used measurement of radiation solar, research solar experiments physical and optics, metrology, and agriculture. Also can be used for measure the intensity of light glass to verify Properties

Brief specifications

Error range	$\pm 10 \text{ W / m}^2$ [$\pm 3 \text{ Btu / (ft}^2 \cdot \text{h)}$] or $\pm 5\%$ of the measured value
Screen	$\pm 0.38 \text{ W / m}^2$ [$\pm 0.12 \text{ Btu / (ft}^2 \cdot \text{h)}$] / $^{\circ}\text{C}$ deviation to 25°C
Turn	3-3/4LCD maximum sample value numeric 3999
Screen Overload	: $\leq \pm 3\%$ / year
Sampling time	0.1 to 399.9 W / m^2 , 1-3999 W / m^2 , 0.1 to 399.9 $\text{Btu / (ft}^2 \cdot \text{h)}$, 1-3999 $\text{Btu / (ft}^2 \cdot \text{h)}$
Operating temperature and humidity	0.25s / time
Storage temperature and humidity	-10°C to 60°C <70% RH
Dimensions and weight	132 (L) x 60 (W) x 38 (H) MM
Weight	approx. . 150 g
Autonomy operation	Approx. 100 hours

Medidor de Temperatura y Humedad HTC - 1



Modelo	HTC - 1
Uso	Ambiental
Intervalo Temperatura	-10 °C a 50 °C - Resolución 0.1 °C
Intervalo Humedad relativa	10 %HR a 99 %HR - Resolución 1 %HR
Tamaño del instrumento	105 mm x 97 mm x 22 mm
Selector	°C / °F
Exactitud	+/- 1.0 °C +/- 5 %HR
Alimentación	1 batería "AAA" (incluida)
Fijación	Orificio al respaldo para ser colgado o soporte para sobreponer.
Display	Grande y de fácil lectura

ANEXO C: TABLAS

Tabla de Datos Brindados por la Estación SENAMHI del Distrito de Calca.

FECHA	Temperatura	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Humedad Relativa	Humedad Relativa Máxima	Humedad Relativa Mínima	Velocidad de Viento 10m	Dirección de viento 10m	Presión Atmosférica	lluvia	Radiación Solar
2020/07/02 00:00	6.9	7.8	5.9	71	76	65	0	218	720.9	0	0
2020/07/02 01:00	5.8	6.2	5.3	77	80	70	0.1	207	721	0	0
2020/07/02 02:00	4.7	6	4	80	83	76	0	198	720.8	0	0
2020/07/02 03:00	4.1	4.6	3.2	82	85	79	0	202	720.5	0	0
2020/07/02 04:00	4	4.7	3.3	80	83	77	0.4	205	720.5	0	0
2020/07/02 05:00	3.3	3.9	2.5	82	85	79	0	146	720.8	0	0
2020/07/02 06:00	2.3	2.8	1.6	86	89	82	0	222	721.4	0	0
2020/07/02 07:00	2.9	3.4	2.2	83	88	81	0	216	721.9	0	19.2
2020/07/02 08:00	3.5	5.9	2.7	80	83	70	0.7	157	722.5	0	307.3
2020/07/02 09:00	8.5	11.4	6	58	71	47	0.5	158	722.4	0	560.9
2020/07/02 10:00	13.5	15.7	11.3	43	48	39	0.4	76	721.7	0	730.2
2020/07/02 11:00	17	18.7	15.6	35	39	31	2.2	74	720.6	0	859.4
2020/07/02 12:00	20.2	21.6	18.7	27	31	22	2.5	62	719.4	0	842.8
2020/07/02 13:00	23.1	24.3	21.4	19	23	17	1.4	334	718	0	820.5
2020/07/02 14:00	24.8	25.8	23.6	17	18	16	2.7	67	716.6	0	708.1
2020/07/02 15:00	25.9	26.8	24.3	23	17	18	1.3	17	715.5	0	448.2
2020/07/02 16:00	25.2	26.8	22.8	24	16	15	3	20	715.1	0	43.7
2020/07/02 17:00	21.3	22.8	20.2	25	31	16	5.8	32	715.5	0	19.3
2020/07/02 18:00	18.9	20.4	17.6	37	41	31	3.7	94	716.5	0	0
2020/07/02 19:00	16.7	17.6	15.9	44	46	41	5.8	278	717.6	0	0
2020/07/02 20:00	15.5	16	14.1	48	51	46	1.5	111	718.4	0	0
2020/07/02 21:00	12.2	14.1	10.7	57	61	51	0.4	42	719.3	0	0
2020/07/02 22:00	9.8	10.8	8.7	65	71	60	0.1	34	719.9	0	0
2020/07/02 23:00	8.2	8.8	7.3	73	79	66	0	250	720.2	0	0
2020/07/03 00:00	6.8	7.5	6.2	77	82	72	0	210	720.2	0	0
2020/07/03 01:00	6.1	6.9	5.8	81	84	74	0	296	720.3	0	0
2020/07/03 02:00	5.1	5.8	4.5	84	88	79	0	227	720.3	0	0
2020/07/03 03:00	4.4	4.8	4	87	91	83	0	207	720.1	0	0
2020/07/03 04:00	4.1	4.6	3.8	89	92	83	0.1	196	720.1	0	0
2020/07/03 05:00	5.4	5.6	4.4	83	90	80	0	207	720.6	0	0
2020/07/03 06:00	5.8	6.1	5.6	79	82	76	0	206	721	0	0
2020/07/03 07:00	6	6.5	5.8	76	76	72	0	203	721.5	0	47.7
2020/07/03 08:00	7.7	9.7	6.5	66	73	56	1.2	180	721.9	0	377.7
2020/07/03 09:00	10.8	12.9	9.2	55	58	50	0.4	72	722	0	598
2020/07/03 10:00	13.8	15.2	12.2	49	53	45	2	47	721.5	0	710.9
2020/07/03 11:00	16.7	18.7	14.8	42	47	37	2.9	47	720.6	0	849.2
2020/07/03 12:00	19.6	20.9	17.1	34	40	28	3.5	33	719.2	0	829.9
2020/07/03 13:00	21.6	23.3	20.6	26	30	17	3.8	42	717.8	0	824.8
2020/07/03 14:00	23.5	23.9	22.8	15	20	18	6.4	49	716.6	0	714.3
2020/07/03 15:00	23.5	23.9	23.2	15	16	15	7.1	38	715.6	0	449.6
2020/07/03 16:00	22.9	23.8	21.6	19	24	15	6.4	32	715.2	0	43.6
2020/07/03 17:00	20.7	21.6	19.8	27	30	23	5.5	62	715.1	0	18.2
2020/07/03 18:00	18.8	19.7	17.9	33	36	30	4.2	74	716	0	0
2020/07/03 19:00	17.3	18.1	16.4	38	42	35	2.8	97	717	0	0
2020/07/03 20:00	15.8	16.6	14.1	44	48	42	2.7	53	717.9	0	0
2020/07/03 21:00	12.5	14.1	11	51	54	48	1.1	30	718.8	0	0
2020/07/03 22:00	10.4	11.4	8.8	53	60	50	0	144	719.4	0	0
2020/07/03 23:00	9	10	8.1	58	63	53	0.7	56	719.7	0	0
2020/07/04 00:00	7.6	9	6.8	65	71	55	0	72	719.9	0	0
2020/07/04 01:00	6.4	6.9	5.9	72	77	68	0	133	720.4	0	0
2020/07/04 02:00	5.5	6.2	5	77	81	73	0.3	57	720.5	0	0
2020/07/04 03:00	5.3	5.7	4.6	78	81	75	0	345	720.2	0	0
2020/07/04 04:00	4.5	5.5	3.7	83	86	79	0	220	720	0	0
2020/07/04 05:00	3.5	4.2	2.9	87	90	82	0	141	720.4	0	0
2020/07/04 06:00	3.5	4.2	3.2	88	89	84	0	226	720.9	0	0
2020/07/04 07:00	3.8	5	3.4	86	87	83	0	33	721.4	0	55.2
2020/07/04 08:00	6.6	7.7	5	75	85	66	0	125	722.1	0	113.6
2020/07/04 09:00	10.6	13.4	7.7	57	67	48	0.3	177	722.1	0	563.2
2020/07/04 10:00	14.4	15.8	12.2	49	53	45	2.6	51	721.6	0	733.5
2020/07/04 11:00	17.1	18.9	15.7	43	47	38	1.6	69	720.6	0	838
2020/07/04 12:00	19.8	21.3	18.2	34	39	29	3	73	719.2	0	833.9
2020/07/04 13:00	22.8	24.2	21	23	29	19	2.2	11	717.6	0	806.1
2020/07/04 14:00	24.7	25.6	23.5	18	20	16	2.7	353	716.3	0	686.9
2020/07/04 15:00	24.9	25.8	24.3	17	18	16	5.2	55	715.3	0	439.6
2020/07/04 16:00	24	24.5	23	17	20	16	5.9	53	714.8	0	45.2
2020/07/04 17:00	21.8	23	20.3	24	30	18	6.3	58	714.8	0	20.4
2020/07/04 18:00	19.1	20.3	17.9	35	40	30	5.1	44	715.8	0	0
2020/07/04 19:00	17	17.9	16.1	43	46	40	2.8	152	716.9	0	0
2020/07/04 20:00	15.4	16.1	14.8	48	50	46	1.7	105	717.9	0	0
2020/07/04 21:00	13.3	15	11.5	54	60	50	3.1	16	718.7	0	0
2020/07/04 22:00	10.7	11.5	9.9	58	62	55	0.9	52	719.3	0	0
2020/07/04 23:00	9.6	10.3	8.8	63	70	59	0.2	4	719.7	0	0

Comparación de Sensores de Temperatura en la Ciudad de Quillabamba

HORA	STH31	DHT22	LM35
11:00	27.66	28.2	27.5
11:01	27.69	28.2	27.5
11:02	27.48	28.1	27.31
11:03	27.52	28.2	27.19
11:04	27.57	28.2	27.25
11:05	27.75	28.3	27.38
11:06	27.71	28.3	27.38
11:07	28.05	28.5	27.75
11:08	27.93	28.5	27.75
11:09	27.82	28.5	27.81
11:10	28.03	28.5	27.81
11:11	28.03	28.5	27.88
11:12	27.92	28.5	27.88
11:13	27.93	28.4	27.69
11:14	27.92	28.6	27.75
11:15	27.92	28.5	27.62
11:16	27.72	28.4	27.69
11:17	27.57	28.4	27.44
11:18	27.24	28.2	26.94
11:19	27.34	28.1	26.94
11:20	27.44	28.1	27.12
11:21	27.37	28	27.19
11:22	27.42	28.1	27.19
11:23	27.31	28.1	27.06
11:24	27.66	28.2	27.38
11:25	27.71	28.3	27.56
11:26	26.72	28	26.94
11:27	27.49	27.9	27.25
11:28	28	28.1	27.81
11:29	28.05	28.3	27.94
11:30	28.14	28.4	28
11:31	27.62	28.4	27.5
11:32	27.86	28.4	27.62
11:33	28.3	28.5	28.19
11:34	27.78	28.6	27.88
11:35	27.65	28.5	27.56
11:36	27.44	28.4	27.5
11:37	27.78	28.4	27.69

11:38	27.37	27.9	27.31
11:39	27.79	28.1	27.81
11:40	28.2	28.3	28.12
11:41	27.29	28.1	27.62
11:42	27.92	28.1	27.81
11:43	28.2	28.3	28.19
11:44	27.92	28.3	27.88
11:45	27.92	28.5	27.88
11:46	28.03	28.6	27.94
11:47	27.92	28.7	27.81
11:48	27.95	28.7	27.75
11:49	28.31	28.8	28.12
11:50	28.41	28.9	28.19
11:51	28.4	29	28.38
11:52	27.8	28.8	28.12
11:53	27.34	28.3	27.5
11:54	27.76	28.3	27.88
11:55	27.65	28.4	27.88
11:56	27.95	28.3	27.94
11:57	27.95	28.5	28.19
11:58	27.35	28.3	27.62
11:59	27.64	28.3	27.88
12:00	27.65	28.1	27.69
12:01	28	28.2	28.19
12:02	28.02	28.2	28.19
12:03	27.99	28.3	28.12
12:04	27.78	28.3	28
12:05	27.89	28.5	28.12
12:06	27.99	28.5	28.06
12:07	28.1	28.6	28.25
12:08	28.16	28.6	28.44
12:09	28.5	28.8	28.75
12:10	28.5	28.9	28.62
12:11	27.62	28.8	28.25
12:12	27.72	28.5	27.94
12:13	28.12	28.4	28.19
12:14	28.43	28.6	28.69
12:15	28.48	28.8	28.75
12:16	28.34	28.9	28.69

12:17	28.14	28.9	28.44
12:18	28.26	29	28.44
12:19	28.22	29	28.69
12:20	28.27	28.9	28.75
12:21	27.4	28.7	27.88
12:22	28.16	28.8	28.12
12:23	28.54	28.9	28.88
12:24	28.44	29	29.06
12:25	28.98	29.2	29.25
12:26	29.25	29.4	29.88
12:27	28.5	29.4	29.5
12:28	28.56	29.3	29.19
12:29	28.28	29.2	28.81
12:30	28.34	29.2	28.81
12:31	28.74	29.2	29.06
12:32	28.75	29.3	29.19
12:33	28.75	29.3	29.25
12:34	28.52	29.3	29.06
12:35	28.61	29.4	29.19
12:36	28.48	29.3	29.06
12:37	28.06	29.1	28.75
12:38	28.98	29.1	29.38
12:39	28.64	29.2	29.25
12:40	28.55	29.2	29.06
12:41	28.61	29.3	29.38
12:42	28.88	29.4	29.31
12:43	28.4	29.3	29.06
12:44	28.78	29.4	29.12
12:45	28.79	29.5	29.31
12:46	28.1	29.3	28.69
12:47	28.65	29.1	29.06
12:48	28.6	29.2	29.31
12:49	28.85	29.2	29.25
12:50	28.5	29.3	29.31
12:51	28.85	29.3	29.38
12:52	28.99	29.5	29.75
12:53	29.09	29.6	30.06
12:54	29.1	29.6	30.06
12:55	29.1	29.6	30

12:56	28.75	29.4	29.62
12:57	28.81	29.5	29.62
12:58	29.2	29.6	30
12:59	28.89	29.6	30
13:00	28.78	29.6	29.69
13:01	28.45	29.3	29.06
13:02	29.4	29.4	30
13:03	29.16	29.5	29.94
13:04	29.28	29.6	30.06
13:05	29.57	29.8	30.44
13:06	29.05	29.8	29.94
13:07	28.45	29.6	29.44
13:08	28.56	29.4	29.38
13:09	28.28	29	28.94
13:10	28.41	28.9	29
13:11	28.72	29	29.25
13:12	28.82	29.1	29.62
13:13	29.14	29.2	30.12
13:14	28.86	29.3	29.81
13:15	29.67	29.5	30.56
13:16	29.17	29.7	30.69
13:17	29.25	29.7	30.38
13:18	29.36	29.8	30.69
13:19	29.39	29.8	30.75
13:20	29.63	29.9	30.81
13:21	29.84	30	31.12
13:22	30.14	30.2	31.44
13:23	30.08	30.4	31.38
13:24	30.07	30.5	31.56
13:25	29.91	30.6	31.69
13:26	29.97	30.6	31.62
13:27	30.02	30.6	31.5
13:28	29.37	30.4	31.31
13:29	29.51	30.2	31.25
13:30	29.57	30.1	31.62
13:31	29.85	30.1	32.38
13:32	30.09	30.2	33.06
13:33	29.91	30.3	32.81
13:34	29.99	30.4	33.38

13:37	29.39	30.5	32.88
13:38	29.43	30.3	32.81
13:39	29.49	30.3	32.81
13:40	29.94	30.2	33.25
13:41	29.94	30.3	33.44
13:42	29.85	30.4	33.44
13:43	29.88	30.4	33.56
13:44	29.9	30.3	33.62
13:45	29.74	30.3	33.62
13:46	28.96	29.9	32.31
13:47	29.19	29.7	32.38
13:48	29.99	29.8	34
13:49	30.18	30.1	34.25
13:50	29.91	30.3	33.88
13:51	29.63	30.2	33.31
13:52	29.37	30.1	32.94
13:53	29.84	30.1	33.19
13:54	29.78	30.2	33.06
13:55	29.39	30	32.19
13:56	29.56	30.1	32.38
13:57	30.04	30.1	32.75
13:58	29.88	30.2	32.62
13:59	30.23	30.4	32.94
14:00	30.05	30.5	32.44
14:01	30.3	30.6	32.81
14:02	30.11	30.8	32.81
14:03	30.28	30.8	32.81
14:04	30.35	30.7	32.62
14:05	30.33	30.8	32.69
14:06	29.74	30.7	32.44
14:07	30.22	30.7	32.56
14:08	30.46	30.9	33
14:09	30.45	31	33.06
14:10	30.77	31.2	33.31
14:11	30.15	31.1	32.94
14:12	29.9	30.8	32.38
14:13	29.87	30.4	32.5
14:14	30.14	30.4	33.19
14:15	29.88	30.5	32.94

14:18	30.18	30.5	33.44
14:19	30.35	30.7	34.25
14:20	30.57	30.9	34.31
14:21	30.08	30.9	34
14:22	30.01	30.8	33.38
14:23	29.56	30.6	33
14:24	29.91	30.6	33.62
14:25	30.22	30.6	34.12
14:26	30.02	30.7	34
14:27	30.5	30.9	34.38
14:28	31.01	31	35
14:29	30.76	31.2	34.62
14:30	30.74	31.3	34.75
14:31	30.66	31.5	35
14:32	30.45	31.5	34.5
14:33	30.38	31.4	34.19
14:34	30.74	31.3	34.56
14:35	30.32	31.3	33.56
14:36	30.16	31.2	33.31
14:37	30.39	31.1	33.62
14:38	30.6	31.1	34.19
14:39	30.33	31.1	33.81
14:40	30.16	30.9	33.31
14:41	29.71	30.7	32.56
14:42	29.61	30.4	32.25
14:43	28.81	30.1	31.69
14:44	29.46	29.9	32.25
14:45	29.37	29.9	32.06
14:46	29.97	30	32.81
14:47	30.05	30.2	33.12
14:48	30.08	30.3	33.31
14:49	29.6	30.4	33.06
14:50	29.23	30.1	32.25
14:51	29.2	30	32.38
14:52	29.78	30.1	33
14:53	29.81	30.2	32.75
14:54	30.07	30.3	33.19
14:55	30.46	30.5	34
14:56	30.2	30.7	33.81

Cuadro General del Estudio Realizado

Nº	Localidad	Provincia	Proyecto	Nº Aprox. de años en funcionamiento	Fecha y Hora	Marca de Panel FV.	Tipo y Potencia del Panel FV.	Coordenadas	Area Total de la celula FV. (m2)	Altitud (msnm)	Irradiancia (w/m2)	Temperatura Ambiental (°C)	Humedad Relativa (%)	Voltaje en circuito abierto (Voc)	Corriente en Circuito Cerrado (Icc)	Voltaje de maxima potencia (V)	Corriente de Maxima Potencia (A)	Potencia Maxima (W)	Eficiencia (%)
1	QUILLIHUARA	CANAS	FITEL 2	20	08/07/2021 12:25 - 12:41	SIEMENS	MONO 70W	14.5516675 71.429722W	0.4970	3950	1152.3	12.04	17.33	20.69	3.77	16.273	3.064	49.86	8.71
2	CHAÑI	ESPINAR	FITEL 2	20	09/07/2021 10:08-11:08	SIEMENS	MONO 70W	14.5780565 71.420556W	0.4970	4010	1048.7	13.24	18.5	20.62	3.74	16	2.88	46.08	8.84
3	LIVINCAYA	CANCHIS	FITEL 2	20	14/07/2021 12:22-12:32	SIEMENS	MONO 70W	14.2077785 71.244722W	0.4970	3665	1085.14	17.87	24.58	20.71	3.62	16.38	2.784	45.60	8.46
4	PATACCALASAYA	CANCHIS	FITEL 2	20	16/07/2020 12:13-12:25	SIEMENS	MONO 70W	14.2713895 71.160556W	0.4970	3970	1015.46	14.84	23.85	19.92	4.06	13.74	3.14	43.13	8.55
5	CCANCCAHUA	CANCHIS	FITEL 2	20	17/07/2020 12:23-12:33	SIEMENS	MONO 70W	14.1975005 71.245556W	0.4970	3752	1028.99	18.87	23.31	19.48	4.06	12.35	3.56	43.97	8.60
6	HUAYLLABAMBA	PAUCARTAMBO	FITEL 2	20	22/07/2020 12:40-13:00	SIEMENS	MONO 70W	13.5152785 71.685278W	0.4970	3708	1059.29	19.14	12.58	19.52	4.47	12.44	3.85	47.89	9.10
7	TITO 01	QUISPICANCHI	FITEL 2	20	10/08/2021 12:37-12:52	SIEMENS	MONO 70W	13.7725005 71.574167W	0.4970	3174	1004.38	25.22	12.29	20.33	4.76	11.11	3.63	40.33	8.08
8	URINSAYA	ESPINAR	FITEL 2	20	25/07/2021 12:37-12:56	SIEMENS	MONO 70W	14.7355565 71.628333W	0.4970	3969	1004.8	21.21	12.41	20.31	4.29	14.26	3.14	44.78	8.97
9	CHAHUAYTIRE	CALCA	FITEL 2	20	31/07/2021 11:00-11:12	SIEMENS	MONO 70W	13.3894445 71.773611W	0.4970	3806	1071.2	20.61	19.2	19.96	3.94	15.3	3.08	47.12	8.85
10	RANRACCASA PV.01	PARURO	FITEL 2	20	09/07/2021 12:38-12:45	SIEMENS	MONO 70W	13.6866675 71.903333W	0.4970	3826	909.99	27	18.8	19.88	3.27	16.04	2.44	39.1376	8.65
11	RANRACCASA PV.02	PARURO	FITEL 2	20	09/07/2021 13:05-13:10	SIEMENS	MONO 70W	13.6866675 71.903333W	0.4970	3826	909.66	29.22	18.73	19.92	3.7	14.04	3.26	45.7704	10.12
12	RANRACCASA PV.03	PARURO	FITEL 2	20	09/07/2021 13:15-13:20	SIEMENS	MONO 70W	13.6866675 71.903333W	0.4970	3826	937.34	28.9	16.11	19.91	2.77	11.58	2.8	32.424	6.96
13	PUMAPUGIO PV.01	CHUMBIVILCAS	FITEL 2	20	20/07/2021 11:59-12:10	SIEMENS	MONO 70W	14.0683335 71.995833W	0.4970	4358	1096.63	17.25	19.62	20.82	4.19	14.18	3.26	46.2268	8.48
14	PUMAPUGIO PV.02	CHUMBIVILCAS	FITEL 2	20	20/07/2021 12:50-12:55	SIEMENS	MONO 70W	14.0683335 71.995833W	0.4970	4358	1003.78	17.16	18.09	10.14	4.04	6.54	3.4	22.236	4.46
15	POMATALES	ANTA	FITEL 2	10	21/07/2020 13:20-13:30	KYOCERA	POLI 87W	13.3272225 72.232500W	0.6300	3030	980.16	23.59	13.94	19.45	5.41	15.21	4.82	73.31	11.87
16	SANTA LUCIA	ACOMAYO	FITEL 2	20	5/08/2021 11:38-11:48	SIEMENS	MONO 70W	14.0672115 71.704143W	0.4970	3592	1046.04	21.35	26.28	20.13	4.12	14.46	3.21	46.42	8.93
17	SAN JUAN	ACOMAYO	FITEL 2	20	5/08/2021 13:40-13:50	SIEMENS	MONO 70W	14.115785 71.66460W	0.4970	3860	1019.06	23.02	28.76	20.01	4.15	14.08	3.03	42.66	8.42
18	HUAYLLAYOC PV.01	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	10	09/07/2021 11:59-12:02	TOTAL ENERGIE	POLI 80W	12.8083065 72.686022W	0.5600	966	1004.54	44.51	24.26	19.38	3.68	15.13	2.59	39.19	6.97
19	HUAYLLAYOC PV.02	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	10	09/07/2021 11:40-11:50	TOTAL ENERGIE	POLI 80W	12.8083065 72.686022W	0.5600	986	1007.64	43.69	24.99	19.31	3.43	15.06	2.37	35.69	6.32
20	GUAYANAY PV.01	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	10	10/07/2021 11:07-11:17	TOTAL ENERGIE	POLI 80W	12.8113645 72.65599W	0.5600	1550	1003.64	31.8	37.24	19.41	3.71	15.74	3	47.22	8.40
21	GUAYANAY PV.02	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	10	10/07/2021 11:07-11:18	TOTAL ENERGIE	POLI 80W	12.8113645 72.65599W	0.5600	1550	995.54	31.9	36.81	19.3	3.42	15.03	2.7	40.58	7.28
22	GUAYANAY PV.03	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	10	10/07/2021 11:07-11:19	TOTAL ENERGIE	POLI 80W	12.8113645 72.65599W	0.5600	1550	1022.52	33.3	35.17	19.44	3.7	15.08	3.2	48.26	8.43
23	OTARI NATIVOS PV.01	LA CONVENCIÓN	FITEL 14	10	17/07/2021 11:25-11:30	ET SOLAR	MONO 85W	12.4608335 73.856667W	0.5620	575	973.36	32.3	42.47	19.65	4.76	13.35	3.99	53.27	9.74
24	OTARI NATIVOS PV.02	LA CONVENCIÓN	FITEL 14	10	17/07/2021 12:06-12:12	ET SOLAR	MONO 85W	12.4608335 73.856667W	0.5620	575	981.51	38.32	34.63	19.45	5.04	13.63	4.62	62.97	11.42
25	CUMPIRUSHIATO PV.01	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	12/07/2021 12:47-12:50	SIEMENS	MONO 70W	12.6177785 73.104444W	0.4970	626.8	976.66	41.72	34.7	18.23	2.14	8.86	1.33	11.78	2.43
26	CUMPIRUSHIATO PV.02	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	12/07/2021 12:59-13:03	SIEMENS	MONO 70W	12.6177785 73.104444W	0.4970	626.8	1065.69	44.22	31.46	18.6	4.16	12.83	3.38	43.37	8.19
27	KEPASHIATO ALTO	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	10	13/07/2021 11:28-11:32	SIEMENS	MONO 70W	12.6519445 73.192500W	0.4970	970	824.67	41.78	33.71	18.79	3.24	10.19	1.58	16.10	3.93
28	SANTUSHARI PV.01	LA CONVENCIÓN	FITEL 14	10	15/07/2021 12:05-12:08	SIEMENS	MONO 77W	12.3147225 73.941944W	0.5400	578.6	813.8	35.38	42.66	19.06	3.13	15.18	2.96	44.93	10.22
29	SANTUSHARI PV.02	LA CONVENCIÓN	FITEL 14	10	15/07/2021 11:56-12:01	SIEMENS	MONO 77W	12.3147225 73.941944W	0.5400	578.6	825.23	35.38	37.06	19.23	4.12	13.83	3.2	44.26	9.93
30	OTARI SAN MARTIN	LA CONVENCIÓN	FITEL 14	10	18/07/2021 13:15-13:20	SIEMENS	MONO 77W	12.4786115 73.843056W	0.5400	588.4	1003.03	34.64	54.86	19.53	3.52	15.82	3.21	50.78	9.38
31	KITERINA ALTA	LA CONVENCIÓN	FITEL 14	10	3/09/2021 12:52-12:58	SIEMENS	MONO 77W	12.9294445 73.528389W	0.5400	751	998.76	42.94	42.47	19.16	4.1	14.7	3.45	50.72	9.40
32	UNION VISTA ALEGRE	LA CONVENCIÓN	FITEL 14	10	4/09/2021 13:02-13:09	SIEMENS	MONO 77W	12.7655565 73.623889W	0.5400	684.6	1008.23	41.63	45.39	19.2	4.08	14.26	3.57	50.91	9.35
33	SANTA ROSA PV.01	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	12/08/2021 13:20-13:30	SIEMENS	MONO 50W	13.0332445 72.626194W	0.3600	1233	1006.59	33.47	36.63	19.39	2.81	11.25	2.17	24.41	6.74
34	SANTA ROSA PV.02	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	12/08/2021 13:32-13:38	SIEMENS	MONO 50W	13.0332445 72.626194W	0.3600	1233	1001.8	33.84	36.43	19.28	2.73	10.98	2.17	23.83	6.61
35	SICRE PV.01	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	13/08/2021 11:22-11:28	SIEMENS	MONO 50W	12.9971585 72.535053W	0.3600	1698	991.51	34.57	35.99	19.5	2.91	11.3	2.22	25.09	7.03
36	SICRE PV.02	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	13/08/2021 11:35-11:40	SIEMENS	MONO 50W	12.9971585 72.535053W	0.3600	1698	1004.84	35.52	34.08	19.45	2.74	11.11	2.18	24.22	6.70
37	HUALLPAMAYTA	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	14/08/2021 12:18-12:27	SIEMENS	MONO 50W	12.954695 72.63778W	0.3600	1454	1028.92	36.32	38.2	19.28	2.8	11.73	2.16	25.34	6.84
38	SULLUCUYOC	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	15/08/2021 12:50-12:58	SIEMENS	MONO 50W	13.040725 72.69608W	0.3600	1472	1039.27	37.25	43.03	19.21	2.84	10.94	2.25	24.62	6.58
39	CHAUPIMAYO B	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	11/07/2021 11:30-11:40	SIEMENS	MONO 50W	12.8557005 72.737483W	0.3600	1286	240.12	33.35	40.63	19.01	0.91	10.59	0.82	8.68	10.05
40	PROGRESO	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	17/08/2021 11:45-11:51	SIEMENS	MONO 50W	12.632185 72.98465 W	0.3600	628	1004.3	37.76	42.13	19.2	2.97	10.12	2.36	23.85	6.60
41	PROGRESO	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	17/08/2021 12:02-12:07	SIEMENS	MONO 50W	12.632185 72.98465 W	0.3600	628	1017.23	39.55	40.22	19.14	2.91	10.02	2.33	23.33	6.37
42	PANEL DE PRUEBA 01	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	10/08/2020 12:03-12:13	SIEMENS	MONO 50W	13.512428 5 71.951486W	0.3600	3442	1098.2	32	48	19.47	3.96	10.13	2.69	27.25	6.89
43	PANEL DE PRUEBA 02	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	23/08/2020 12:32-12:42	SIEMENS	MONO 50W	13.512428 5 71.951486W	0.3600	3442	1112.2	25	32	19.92	3.24	10.11	2.65	26.79	6.69
44	PANEL DE PRUEBA 03	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	24/08/2020 11:31-11:41	SIEMENS	MONO 50W	13.512428 5 71.951486W	0.3600	3442	1143.94	19.8	32.4	19.9	3.75	10.52	2.61	27.46	6.67
45	PANEL DE PRUEBA 04	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	25/08/2020 11:54-12:04	SIEMENS	MONO 50W	13.512428 5 71.951486W	0.3600	3442	1133.14	22.23	17	19.4	3.8	11.28	2.18	24.59	6.03
46	PANEL DE PRUEBA 05	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	26/08/2020 11:54-12:04	SIEMENS	MONO 50W	13.512428 5 71.951486W	0.3600	3442	1122.62	23.39	16.69	18.86	3.13	12.94	2.13	27.56	6.82
47	PANEL DE PRUEBA 06	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	1/08/2020 11:25-11:3	SIEMENS	MONO 77W	13.512428 5 71.951486W	0.5400	3442	1072.19	25.93	6.7	19.66	4.98	14.36	4.29	61.60	10.64
48	PANEL DE PRUEBA 07	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	2/08/2020 11:56-12:06	KYOCERA	POLI 51W	13.512428 5 71.951486W	0.3600	3442	1115.42	26.77	6.45	19.28	3.32	13.92	2.86	39.81	9.91
49	PANEL DE PRUEBA 08	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	3/08/2020 13:08-13:18	KYOCERA	POLI 51W	13.512428 5 71.951486W	0.3600	3442	1086.4	26.39	4.61	19.13	3.15	14.22	2.944	41.86	10.70
50	PANEL DE PRUEBA 09	LA CONVENCIÓN	FITEL 2	20	4/08/2020 11:44-11:54	KYOCERA	POLI 51W	13.512428 5 71.951486W	0.3600	3442	1081.36	25.37	6.34	19.31	3.44	14.77	2.97	43.86	11.27

ANEXO D: FOTOGRAFIAS Y DIAGRAMAS ESQUEMATICOS

Diagrama Esquemático del Sistema de Medición de Potencia

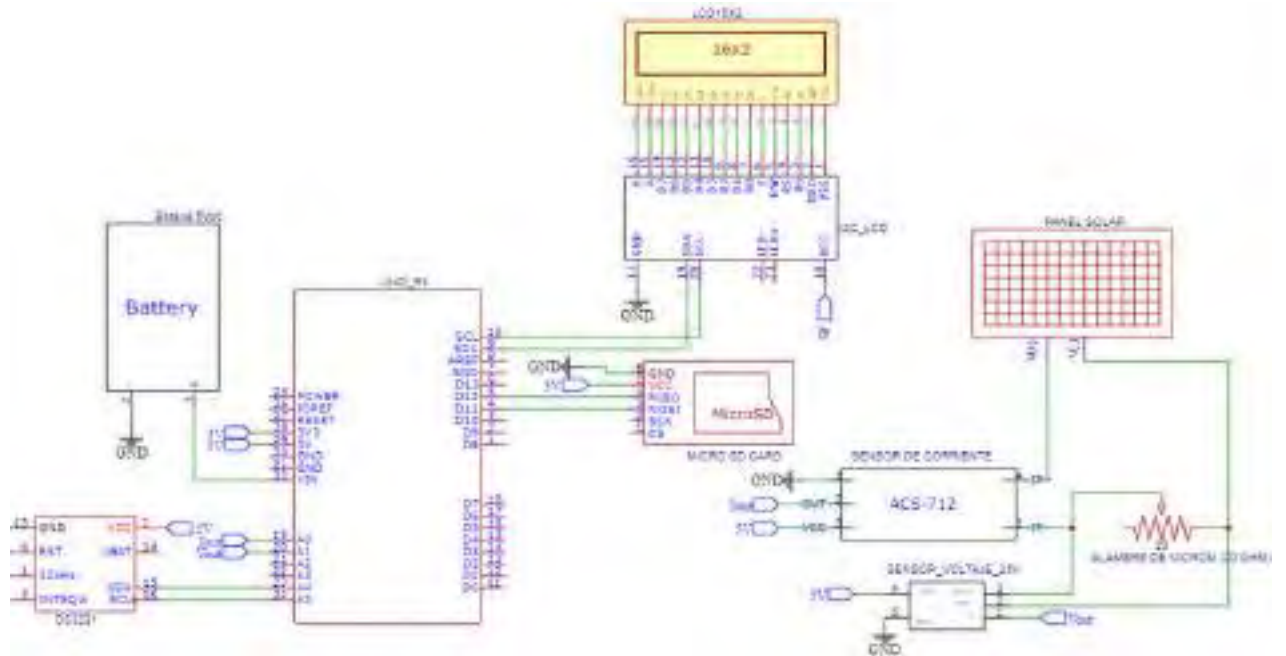
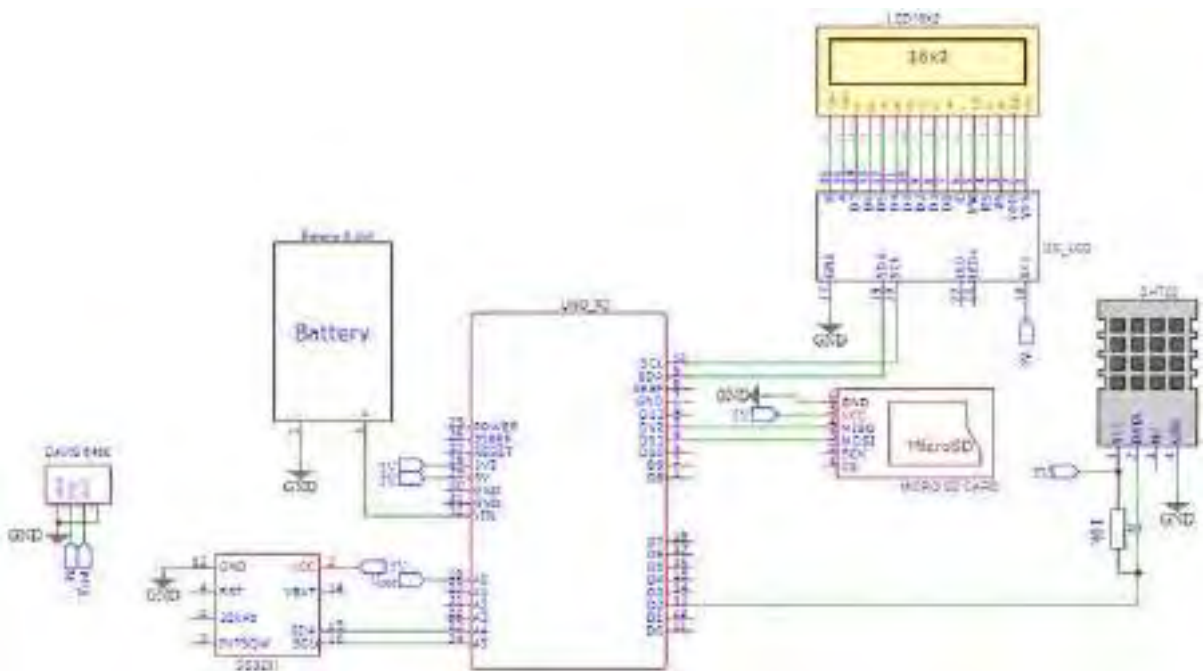


Diagrama Esquemático del Sistema de Medición de Variables Ambientales



Implementacion del Sistema de Medición de Variables Ambientales y Potencia



Proceso de Calibración en Laboratorio del Sistema de Medición de Potencia



Calibracion Constante en Campo del Sistema de Medicion de Potencia



Proceso de Calibracion del Sistema de Medicion de Variables Ambientales Tomando como Patron la Estacion Meteorologica de SENAMHI del Distrito de Calca.



Fotografía de las Pruebas Realizadas en Base Antes de Salir al Estudio a Campo.



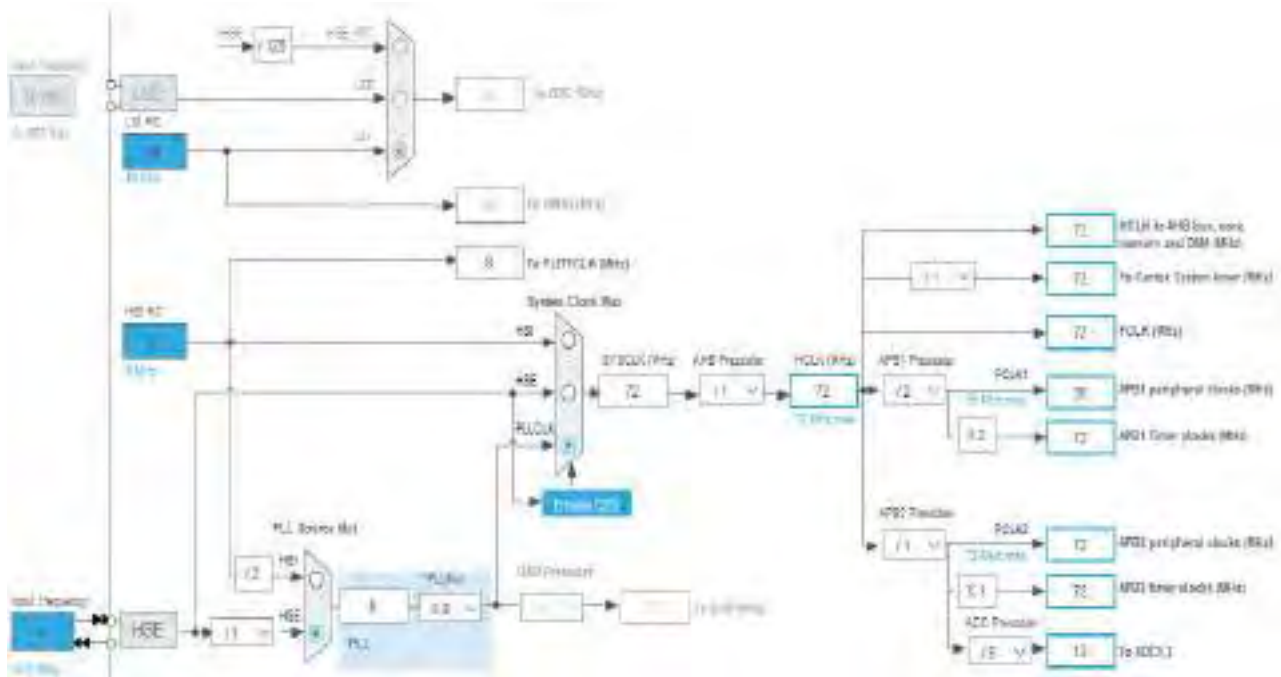
Fotografía Sobre la Metodología de Mica Transparente Aplicada para el Cálculo del Área de la Célula Solar



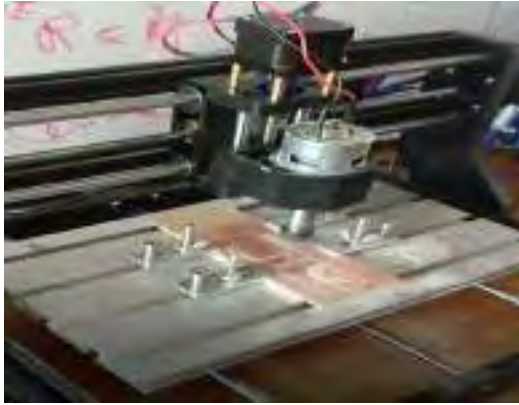
Fotografía de la Configuración de Pin Out del STM32T103C8T6



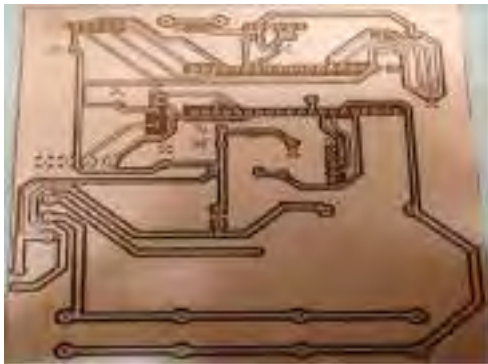
Configuración de Clock del STM32T103C8T6



Fotografía del Proceso de Impresión de la Placa y Cubierta Externa



Fotografía de la Placa Impresa y Sistema Implementado



Fotografía del Sistema Implementado



Figura de Corriente vs Voltaje en el Proceso de Carga del Capacitor

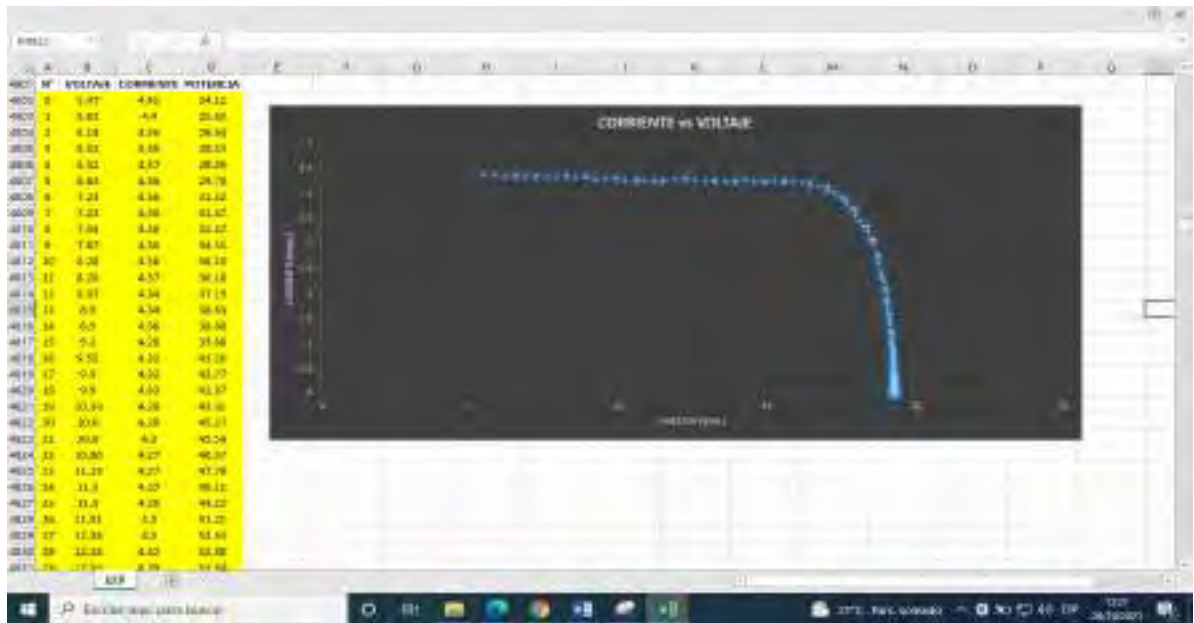
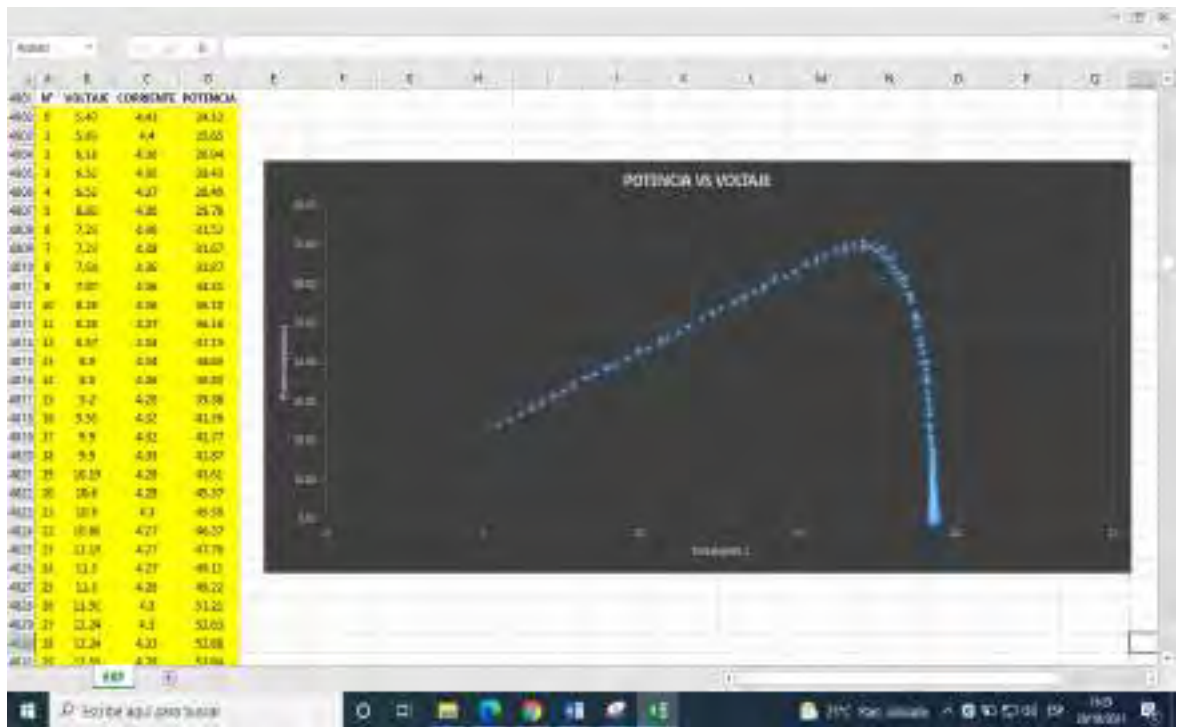


Figura Potencia vs Voltaje en el Proceso de Carga del Capacitor



Fotografía de Sistemas Satelitales en la Sierra del Departamento de Cusco



Fotografía del Estado de los Paneles Solares Antes del Estudio en la Sierra del Departamento de Cusco.



Sistemas Satelitales en la Selva del Departamento de Cusco



Fotografía del Estado de Paneles Solares Antes del Estudio en la Selva del Departamento de Cusco



Paneles Solares con Presencia de Hojas de Arboles



Paneles Solares con Presencia de Excremento de Aves



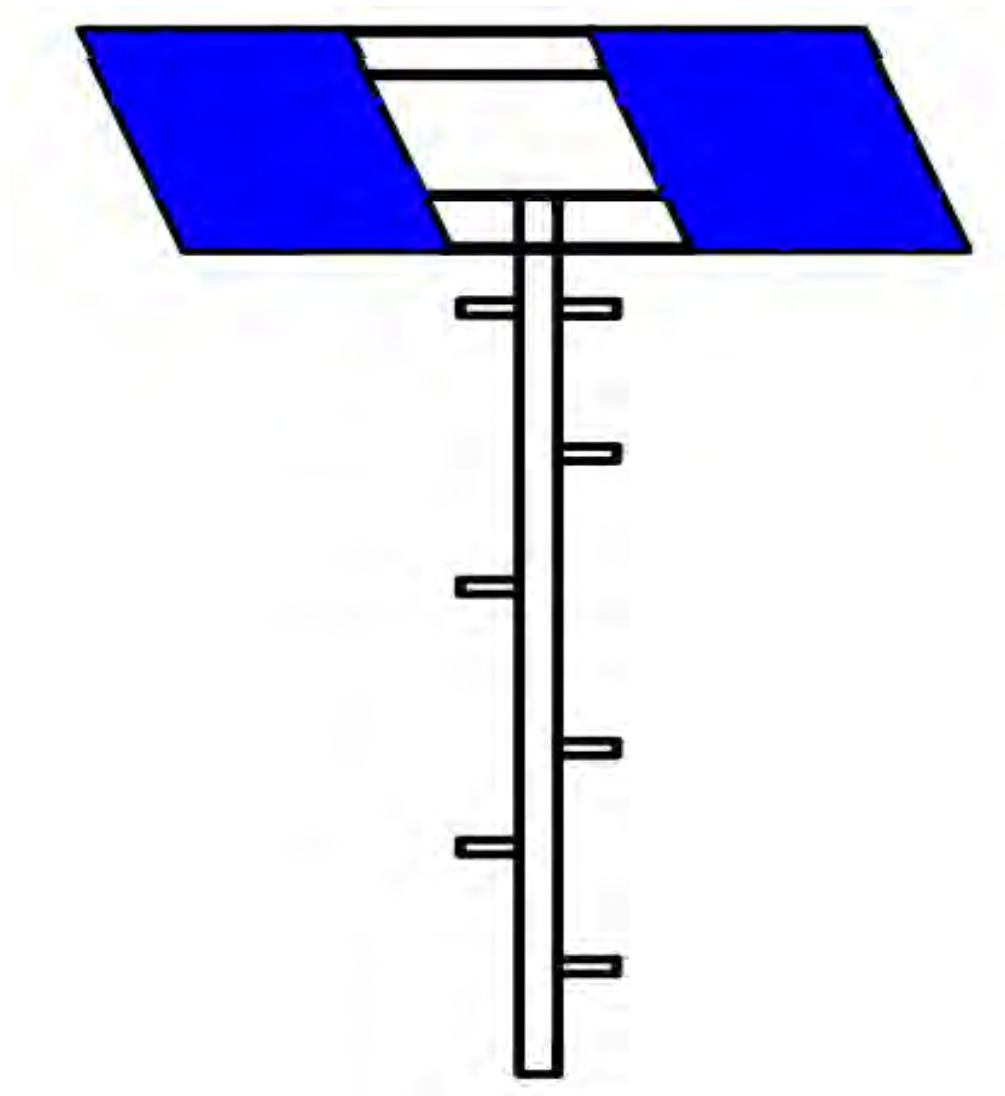
Panel Solar con Presencia de Oxido



Limpieza de un Panel Fotovoltaico Antes de Realizar las Pruebas



Diseño ideal de Estructura para el Fácil Acceso a los Paneles Fotovoltaicos en la Selva



Fotografía de Capacitación Brindada a los Concesionarios sobre el Proyecto de Tesis y Acceso a los TIC.



ANEXO E: CODIGOS DE PROGRAMACIÓN

Código de Programación para el Sistema de Adquisición de Variables Ambientales

```
#include <SD.h>
#include<DHT.h>
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22
#define pin_sensor A0 // pin de entrada analogica del sensor de radicon solar 6450
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS3231 RTC;
int hora=0;
int minutos=0;
int segundos=0;
int salida=3;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float adc;//Variable para obtener los valores
float voltaje; //Variable para obtener el voltaje
float irradiancia; //Variable final del sensor
float rel_voltaje_variable = 600.00; //Relación Voltaje/Variable del sensor (en el caso del sensor 6450 de radiacion)
File myFile;
void setup()
{
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
  pinMode(salida,OUTPUT);
  dht.begin();
  Serial.print("Iniciando SD ...");
  if (!SD.begin(10)) {
    Serial.println("No se pudo inicializar");
    return;
  }
  Serial.println("inicializacion exitosa");
  if (!SD.exists("test.txt"))
  {
    myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);
    if (myFile) {
      Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo encabezado(fila 1)");
      myFile.println("FECHA,HORA,HUMEDAD(%),TEMPERATURA(°C),IRRADIANCIA(W/m2)");
      myFile.close();
    } else {
      Serial.println("Error creando el archivo test.txt");
    }
  }
}
```

```

lcd.begin(16,2);
}
void loop()
{
    DateTime now = RTC.now();
    hora=(now.hour(),DEC);
    minutos=(now.minute(),DEC);
    segundos=(now.second(),DEC);
    myFile = SD.open("test.txt", FILE_WRITE);//apertura del archivo
    if (myFile) {
        Serial.print("Escribiendo SD: ");
        float h =0.9122*dht.readHumidity(); // valor de la humedad calibrado
        float t = 0.8831*dht.readTemperature();// valor de la temperatura calibrado
        adc = analogRead(pin_sensor);// conversion ADC de la lectura del pin analogico
        voltaje = adc*3.6012/1023;// valor del voltaje
        irradiancia = voltaje * rel_voltaje_variable;// valor de la irradiancia calibrado
        // almacenamos los datos en la tarjeta SD
        myFile.print(now.day(), DEC);
        myFile.print("/");
        myFile.print(now.month(), DEC);
        myFile.print("/");
        myFile.print(now.year(), DEC);
        myFile.print(',');
        myFile.print(now.hour(), DEC);
        myFile.print(':');
        myFile.print(now.minute(), DEC);
        myFile.print(':');
        myFile.print(now.second(), DEC);
        myFile.print(',');
        myFile.print(h);
        myFile.print(",");
        myFile.print(t);
        myFile.print(",");
        myFile.println(irradiancia);
        myFile.close(); //cerramos el archivo
        // visualizacion de los datos en el monitor del programa.
        Serial.print(now.day(), DEC);
        Serial.print("/");
        Serial.print(now.month(), DEC);
        Serial.print("/");
        Serial.print(now.year(), DEC);
        Serial.print(' ');
        Serial.print(now.hour(), DEC);
        Serial.print(':');
        Serial.print(now.minute(), DEC);
        Serial.print(':');
        Serial.print(now.second(), DEC);
        Serial.print(',');
        Serial.print("Humedad:");
        Serial.print(h);
        Serial.print("% ");
        Serial.print("Temperatura:");
        Serial.print(t);
        Serial.print("°C ");
        Serial.print("Irradiancia:");
        Serial.print(irradiancia);
    }
}

```

```

    Serial.println("W/m2");
    //visualizacion de los datos en la pantalla LCD
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("H:");
    lcd.print(h,2);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(9,0);
    lcd.print("T:");
    lcd.print(t,2);
    lcd.print("°C");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("R:");
    lcd.print(irradiancia,2);
    lcd.print("W/m2");
}
else {
    Serial.println("Error al abrir el archivo");
}
}
delay(20000);
}

```

Código de Programación para el Sistema de Medición de Potencia de un Panel Fotovoltaico

```

int Sensor = A1;
float Sensibilidad=0.183;// sensibilidad del sensor de corriente
#include <SD.h>
File myFile;
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2);
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS3231 RTC;
int hora=0;
int minutos=0;
int segundos=0;
int salida=3;
void setup()
{
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    Serial.begin(9600);
    Wire.begin();
    RTC.begin();
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));
    pinMode(salida,OUTPUT);
    Serial.print("Iniciando SD ...");
    if (!SD.begin(10)) {
        Serial.println("No se pudo inicializar");
        return;
    }
    Serial.println("inicializacion exitosa");

    if(!SD.exists("datalog.csv "));

```

```

{
  myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
  if (myFile) {
    Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo encabezado(filas 1)");
    myFile.println("FECHA,HORA,VOLTAJE(Vol),CORRIENTE(Amp),POTENCIA(Watts)");
    myFile.close();
  } else
}
{
  Serial.println("Error creando el archivo datalog.csv");
}
}
}
lcd.begin(16,2);
}
void loop()
{
  DateTime now = RTC.now();
  hora=(now.hour(),DEC);
  minutos=(now.minute(),DEC);
  segundos=(now.second(),DEC);
  myFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);//abrimos el archivo
  float voltajefz0430=(float)25*analogRead(A1)/1023;// lectura del sensor de voltaje FZ0430
  float I=get_corriente(200);//obtenemos la corriente promedio de 500 muestras
  float potencia=(voltajefz0430)*(I);
// almacenamiento de datos en la memoria SD
  if (myFile) {
    Serial.print("Escribiendo SD: ");
    myFile.print(now.day(), DEC);
    myFile.print("/");
    myFile.print(now.month(), DEC);
    myFile.print("/");
    myFile.print(now.year(), DEC);
    myFile.print(",");
    myFile.print(now.hour(), DEC);
    myFile.print(":");
    myFile.print(now.minute(), DEC);
    myFile.print(":");
    myFile.print(now.second(), DEC);
    myFile.print(",");
    myFile.print(voltajefz0430);
    myFile.print(",");
    myFile.print(I);
    myFile.print(",");
    myFile.println(potencia);
    myFile.close();//cerramos el archivo
  }
  else {
    Serial.println("Error al abrir el archivo");
  }
}
// visualización de datos en el monitor
  Serial.print(now.day(), DEC);
  Serial.print("/");
  Serial.print(now.month(), DEC);
  Serial.print("/");
  Serial.print(now.year(), DEC);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(now.hour(), DEC);

```

```

Serial.print(':');
Serial.print(now.minute(), DEC);
Serial.print(':');
Serial.print(now.second(), DEC);
Serial.print(',');
Serial.print("Voltaje del panel solar:");
Serial.print(voltajefz0430);
Serial.print("Corriente del panel :");
Serial.print(I,3);
Serial.print("potencia del panel:");
Serial.println(potencia);
// visualización de los datos en la pantalla LCD
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("V:");
lcd.print(voltajefz0430,2);
lcd.print("V");
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print("C:");
lcd.print(I,2);//1 decimal
lcd.print("A");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("P:");
lcd.print(potencia,2); //1 decimal
lcd.print("W");

delay(2000);
}
float get_corriente(int n_muestras)
{
float voltajeSensor;
float corriente=0;
for(int i=0;i<n_muestras;i++)
{
voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);
corriente=corriente+(voltajeSensor-2.5)/Sensibilidad;
}
corriente=corriente/n_muestras;
return(corriente);
}

```

Códigos de Programación del Sistema Optimizado

```
#include "main.h"
#include "fatfs.h"
#include "i2c_sht31.h"
#include "i2c-lcd.h"
#include "stdio.h"
#include "stdbool.h"
#include "string.h"
#include "stdlib.h"
#include "stddef.h"
#include "limits.h"
#include "math.h"
#include <stdarg.h> //for va_list var arg functions
ADC_HandleTypeDef hadc1;
DMA_HandleTypeDef hdma_adc1;
I2C_HandleTypeDef hi2c1;
SPI_HandleTypeDef hspi2;
UART_HandleTypeDef huart1;
UART_HandleTypeDef huart2;
UART_HandleTypeDef huart3;
uint32_t adc_value[5];
float temp;
#define AVG_SLOPE 0.0043// 4.3E-03; // slope (gradient) of temperature line function [V/°C]
#define V25 1.43 // sensor's voltage at 25°C [V]
#define ADC_TO_VOLT 3.3 / 4095
uint8_t tx_buff[] = "Es una primera prueba para el puerto serial ING \n\r";
uint8_t rx_buff[1];
char str[50] = {0};
char nombre_archivo[2];
uint8_t size_str=0;
float VDD_ARM = 0.0;
float Battery_V = 0.0;
float V_SIGNAL = 0.0;
float I_SIGNAL = 0.0;
uint8_t lenbuff = 100;
uint8_t rcvchar2 = 0;
uint8_t xbuff = 0x00;
uint8_t Orden_Data;
uint8_t Num_String; // indica el numero de cadena donde se cargara los datos
uint8_t flagcommand = 0;
uint8_t string_x[ 5 ];
uint8_t string_0[ 10 ]; //100 // hora latitud longitud
uint8_t string_3[ 10 ]; //100
uint8_t string_6[ 10 ]; //100
uint8_t readBuf[30];
uint8_t Hr_12h[ 10 ]="10:36:59\n";
uint8_t Hora[ 10 ];
uint8_t DIA[ 5 ];
uint8_t MES[ 5 ];
uint8_t ANNO[ 7 ];
```

```

uint8_t Latitud[ 20 ];
uint8_t Longitud[ 20 ];
uint8_t ALTITUD[ 20 ];
uint8_t Latitud_Respaldo[ 20 ];
uint8_t Longitud_Respaldo[ 20 ];
uint8_t POSICION[ 20 ];
uint8_t i;          // variable usado intensamente en bucles for
uint8_t j;
uint8_t Lim_Inf;    // limite inferior y superior
uint8_t Lim_Sup;    // se cargan con numero de posicion de cadena
uint8_t Size_String,
Unidad,
Decena,
Numero,
hora_decimal_leo,
minuto_decimal_leo,
segundo_decimal_leo,
Fmt_12h,
Signo_Lat, // signo de latitud  + == lat. norte  - == latitud sur
Signo_Lon,
segundo_decimal,
minuto_decimal,
hora_decimal,
dia_byte,
mes_byte;
uint16_t anno_long;
uint16_t Ref_Coordn;
float      X_1,
X_2,
Y_1,
Y_2,
altitud_m,
V_RADIACION,
CORRIENTE,
VOLTAJE;
uint16_t contador=0;
uint32_t V_BUFFER[1500];
uint32_t I_BUFFER[1500];//2000
float leoo;
//float VOLTAJE[100];
//float CORRIENTE[100];
void Inicializar_Buffers( )
{
xbuff = 0;
for( i = 0; i < 12; i++ ) Hora[ i ] = 0;
for( i = 0; i < 15; i++ ) Latitud[ i ] = 0;
for( i = 0; i < 15; i++ ) Longitud[ i ] = 0;
for( i = 0; i < 15; i++ ) Latitud_Respaldo[ i ] = 0;
for( i = 0; i < 15; i++ ) Longitud_Respaldo[ i ] = 0;
}
void Procesar_Usart_Data( void )
{

```



```

if( flagcommand == 1 ) goto salir_leo;
switch( Num_String )
{
case 0: switch( Orden_Data )// hora,latitud,longitud,altitud
{
case 0: if( rcvchar2 == '$') Orden_Data = 1; else{ Orden_Data = 0;} break;
case 1: if( rcvchar2 == 'G') Orden_Data = 2; else Orden_Data = 0; break;
case 2: if( rcvchar2 == 'N') Orden_Data = 3; else Orden_Data = 0; break;
case 3: if( rcvchar2 == 'G') Orden_Data = 4; else Orden_Data = 0; break;
case 4: if( rcvchar2 == 'G') Orden_Data = 5; else Orden_Data = 0; break;
case 5: if( rcvchar2 == 'A') Orden_Data = 6; else Orden_Data = 0; break;
case 6: string_0[ xbuff ] = rcvchar2;
xbuff++;
if( xbuff >= lenbuff ) xbuff = 0;
if( rcvchar2 == 10 || rcvchar2 == 13 )
{
Num_String = 1;
xbuff = 0;
Orden_Data = 0;
}
break;
} break;
case 1: switch( Orden_Data )//velocidad,angulo
{
case 0: if( rcvchar2 == '$') Orden_Data = 1; else Orden_Data = 0; break;
case 1: if( rcvchar2 == 'G') Orden_Data = 2; else Orden_Data = 0; break;
case 2: if( rcvchar2 == 'N') Orden_Data = 3; else Orden_Data = 0; break;
case 3: if( rcvchar2 == 'V') Orden_Data = 4; else Orden_Data = 0; break;
case 4: if( rcvchar2 == 'T') Orden_Data = 5; else Orden_Data = 0; break;
case 5: if( rcvchar2 == 'G') Orden_Data = 6; else Orden_Data = 0; break;
case 6: string_3[ xbuff ] = rcvchar2;
xbuff++;
if( xbuff >= lenbuff ) xbuff = 0;
if( rcvchar2 == 10 || rcvchar2 == 13 )
{
Num_String = 2;
xbuff = 0;
Orden_Data = 0;
//flagcommand = 1;
}
break;
} break;
case 2: switch( Orden_Data )//dia,mes,año
{
case 0: if( rcvchar2 == '$') Orden_Data = 1; else Orden_Data = 0; break;
case 1: if( rcvchar2 == 'G') Orden_Data = 2; else Orden_Data = 0; break;
case 2: if( rcvchar2 == 'N') Orden_Data = 3; else Orden_Data = 0; break;
case 3: if( rcvchar2 == 'Z') Orden_Data = 4; else Orden_Data = 0; break;
case 4: if( rcvchar2 == 'D') Orden_Data = 5; else Orden_Data = 0; break;
case 5: if( rcvchar2 == 'A') Orden_Data = 6; else Orden_Data = 0; break;
case 6: string_6[ xbuff ] = rcvchar2;
xbuff++;

```

```

if( xbuff >= lenbuff ) xbuff = 0;
if( rcvchar2 == 10 || rcvchar2 == 13 )
{
Num_String = 0;
xbuff = 0;
Orden_Data = 0;
flagcommand = 1;
}
break;
} break;
}
salir_leo: return;
}
void Mostrar_Gps_Data()
{
//-----
// en este code obtenemos coordenadas
// y hora y las mostramos en LCD
for( i = 0; i < 20; i++ ) POSICION[ i ] = 0;
Size_String = strlen(string_0);
// GPGGA de aqui obtenemos la hora, latitud y longitud
for( i = 0, j=0; i < Size_String && j < 12; i++ )
{
if( string_0[i] == ';' )
{
POSICION[ j ] = i;
j++;
}
}
Lim_Inf = POSICION[ 0 ] + 1;
Lim_Sup = POSICION[ 1 ];
for( i = Lim_Inf; i < Lim_Sup; i++ )
{
Hora[ i - Lim_Inf ] = string_0[ i ];
}

Decena = Hora[ 4 ];
Decena -= 48;
Unidad = Hora[ 5 ];
Unidad -= 48;
segundo_decimal = Decena*10 + Unidad;
segundo_decimal_leo = segundo_decimal;
Decena = Hora[ 2 ];
Decena -= 48;
Unidad = Hora[ 3 ];
Unidad -= 48;
minuto_decimal = Decena*10 + Unidad;
minuto_decimal_leo = minuto_decimal;
Decena = Hora[ 0 ];
Decena -= 48;
Unidad = Hora[ 1 ];
Unidad -= 48;

```

```

Numero = Decena*10 + Unidad;
if( Numero < 5 ){ Numero = 19 + Numero; } // formateamos solo la hora a nuestro meridiano
else{ Numero -= 5; } // 5 horas de diferencia con el MGT
hora_decimal = Numero;
hora_decimal_leo = hora_decimal;

Decena = Numero/10;
Decena += 48;
Unidad = Numero%10;
Unidad += 48; // y luego lo cargamos en su posicion
Hora[ 0 ] = Decena; // formateamos la hora para mostrar en el LCD
Hora[ 1 ] = Unidad;
Hora[ 7 ] = Hora[ 5 ];
Hora[ 6 ] = Hora[ 4 ];
Hora[ 5 ] = ':';
Hora[ 4 ] = Hora[ 3 ];
Hora[ 3 ] = Hora[ 2 ];
Hora[ 2 ] = ':';
Hora[ 8 ] = "\n"; //0; // NULL STRING para mandar a LCD
Hr_12h[ 0 ] = Hora[ 0 ];
Hr_12h[ 1 ] = Hora[ 1 ];
Hr_12h[ 2 ] = Hora[ 2 ];
Hr_12h[ 3 ] = Hora[ 3 ];
Hr_12h[ 4 ] = Hora[ 4 ];
Hr_12h[ 5 ] = Hora[ 5 ];
Hr_12h[ 6 ] = Hora[ 6 ];
Hr_12h[ 7 ] = Hora[ 7 ];
Hr_12h[ 8 ] = Hora[ 8 ];

Fmt_12h = ( Hr_12h[ 0 ] - 48 ) * 10 + ( Hr_12h[ 1 ] - 48 );
if( Fmt_12h > 12 )
{
Fmt_12h = Fmt_12h - 12;
Hr_12h[ 0 ] = ( Fmt_12h / 10 ) + 48;
Hr_12h[ 1 ] = ( Fmt_12h % 10 ) + 48;

if( Hr_12h[ 0 ] == '0' ) Hr_12h[ 0 ] = ' ';
}
//-----
// de este code obtenemos coordenadas en tiempo
// real del GPS y la formateamos TIPO GOOGLE MAPS
Lim_Inf = POSICION[ 1 ] + 1;
Lim_Sup = POSICION[ 2 ];
Signo_Lat = string_0[ Lim_Sup + 1 ];
for( i = Lim_Inf; i < Lim_Sup; i++ )
{
Latitud[ i - Lim_Inf ] = string_0[i];
Latitud_Respaldo[ i - Lim_Inf ] = string_0[i];
}
Lim_Inf = POSICION[ 3 ] + 1;
Lim_Sup = POSICION[ 4 ];
Signo_Lon = string_0[ Lim_Sup + 1 ];

```

```

for( i = Lim_Inf; i < Lim_Sup; i++ )
{
Longitud[ i - Lim_Inf ] = string_0[ i ];
Longitud_Respaldo[ i - Lim_Inf ] = string_0[ i ];
}
if( Signo_Lat == 'S') Signo_Lat = '-';
else Signo_Lat = '+';
if( Signo_Lon == 'W') Signo_Lon = '-';
else Signo_Lon = '+';
Ref_Coordn = (Latitud[ 0 ] - 48)*10 + (Latitud[ 1 ] - 48);
Ref_Coordn = Ref_Coordn*100;
X_2 = atof( Latitud );
X_2 = X_2 - Ref_Coordn;
X_2 = fabs(X_2);
X_2 = X_2/60;
Ref_Coordn = Ref_Coordn/100;
X_2 = X_2 + Ref_Coordn;
//sprintf( Latitud,"%2.4f",X_2 );
//fprintf(GPS,"Lat=%2.4f\r\n",X_2);
Ref_Coordn = (Longitud[ 1 ] - 48)*10 + (Longitud[ 2 ] - 48);
Ref_Coordn = Ref_Coordn*100;
Y_2 = atof( Longitud );
Y_2 = Y_2 - Ref_Coordn;
Y_2 = fabs(Y_2);
Y_2 = Y_2/60;
Ref_Coordn = Ref_Coordn/100;
Y_2 = Y_2 + Ref_Coordn;
//sprintf( Longitud,"%2.4f",Y_2 );
//fprintf(GPS,"Lon = %2.4f\r\n",Y_2);
//fprintf(GPS,"Hora=%s\r\n",Hr_12h);
Lim_Inf = POSICION[ 8 ] + 1;
Lim_Sup = POSICION[ 9 ];
Signo_Lat = string_0[ Lim_Sup + 1 ];
for( i = Lim_Inf; i < Lim_Sup; i++ )
{
ALTITUD[ i - Lim_Inf ] = string_0[i];
}
altitud_m = atof(ALTITUD );
for( i = 0; i < 20; i++ ) POSICION[ i ] = 0;
Size_String = strlen(string_6);
for( i = 0, j=0; i < Size_String && j < 6; i++ )
{
if( string_6[i] == ',')
{
POSICION[ j ] = i;
j++;
}
}
Lim_Inf = POSICION[ 1 ] + 1;
Lim_Sup = POSICION[ 2 ];
for( i = Lim_Inf; i < Lim_Sup; i++ )
{

```

```

DIA[ i - Lim_Inf ] = string_6[i];
}
dia_byte = atof(DIA );
Lim_Inf = POSICION[ 2 ] + 1;
Lim_Sup = POSICION[ 3 ];
for( i = Lim_Inf; i< Lim_Sup; i++ )
{
MES[ i - Lim_Inf ] = string_6[i];
}
mes_byte = atof(MES );

Lim_Inf = POSICION[ 3 ] + 1;
Lim_Sup = POSICION[ 4 ];
for( i = Lim_Inf; i< Lim_Sup; i++ )
{
ANNO[ i - Lim_Inf ] = string_6[i];
}
anno_long = atof( ANNO );
}
uint8_t Recibido = 0;
void HAL_UART_RxCpltCallback(UART_HandleTypeDef *huart)
{
HAL_UART_Receive_IT(&huart3, rx_buff, 1);
rcvchar2 = rx_buff[0];
Procesar_Usart_Data( );
/*in_buffer[in_i] = rx_buff[0];
in_i += 1;
if((rx_buff[0] == '\n') || (rx_buff[0] == '\r'))
{
in_buffer[in_i] = 0;
in_i = 0;
Recibido = 1;
}*/
}
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_ADC1_Init(void);
static void MX_USART1_UART_Init(void);
static void MX_DMA_Init(void);
static void MX_USART2_UART_Init(void);
static void MX_I2C1_Init(void);
static void MX_USART3_UART_Init(void);
static void MX_SPI2_Init(void);
void myprintf(const char *fmt, ...);
void myprintf(const char *fmt, ...) {
static char buffer[256];
va_list args;
va_start(args, fmt);
vsnprintf(buffer, sizeof(buffer), fmt, args);
va_end(args);
int len = strlen(buffer);
HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t*)buffer, len, -1);

```

```

}
float temperature=0.0;
float humidity=0.0;
float POTENCIA=0.0;
float POTENCIA_MAXIMA=0.0;
float VOLTAJE_POT_MAX=0.0;
float CORRIENTE_POT_MAX=0.0;
float VOLTAJE_CA=0.0;
float CORRIENTE_CC=0.0;
uint8_t Temp_Byte;
uint8_t Hum_Byte;
uint16_t INDICE_MAXIMO=0;
uint8_t CONTADOR_SEGUNDOS=0;
uint8_t readBuf[30];
// _____
FATFS FatFs; //Fatfs handle
FIL fil; //File handle
FRESULT fres; //Result after operations
DWORD free_clusters, free_sectors, total_sectors;
FATFS* getFreeFs;
// _____
sht3x_handle_t handle = {
.i2c_handle = &hi2c1,
.device_address = SHT3X_I2C_DEVICE_ADDRESS_ADDR_PIN_LOW
};
int main(void)
{
HAL_Init();
SystemClock_Config();
MX_GPIO_Init();
MX_DMA_Init();
MX_ADC1_Init();
MX_USART1_UART_Init();
MX_USART2_UART_Init();
MX_I2C1_Init();
MX_USART3_UART_Init();
MX_SPI2_Init();
MX_FATFS_Init();
/* USER CODE BEGIN 2 */
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1);
HAL_Delay(5);
HAL_ADC_Start_DMA(&hadc1, adc_value, 5);
//size_str = sprintf(str, "%s\n\r", "Iniciando Proceso...");
// HAL_UART_Transmit(&huart2, (uint8_t *)str, size_str, 1000);
Num_String = 0;
flagcommand = 1;
Orden_Data = 0;
HAL_UART_Receive_IT(&huart3, rx_buff, 1);
lcd_init ();
lcd_clear ();
while (1)
{

```

```

CONTADOR_SEGUNDOS = 55;
HAL_Delay(500);
//fres = f_mount(&FatFs, "", 1);
//if (fres != FR_OK) { while(1); }
while(1)
{
VDD_ARM = (1.152*4095.0)/adc_value[4];
VDD_ARM = VDD_ARM*1.00578;
temp = (V25 - ADC_TO_VOLT*adc_value[3]) / AVG_SLOPE + 25;
V_RADIACION = (adc_value[2]*VDD_ARM)/4095.0;// volt
V_RADIACION = V_RADIACION*1000.0;
V_RADIACION = V_RADIACION/1.67;
V_RADIACION = V_RADIACION*1.0;
I_SIGNAL = (adc_value[1]*VDD_ARM)/4095.0;
V_SIGNAL = (adc_value[0]*VDD_ARM)/4095.0;
I_SIGNAL = (I_SIGNAL*1000.0)/0.015;
V_SIGNAL = V_SIGNAL*11;
V_SIGNAL = V_SIGNAL*1.04;
V_SIGNAL = V_SIGNAL*1.0015646;
sht3x_read_temperature_and_humidity(&handle, &temperature, &humidity);
size_str = sprintf(str,
"%2.1f,%2.1f,%2.1f,%2.1f,%2.1f,%2.1f,%2.1f,%2.1f,%2.1f\n",V_RADIACION,V_SIGNAL,temperature,humidi
ty,POTENCIA_MAXIMA,VOLTAJE_POT_MAX,CORRIENTE_POT_MAX,VOLTAJE_CA,CORRIENTE_C
C);
HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t *)str, size_str, 1000);
size_str = sprintf(str, "%s=%2.2f", "R",V_RADIACION);
lcd_put_cur(0,0);
lcd_send_string(str);
size_str = sprintf(str, "%s=%2.2f", "V",V_SIGNAL);
lcd_put_cur(1,0);
lcd_send_string(str);
size_str = sprintf(str, "%s=%2.2f", "T",temperature);
lcd_put_cur(0, 8);
lcd_send_string(str);
size_str = sprintf(str, "%s=%2.2f", "H",humidity);
lcd_put_cur(1, 8);
lcd_send_string(str);
HAL_Delay(1200);
CONTADOR_SEGUNDOS++;
if( CONTADOR_SEGUNDOS > 60 )
{
CONTADOR_SEGUNDOS=0;
HAL_GPIO_WritePin(RELE_GPIO_Port, RELE_Pin, 0);
HAL_Delay(4);
for( contador= 0; contador<=1500; contador++ )//199
{
V_BUFFER[ contador ]= adc_value[0];
I_BUFFER[ contador ]= adc_value[1];
for(i=0; i<= 200; i++)//200
{
__ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM
volatile ("NOP");

```

```

__ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM
volatile ("NOP");
__ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM
volatile ("NOP");
__ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM volatile ("NOP"); __ASM
volatile ("NOP");
}
}
for( POTENCIA_MAXIMA = 0, contador= 0; contador<1500; contador++ )//199
{
POTENCIA = V_BUFFER[ contador ]*0.0092334;
POTENCIA = POTENCIA*I_BUFFER[ contador ];
POTENCIA = POTENCIA*0.00746;
if( POTENCIA >= POTENCIA_MAXIMA )
{
POTENCIA_MAXIMA = POTENCIA;
INDICE_MAXIMO = contador;
}
}
VOLTAJE_POT_MAX = V_BUFFER[ INDICE_MAXIMO ]*0.0092334;
CORRIENTE_POT_MAX = I_BUFFER[ INDICE_MAXIMO ]*0.00746;
for( VOLTAJE_CA = 0, contador= 0; contador<1500; contador++ )//199
{
VOLTAJE = V_BUFFER[ contador ]*0.0092334;
if( VOLTAJE >= VOLTAJE_CA ) VOLTAJE_CA = VOLTAJE;
}
for( CORRIENTE_CC = 0, contador= 0; contador<1500; contador++ )//199
{
CORRIENTE = I_BUFFER[ contador ]*0.00746;
if( CORRIENTE >= CORRIENTE_CC ) CORRIENTE_CC = CORRIENTE;
}
HAL_Delay(500);
HAL_GPIO_WritePin(RELE_GPIO_Port, RELE_Pin, 1);
fres = f_mount(&FatFs, "", 1);
if (fres != FR_OK) { while(1); }
for(contador=0; contador < 400; contador++)//100
{
fres = f_open(&fil, "EXP.csv", FA_WRITE | FA_OPEN_ALWAYS );

if(fres == FR_OK) { __ASM volatile ("NOP"); }
else { myprintf("f_open error (%i)\r\n", fres);}
VOLTAJE = V_BUFFER[ contador ]*0.0092334;
CORRIENTE = I_BUFFER[ contador ]*0.00746;
UINT bytesWrote;
size_str = sprintf(str, "%lu;%2.2f;%1.2f\r\n", contador,VOLTAJE,CORRIENTE);
f_lseek(&fil, fil.fsize);
fres = f_write(&fil, str, size_str, &bytesWrote);

if(fres == FR_OK) { __ASM volatile ("NOP");}
else { __ASM volatile ("NOP"); }
f_close(&fil);
}
}

```



```

HAL_Delay(50);
fres = f_open(&fil, "DATA.csv", FA_WRITE | FA_OPEN_ALWAYS );

if(fres == FR_OK) { __ASM volatile ("NOP"); }
else { __ASM volatile ("NOP");}
VOLTAJE = V_BUFFER[ contador ]*0.0092334;
CORRIENTE = I_BUFFER[ contador ]*0.00746;
UINT bytesWrote;
size_str = sprintf(str,
"%2.1f;%2.1f;%2.1f;%2.1f;%2.1f;%2.1f;%2.1f;%2.1f\n",V_RADIACION,temperature,humidity,POTENCIA_M
AXIMA,VOLTAJE_POT_MAX,CORRIENTE_POT_MAX,VOLTAJE_CA,CORRIENTE_CC);
f_lseek(&fil, fil.fsize);
fres = f_write(&fil, str, size_str, &bytesWrote);
if(fres == FR_OK) { __ASM volatile ("NOP");}
else { __ASM volatile ("NOP"); }
f_close(&fil);
f_mount(NULL, "", 0);
}
}
/* USER CODE END 3 */
}

```