

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO
DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO IMPLEMENTADO
PARA ALUMBRADO PÚBLICO EN LA UAP FILIAL
HUANCAYO”**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

MEZA SOVERO, JULIO ALBERTO

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

Huancayo, Junín, Perú

Setiembre del 2015

ASESOR

Mg. Ing. Orlando Vilca Moreno

DEDICATORIA

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

Julio

AGRADECIMIENTO

Los más sinceros agradecimientos al Ing. Julián Laime Édgar Rafael, profesional que me brindó su asesoramiento externo, quien de manera desinteresada estuvo en la supervisión del proyecto de investigación desde sus inicios, dedicándole tiempo, esfuerzo y brindándome sus conocimientos, su experiencia y el soporte que hicieron posible que este proyecto se materializara, lo cual me permitió encontrar la mejor solución frente a los problemas suscitados a lo largo de esta investigación, asimismo agradezco la confianza puesta en mi persona y toda su dedicación.

A todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la UAP por compartir sus experiencias en las aulas académicas, asimismo a mis amigos y familiares más cercanos, mis padres y hermanos que contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.

Julio

INDICE

ASESOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
INDICE	v
INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Caracterización de la realidad problemática	1
1.2. Formulación del problema.....	6
1.2.1. Problema General.....	6
1.2.2. Problemas específicos.....	6
1.3. Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1. Objetivo General	6
1.3.2. Objetivos Específicos.....	6
1.4. Justificación de la investigación	7
1.4.1. Legal	7
1.4.2. Académica	7
1.4.3. Tecnológica.....	7
1.4.4. Económica	9
1.4.5. Científica.....	9
1.4.6. Social	10
1.4.7. Ambiental.....	10
1.5. Importancia de la investigación.....	11
1.6. Limitaciones de la investigación.....	13
1.6.1. Limitación teórica	13
1.6.2. Limitación metodológica	13
CAPÍTULO II.....	14
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	14

2.1.	Marco referencial	14
2.1.1.	Antecedentes de la investigación.....	14
2.2.	Marco legal	22
2.3.	Marco conceptual.....	23
2.3.1.	Energía Solara	23
2.3.2.	Radiación Solar.....	25
2.3.3.	Evolución de la constante solar	27
2.3.4.	Irradiancia (I).....	28
2.3.5.	Irradiación (H)	29
2.3.6.	Irradiación solar diaria, insolación diurna o radiación solar diaria (R)	30
2.3.7.	Medición de la radiación solar.....	33
2.3.7.1.	Medida y registro de la radiación solar	33
2.4.	Marco teórico	37
2.4.1.	Instrumentos de medida de la Radiación Solar.....	37
2.4.1.1.	Pirheliómetros	39
2.4.1.2.	Piranómetros.....	42
2.4.1.3.	Heliógrafos.....	46
2.4.2.	Errores en la medida.....	50
2.4.2.1.	Errores debidos al diseño del instrumento	50
2.4.2.2.	Errores debidos a las características instrumentales	51
2.4.2.3.	Errores debidos a los procedimientos de operación	52
2.4.3.	Estandarización	53
2.4.4.	Paneles solares	54
2.4.4.1.	Principio fotovoltaico	55
2.4.4.2.	Célula fotovoltaica.....	56
2.4.5.	Sistema de seguimiento solar	59
2.4.5.1.	Ubicación de la trayectoria solar	61
2.4.6.	Fundamentos del software LabVIEW.....	63
2.4.6.1.	Instrumento Virtual (VI)	64
2.4.6.2.	El Entorno de LabVIEW	65
2.4.6.3.	Ventana del panel frontal (FRONT PANEL).....	66
2.4.6.4.	Paleta de Herramientas (TOOLS PALETTE).....	67
2.4.6.5.	Barra de Herramientas del Panel Frontal.....	69

2.4.6.6 Paleta de controles (CONTROLS PELETTE)	70
2.4.6.7. Ventana del diagrama de bloques (BLOCK DIAGRAM)	72
2.4.6.8. Barra de herramientas del diagrama de bloques	73
2.4.6.9. Paleta de funciones (FUNCTION PALETTE)	73
2.4.6.10. Menú Desplegables	76
CAPÍTULO III	78
PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	78
3.1. Metodología	78
3.1.1. Método de la investigación	78
3.1.1.1. Delimitación Espacial	79
3.1.1.2. Delimitación Temporal	79
3.1.1.3. Métodos empleados en la implementación del sistema fotovoltaico (SFV)	80
3.1.1.4. Métodos empleados en la implementación del sistema automático – monitoreo (SAM)	80
3.1.2. Tipo de investigación	81
3.1.3. Nivel de investigación	81
3.2. Diseño de la investigación	82
3.3. Hipótesis de la investigación	82
3.3.1. Hipótesis Alternativa (H_1)	82
3.3.2. Hipótesis Nula (H_0)	82
3.4. Variables	82
3.4.1. Variable dependiente (Y)	82
3.4.1.1. Indicadores	82
3.4.2. Variable Independiente (X)	83
3.4.2.1. Indicadores	83
3.5. Cobertura de estudio	83
3.5.1. Universo	83
3.5.2. Población	83
3.5.3. Muestra	83
3.5.4. Muestreo	85
3.6. Técnicas e instrumentos	85
3.6.1. Técnicas de la investigación	85
3.6.2. Instrumentos de la investigación	86
3.6.2.1. Instrumentos del sistema fotovoltaico (SFV)	86

3.6.2.2. Instrumentos del sistema de monitoreo automático (SAM).....	87
3.6.2.3. Materiales adicionales empleados en la calibración e instalación de dispositivos.....	88
3.6.2.4. Descripción de los principales componentes del equipamiento empleado en la investigación	88
3.6.2.5. El módulo fotovoltaico.....	89
3.6.2.6. Tarjeta de Adquisición de datos.....	90
3.6.2.7. El sensor de corriente ACS712.....	93
3.6.2.8. Solarímetro	95
3.6.2.9. Pinza amperimétrica	97
3.6.2.10. Multímetro digital.....	97
3.6.2.11. Inclinómetro	98
3.6.2.12. El software de control iPANEL 1.0.....	99
3.7. Procesamiento estadístico de la información.....	102
3.7.1. Estadísticos.....	102
3.7.2. Representación.....	102
3.7.3. Técnica de comprobación de la hipótesis	103
CAPÍTULO IV	104
ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	104
4.1. Presentación de resultados.....	104
4.1.1. Implementación y puesta en funcionamiento del sistema fotovoltaico – para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo.....	104
4.1.2. Implementación y puesta en funcionamiento del sistema automático de monitoreo (SAM) de datos	107
4.1.3. Conectividad y almacenamiento de datos con el software iPANELFV 1.0.....	110
4.1.4. Evaluación de la cantidad de energía eléctrica generada y consumida diariamente por el sistema fotovoltaico.....	114
4.1.4.1. Estimación de la energía ideal generada por el sistema fotovoltaico.....	114
4.1.4.2. Estimación de la energía real generada por el sistema fotovoltaico	115
4.1.4.3. Resultados experimentales del monitoreo de variables de la producción energética del sistema fotovoltaico	117
4.1.4.4. Estimación de energía consumida por las luminarias led	131
4.1.4.5. Estimación de la energía consumida por luminarias convencionales para alumbrado público.....	132

4.1.4.6. Costo de la energía generada o consumida (<i>CEG</i>)	132
4.1.5. Evaluar el rendimiento energético del sistema fotovoltaico instalado para- alumbrado público en la UAP Filial Huancayo.	133
4.1.5.1. Cálculo del rendimiento energético por día de monitoreo	134
4.1.5.2. Cálculo del rendimiento energético promedio de la instalación	135
V. CONCLUSIONES.....	137
VI. RECOMENDACIONES	138
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	139
VIII. ANEXOS	142
ESQUEMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO IMPLEMENTADO PARA- ALUMBRADO PUBLICO EM LA U.A.P FILIAL HUANCAYO.....	143
ESQUEMA GENERAL SISTEMA DE MONITOREO AUTOMATICO- IMPLEMENTADO PARA LA INVESTIGACION	144
PANEL FOTOGRÁFICO.....	145
BASE DE DATOS EXPERIMENTALES: PRODUCCIÓN ENERGÉTICA	149

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos importantes referentes al sol	26
Tabla 2: Irradiación solar diaria media (Huancayo)	31
Tabla 3: Promedio de los niveles de insolación en base a valores de la NASA de los- últimos 22 años.....	32
Tabla 4: Instrumentos meteorológicos para la medida de la radiación	37
Tabla 5: Características de Pirheliómetros	41
Tabla 6: Comparativa de Pirheliómetros.....	42
Tabla 7: Características de piranómetros	45
Tabla 8: Comparativa de piranómetros.....	46
Tabla 9: Especificaciones del heliógrafo de Campbell-Stokes grado IRSR (WMO, 1996).....	49
Tabla 10: Eficiencia de cada tipo de panel FV según los tipos de células.....	55
Tabla 11: Instrumentos del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público- en la UAP Filial Huancayo	86
Tabla 12: Materiales del sistema de monitoreo automático (SAM) implementado en la- investigación	87
Tabla 13: Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico de pruebas.....	89
Tabla 14: Enumeración de terminales de E/S del NI USB-6008.....	91
Tabla 15: Descripción de los terminales de E/S del NI USB-6008.....	93
Tabla 16: Sensibilidad del sensor de corriente de acuerdo al modelo	94
Tabla Nº 17: Especificaciones técnicas del medidor ES-2000.....	96
Tabla Nº 18: Datos de ingreso para conectividad del equipo con el software- FOTOSYSTEM 1.0	101
Tabla 19: Materiales y dispositivos del sistema fotovoltaico implementado en el poste- solar	104
Tabla 20: Dispositivos del sistema de monitoreo automático (SAM) de datos.....	107
Tabla 21: Condiciones de muestreo de datos experimentales por fechas.....	117
Tabla 22: Extracto de la base de datos de la investigación correspondiente al día- 04/07/2015	117
Tabla 23: Comparación del costo de operación de poste de alumbrado público.....	133
Tabla 24: Consolidado de resultados de generación y consumo energético por día	134
Tabla 25: Consolidado de resultados de generación y consumo energético por día	135
Tabla 26: Rendimiento promedio de la instalación fotovoltaica instalada en la UAP Filial- Huancayo.....	136

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consumo mundial de energía eléctrica 1980-2009 (variación anual)	2
Figura 2: Consumo de energía eléctrica por país en el mundo (TW-h) 2011	2
Figura 3: Consumo final de energía eléctrica a nivel mundial (TW-h) 2011	3
Figura 4: Proyección del consumo final de energía en el Perú al 2025	4
Figura 5: Estructura del consumo final de energía en el Perú por fuentes 2014-2025	4
Figura 6: Capacidad mundial existente de la generación fotovoltaica	8
Figura 7: Los diez primeros países con mayor capacidad fotovoltaica instalada 2010	8
Figura 8: Evolución del Coeficiente de Electrificación Nacional y del Coeficiente de Electrificación Rural 2000-2013	10
Figura 9: Pérdidas de energía solar en la atmósfera	24
Figura 10: Radiación Solar sobre la tierra.....	25
Figura 11: Representación espacial de la distancia entre el sol y la tierra.....	26
Figura 12: Evolución de la constante solar en el tiempo.....	28
Figura 13: Solarímetro marca BOECO modelo SM206	29
Figura 14: Estimación de la irradiación solar	30
Figura 15: Curva de Irradiancia diaria y horas solares pico (insolación).....	31
Figura 16: Espectro solar extraterrestre, espectro de un radiador integral a 5777 K y – espectro a nivel de tierra.....	34
Figura 17: Piranómetro con banda de sombra.....	34
Figura 18: Media anual de la irradiación solar estimada para el periodo 1998-2002 según modelo propuesto por Nelson Vera a través de imágenes del satélite NOAA	36
Figura 19: Instrumentos meteorológicos para la medida de la radiación	38
Figura 20: Pirheliómetro NIP montado sobre seguidor solar	40
Figura 21: Piranómetro SR11 de Hukseflux.....	43
Figura 22: Componentes de un piranómetro: 1 termopila, 2 cúpula exterior, 3 cúpula	44
Figura 23: Ejemplos de piranómetros sombreados para medir la difusa	45
Figura 24: Banda curvada larga.....	47
Figura 25: Heliógrafo de Campbell-Stokes	49
Figura 26: Intercambio térmico causante del zero offset	51
Figura 27: Offset nocturno para un 8-48 y un PSP	52
Figura 28: Transferencias de medidas al WRR	53
Figura 29: Efecto fotovoltaico	56
Figura 30: Celda solar Célula fotovoltaica	56
Figura 31: Celda solar Composición de una celda solar.....	57
Figura 32: Recubrimiento exterior de un Panel solar.....	58
Figura 33: Celdas, Módulos solares y Arreglos de módulos solares.....	58
Figura 34: Movimiento de Rotación de la Tierra	59
Figura 35: Movimiento de traslación de la tierra	60
Figura 36: Variación en la declinación por efecto del movimiento de traslación	60
Figura 37: Ubicación de un punto en la Tierra con latitud y longitud	61
Figura 38: Ubicación del Sol	62
Figura 39: Evolución de la programación.....	64
Figura 40: Principio de un VI, instrumento real y virtual.....	65

Figura 41: Ventana de inicio de LabVIEW 2012	65
Figura 42: Ventana de selección de proyecto nuevo	66
Figura 43: Ventanas del panel frontal y diagrama de bloques de un VI en blanco	67
Figura 44: Partes de un instrumento virtual (VI)	67
Figura 45: Paleta de herramientas.....	68
Figura 46: Barra de herramientas del panel frontal.....	69
Figura 47: Formas visibles de la paleta de controles.....	70
Figura 48: Categorías de la entrada MODERN	71
Figura 49: Categorías de la entrada MODERN	71
Figura 50: Categorías de la entrada MODERN	72
Figura 51: Categoría decoraciones de la entrada MODERN	72
Figura 52: Barra de herramientas del diagrama de bloques	73
Figura 53: Formas visibles de la paleta de funciones	74
Figura 54: Categorías de la entrada PROGRAMMING.....	74
Figura 55: Categorías de la entrada PROGRAMMING.....	75
Figura 56: Menús desplegables disponibles en LabVIEW	77
Figura 57: Ventanas desplegables de objetos	77
Figura 58: Ubicación geográfica satelital del lugar de desarrollo de la investigación.....	79
Figura 59: Mapa de ubicación del lugar de desarrollo de la investigación	80
Figura 60: Diseño experimental de la investigación	82
Figura 61: Base de datos obtenida aplicando la técnica de observación.....	86
Figura 62: Esquema del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público – en la UAP Filial Huancayo	87
Figura 63: Esquema del sistema de monitoreo automático (SAM) implementado en la- investigación	88
Figura 64: Esquema módulo fotovoltaico para monitoreo de potencia generada	90
Figura 65: TAD NI-USB 6008 de la marca National Instruments	91
Figura 66: Diagrama de bloques de la estructura interna de NI USB-6008	92
Figura 67: Sensor de corriente ACS712	94
Figura 68: Diagrama de conexiones del ACS712	95
Figura 69: Solarímetro marca BOECO modelo SM206	96
Figura 70. Pinza amperimétrica digital Prasek Premiun PR54	97
Figura 71. Multímetro digital modelo Prasek PR-75C para medir tensión	98
Figura 72. Inclínómetro de base magnética marca Johnson.....	98
Figura 73: Ventana principal del software iPANEL 1.0 para el monitoreo de la potencia- eléctrica generada	99
Figura 74: Ventana de configuración inicial del software iPANEL 1.0.....	100
Figura 75: Ventana de conectividad con la base de datos.....	100
Figura 76: Vista inicial de la ventana de conectividad con el equipo	101
Figura 77: Ventana de conectividad con el equipo	101
Figura 78: Inicio de la adquisición de datos en la ventana principal del software- iPANEL 1.0	102
Figura 79: Representación de datos procesados de voltaje en el día 04/07/2015.....	103
Figura 80: Esquema del sistema fotovoltaico (FV) implementado para alumbrado público- en la UAP Filial Huancayo	105

Figura 81: Instalación de los componentes en el poste solar	105
Figura 82: Paneles solares y luminarias LED instaladas en el poste solar	106
Figura 83: Baterías, controlador de carga y accesorios en la base del poste solar	106
Figura 84: Esquema del sistema de monitoreo automático (SAM) implementado en la- investigación	108
Figura 85: Componentes del sistema de monitoreo de potencia generada	108
Figura 86: Componentes del sistema de monitoreo de potencia generada	109
Figura 87: Pruebas de conectividad de sensores con la tarjeta de adquisición de datos	109
Figura 88: Adquisición en tiempo real de datos de potencia generada por el sistema- fotovoltaico.....	110
Figura 89: Adquisición en tiempo real de datos de amperaje registrado del sistema- fotovoltaico.....	111
Figura 90: Adquisición en tiempo real de datos de voltaje registrado del sistema – fotovoltaico.....	112
Figura 91: Adquisición en tiempo real de datos de energía generada por el sistema – fotovoltaico.....	112
Figura 92: Adquisición en tiempo real de datos de consumo de las luminarias	113
Figura 93: Base de datos de la investigación	113
Figura 94: Curva de potencia para el cálculo de la energía generada.....	116
Figura 95: Energía acumulada correspondiente al día 08/08/2015	116
Figura 96: Datos procesados de potencia generada en el día 04/07/2015.....	118
Figura 97: Datos procesados de voltaje registrado en el día 04/07/2015	119
Figura 98: Datos procesados de amperaje registrado en el día 04/07/2015.....	120
Figura 99: Datos procesados de energía generada durante el día 04/07/2015	120
Figura 100: Datos procesados de energía consumida del día 04/07/2015 al 05/07/2015	121
Figura 101: Resultados experimentales de potencia generada el día 05/07/2015	122
Figura 102: Resultados experimentales de energía generada el día 05/07/2015.....	122
Figura 103: Resultados experimentales de potencia generada el día 10/07/2015	123
Figura 104: Resultados experimentales de energía generada el día 10/07/2015.....	123
Figura 105: Resultados experimentales de potencia generada el día 11/07/2015	124
Figura 106: Resultados experimentales de energía generada el día 11/07/2015.....	124
Figura 107: Resultados experimentales de potencia generada el día 18/07/2015	125
Figura 108: Resultados experimentales de energía generada el día 18/07/2015.....	125
Figura 109: Resultados experimentales de potencia generada el día 19/07/2015	126
Figura 110: Resultados experimentales de energía generada el día 19/07/2015.....	126
Figura 111: Resultados experimentales de potencia generada el día 25/07/2015	127
Figura 112: Resultados experimentales de energía generada el día 25/07/2015.....	127
Figura 113: Resultados experimentales de potencia generada el día 26/07/2015	128
Figura 114: Resultados experimentales de energía generada el día 26/07/2015.....	128
Figura 115: Resultados experimentales de potencia generada el día 01/08/2015	129
Figura 116: Resultados experimentales de energía generada el día 01/08/2015.....	129
Figura 117: Resultados experimentales de potencia generada el día 02/08/2015	130
Figura 118: Resultados experimentales de energía generada el día 02/08/2015.....	130
Figura 119: Potencia consumida por la luminaria led	131

RESUMEN

EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO IMPLEMENTADO PARA ALUMBRADO PÚBLICO EN LA UAP FILIAL HUANCAYO.

Julio Alberto Meza Sovero¹

El presente trabajo tuvo como **propósito** instalar y evaluar el funcionamiento de un sistema fotovoltaico para alumbrado público en la UAP-Filial Huancayo, para ello se implementó un sistema automatizado de monitoreo de la potencia generada para el cálculo de la producción energética del panel, así como de su consumo y el rendimiento general del mismo. El **problema** determinar cuál es el porcentaje de rendimiento energético del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo, ante la problemática existente la investigación tuvo como **objetivo** evaluar el porcentaje de rendimiento energético del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo., al tiempo que se planteó la siguiente **hipótesis**: el sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP-Filial Huancayo alcanza un porcentaje de rendimiento energético mayor o igual al 95%.. **La metodología** utilizada en el estudio se realizó mediante la experimentación y recolección directa de datos del sistema fotovoltaico con ayuda del sistema de monitoreo automatizado (SAM), el cual emplea sensores de voltaje y corriente y un software que desarrolla el procesamiento y almacenamiento de la información en la base de datos, dichos datos fueron recolectados a una frecuencia de 1 muestra por cada 5 segundos. Los **resultados** encontrados correspondientes a toda la instalación fotovoltaica en promedio fueron que la energía generada diariamente es de 0.7916kW-h, asimismo se obtuvo el valor de 0.7997kW-h correspondiente a la energía consumida en promedio para un tiempo de operación de las luminarias led de 11horas, asimismo el rendimiento energético de la instalación a las condiciones de radiación solar de la ciudad de Huancayo resulto ser de 99.01% lo cual indica que las instalación opera de manera eficiente para cubrir la demanda energética requerida para alumbrado público en la UAP-Filial Huancayo, durante el tiempo de operación de las luminarias led que en promedio es de 11 horas.

Palabras Claves: fotovoltaico, automatización, panel solar, LabVIEW, rendimiento energético.

¹j.ms2110@hotmail.com

ABSTRACT

EVALUATION OF THE ENERGY PERFORMANCE OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IMPLEMENTED FOR PUBLIC LIGHTING IN THE SUBSIDIARY UAP HUANCAYO.

Julio Alberto Meza Sovero¹

The present study was aimed to install and evaluate the performance of a photovoltaic system for public lighting in the UAP-Subsidiary Huancayo, to do an automated system for monitoring the power generated to calculate energy production panel was implemented and their consumption and overall performance. The problem determining what percentage of energy efficiency of the photovoltaic system implemented for public lighting in Huancayo Subsidiary UAP, before the existing problems research was to evaluate the percentage of energy efficiency of the photovoltaic system implemented for public lighting in the Subsidiary UAP Huancayo ., while the following hypothesis is proposed: the photovoltaic system implemented for public alumbrad in Huancayo Subsidiary UAP-reaches a percentage greater than or equal to 95% energy efficiency .. The methodology used in the study was conducted through experimentation and direct data collection from the PV system using the automated monitoring system (SAM), which uses sensors voltage and current and a software developed by the processing and storage of information in the database, the data were collected at a frequency of 1 sample per 5 seconds. The results corresponding to the entire PV plant on average were that the energy generated is 0.7916kW-h daily, also the value of 0.7997kW-h corresponding to the energy consumed on average for an operating time of the LED luminaires won in 11 hours, also the energy efficiency of the installation to solar radiation conditions in the city of Huancayo found to be 99.01% which indicates that the system operates efficiently to meet the energy demand required for public lighting in the UAP-Subsidiary Huancayo, during the time of operation of the LED luminaires that on average is 11 hours.

Keywords: photovoltaic, automation, solar panel, LabVIEW, energy efficiency.

¹j.ms2110@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el consumo de energía eléctrica se ha incrementado a un ritmo superior al crecimiento económico ya que cumple necesidades del aparato productivo al estar íntimamente ligado al alcance de mayores niveles de vida de la sociedad en general, por lo que es necesario tomar acciones que impidan que aumente el índice físico del consumo energético, se deben identificar y emprender alternativas de eficiencia energética. Fomentar en las industrias una adecuada planificación de cargas, eliminando todas aquellas que no realizan trabajo útil en horarios de máxima demanda.

El monitoreo de las variables involucradas para el estudio del comportamiento del consumo de energía eléctrica, se ha convertido en materia de estudio para optimizar el diseño de sistemas o métodos de control y administración del suministro energético, que constituyen actividades, encaminadas, a optimizar el uso de la capacidad del equipo instalado, tanto de los usuarios como de los suministradores de energía eléctrica esto permite reducir o controlar la demanda en kW durante un período de tiempo, comúnmente en el horario de mayor costo de la energía, optimizando la operación de los equipos eléctricos sin afectar el proceso de producción.

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

En los últimos años se ha identificado un incremento sustancial de la utilización de la energía solar como fuente de generación de energía para su buen aprovechamiento se requiere de un adecuado diseño previa evaluación del rendimiento energético. Sin embargo, los sistemas convencionales de producción energética basado en energía fotovoltaica, ***evidencian limitaciones en el monitoreo de variables en tiempo real para evaluar su comportamiento.***

La presente investigación se enfoca en la evaluación de un sistema fotovoltaico, mediante el diseño y la construcción de un sistema capaz de monitorear las variables más relevantes, como es el caso de la potencia,

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

En el capítulo II se presentan las evidencias más importantes o antecedentes relacionados con la presente investigación en el ámbito nacional e internacional, motivo por el cual la tesis tiene bases sólidas, además se presenta la revisión bibliográfica y las fuentes que los distintos algoritmos para el control de procesos lo cual también es la base para el desarrollo del software.

En el capítulo III se describe el ámbito de la investigación, población, muestra así como el procesamiento de la información, en este capítulo se describe como se llegan a determinar las condiciones de operación más óptimas en el equipo de pruebas, condiciones que se mantuvieron constantes durante todo el experimento.

Finalmente en el capítulo IV se describe detalladamente el funcionamiento del sistema implantado y el procesamiento de los resultados experimentales obtenidos de la información enviada por los sensores y almacenada en la base de datos del software iPANELFV 1.0 desarrollado en LabVIEW y evaluadas a las condiciones de operación determinadas en el capítulo III, finalmente se hace la evaluación del sistema fotovoltaico para determinar su este opera a condiciones óptimas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

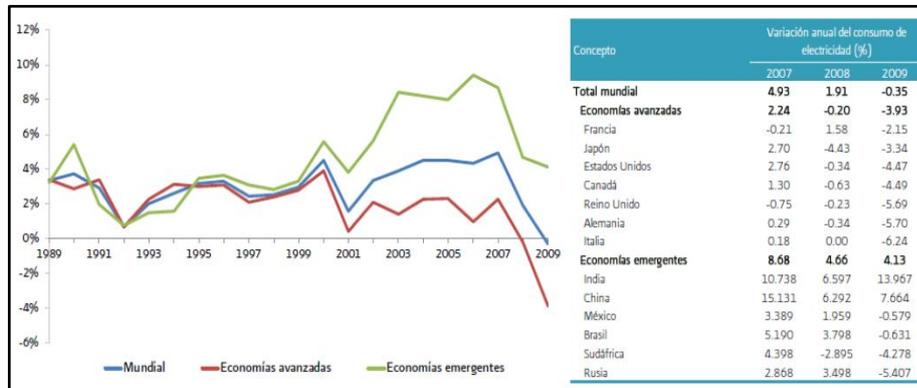
3.1.1. Caracterización de la realidad problemática

En los últimos años el consumo de energía eléctrica se ha incrementado a un ritmo superior al crecimiento económico ya que cumple necesidades del aparato productivo al estar íntimamente ligado al alcance de mayores niveles de vida de la sociedad en general, por lo que es necesario tomar acciones que impidan que aumente el índice físico del consumo energético, se deben identificar y emprender alternativas de eficiencia energética. Fomentar en las industrias una adecuada planificación de cargas, eliminando todas aquellas que no realizan trabajo útil en horarios de máxima demanda.

Sin embargo, es fácil percibir que algo se está malgastando cuando se observa una llave que derrama agua, combustible, petróleo, etc., pero cuesta percibir que está sucediendo igual cuando se deja encendida una lámpara, se tiene el radio, televisor mientras se está planchando o leyendo el periódico, esta realidad pone de manifiesto que la electricidad no es sólo ese enchufe donde se conectan los equipos, es el final de la inmensa cadena de recursos que se origina en las grandes centrales de generación y para llegar hasta un hogar debe ser generada en grandes y costosas plantas en el mismo instante en que se requiera, transportarse recorriendo kilómetros, utilizando inmensas torres, transformadores y grandes cantidades de cableado.

Como se nota este no es un problema nacional, la Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que el consumo energético aumentará principalmente en los países no miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en donde se espera un incremento importante en la demanda de energía que será necesario suministrar. Por su parte, en algunos países miembros de la OCDE, la variación será menor debido a que cuentan con patrones de consumo más estables.

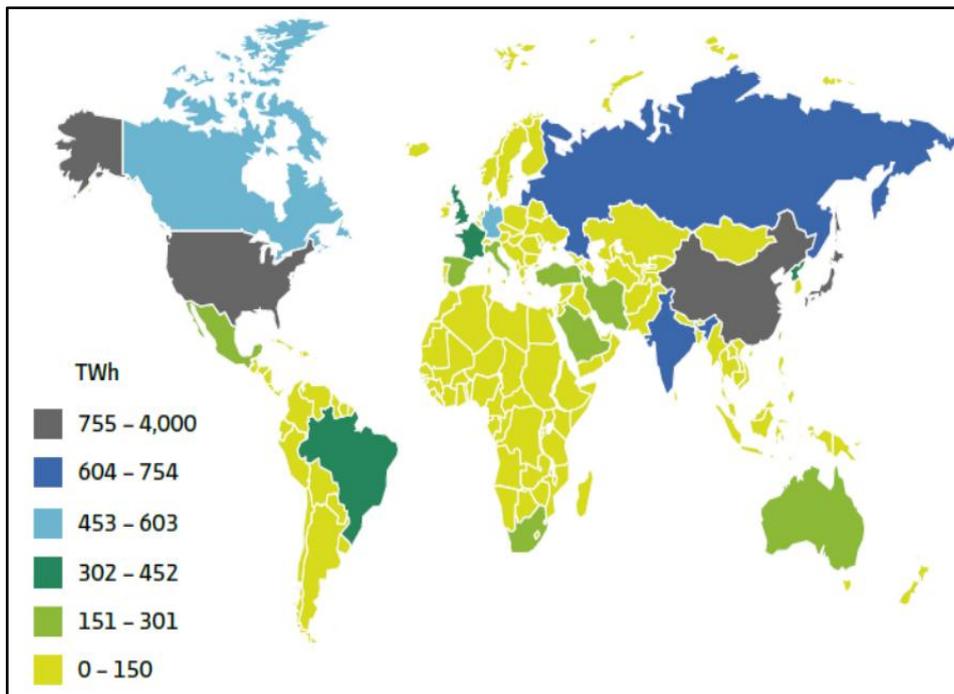
Figura 1: Consumo mundial de energía eléctrica 1980-2009 (variación anual)



Fuente: *Electricity Information 2011, Energy Balances of OECD Countries 2011, Energy Balances of Non-OECD Countries 2011*; Agencia Internacional de Energía.

En particular, el consumo de energía eléctrica tiene una relación directa con el desempeño de la economía. Por ello, el ritmo de recuperación en cada país será un factor determinante para la evolución del sector energético en los siguientes años.

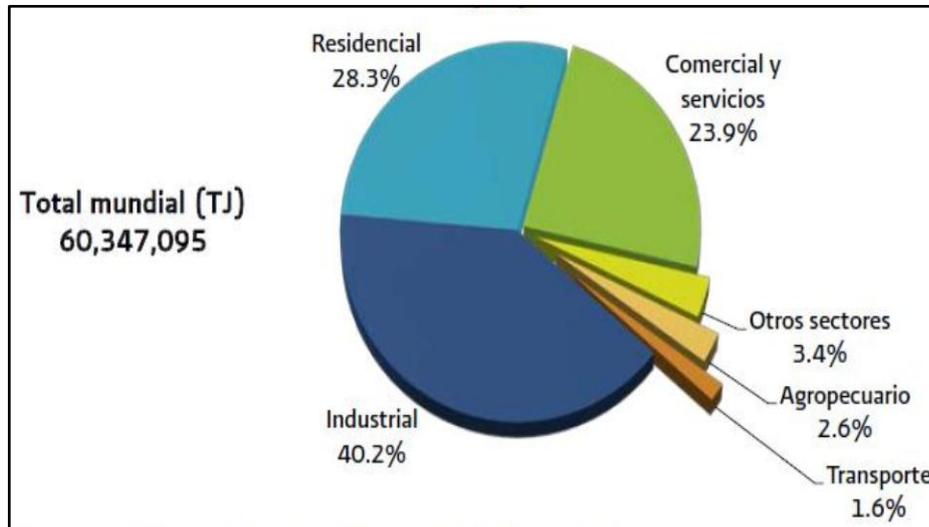
Figura 2: Consumo de energía eléctrica por país en el mundo (TWh) 2011



Fuente: *Electricity Information 2011, Energy Balances of OECD Countries 2011, Energy Balances of Non-OECD Countries 2011*; Agencia Internacional de Energía.

Respecto al consumo mundial de electricidad por uso final, la participación del sector industrial es la más significativa, con aproximadamente 40.2%, seguido de otros sectores como el residencial y comercial-servicios, con 28.3% y 23.9%.

Figura 3: Consumo final de energía eléctrica a nivel mundial (TW-h) 2011

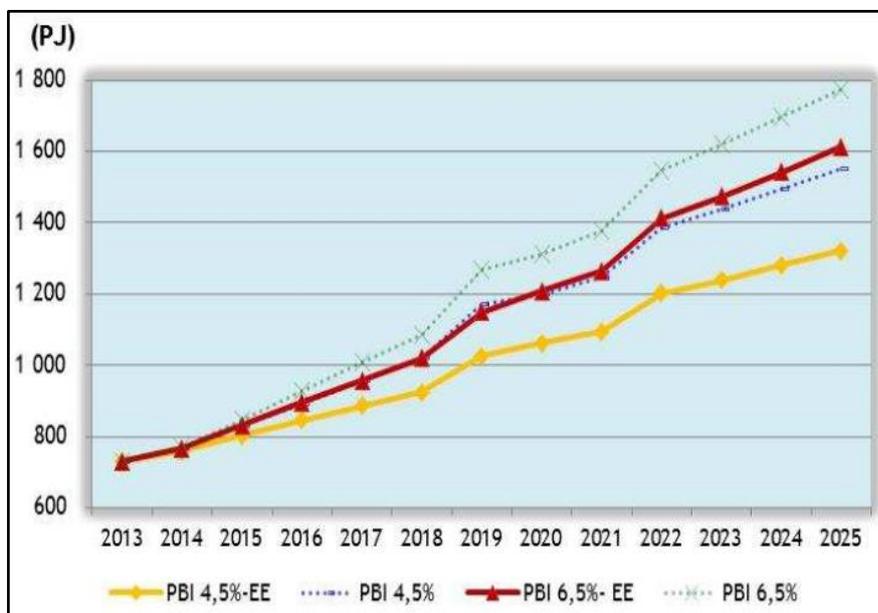


Fuente: *Electricity Information 2011, Energy Balances of OECD Countries 2011, Energy Balances of Non-OECD Countries 2011*; Agencia Internacional de Energía.

Dentro de este escenario el Perú no es ajeno a las tendencias mundiales, según el documento de trabajo del Plan Energético Nacional 2014-2025 (Ministerio de Energía y Minas-MINAM, 2014), tal como se aprecia en la figura 4, en el próximo periodo del 2014-2025, se espera que el consumo final de energía continúe creciendo en función al desarrollo de la economía interna, el aumento de la población urbana y la ampliación de la cobertura energética, a pesar de la aplicación de medidas de uso eficiente de la energía (EE) en los sectores residencial, servicios, industrial y transporte. Sin embargo, la dependencia a los combustibles fósiles seguirá siendo determinante, y la contribución de los hidrocarburos líquidos y gaseosos en la matriz energética alcanzará el 76%, ligeramente menor a la actual contribución que alcanza el 80%.

Por su parte, según la figura 5 el gas natural, la electricidad, el gas licuado de petróleo - GLP y el diésel, serán los recursos energéticos con mayor participación en la estructura del consumo final de energía, los energéticos con mayor tasa de penetración serán el gas natural y el GLP, mientras que el petróleo residual y los derivados de la biomasa (leña, bosta y yareta) tendrán menor participación, debido a su reemplazo en los mercados residenciales e industriales. Asimismo, **la contribución de las energías renovables no convencionales (solar, eólica, geotermia) aún será pequeña**; sin embargo, las energías renovables convencionales (hidroelectricidad) continuarán con una participación alta.

Figura 4: Proyección del consumo final de energía en el Perú al 2025



Fuente y elaboración: (Ministerio de Energía y Minas-MINAM, 2014)

El creciente consumo final de energía, que se estima pase de 800 miles de Tera Joule (TJ) a la fecha, a un rango entre 1'321 miles de TJ a 1'612 miles de TJ en el 2025, según el escenario de crecimiento del PBI, será abastecido con recursos energéticos internos y con tecnologías de generación de energía a costos competitivos, donde el gas natural será el recurso más utilizado en el consumo final como en el sector transformación. Las otras fuentes relevantes continuarán siendo la electricidad, el diésel y el GLP.

Figura 5: Estructura del consumo final de energía en el Perú por fuentes 2014-2025

Fuente	Año 2014	Año 2025 – PBI 4,5%	Año 2025 – PBI 6,5%
Electricidad	19%	18%	20%
Gas Natural	13%	35%	35%
Diésel	28%	19%	18%
GLP	10%	12%	12%
Gasolina Motor	8%	4%	4%
Turbo	5%	4%	4%
Petróleo Industrial	2%	0%	1%
Carbón Mineral & Derv.	3%	3%	3%
Bosta & Yareta	1%	1%	0%
Dendroenergía (*)	11%	4%	3%
Total	100%	100%	100%

(*) Incluye leña, carbón vegetal y bagazo.

Fuente y elaboración: (Ministerio de Energía y Minas-MINAM, 2014)

Derivado de la necesidad de disminuir los costos generados a manera de penalización por las elevaciones de potencia consumida ocurridas durante distintos instantes del día, y el consumo desmedido de energía en planta se observa lo siguiente:

- ✓ Es necesario establecer el uso masificado de las fuentes de energía renovables no convencional (solar, eólica, mareomotriz, etc) para abastecer la creciente demanda energética.
- ✓ Implementar el uso de la tecnología existente en plantas de generación de energía de fuentes renovables en las zonas que ofrezcan buen potencial eólico, solar, etc.
- ✓ Utilizar sistemas automatizados que permiten mejorar el rendimiento de los sistemas de generación fotovoltaica que se adapte de manera específica a los requerimientos de la demanda nacional.

Sin lugar a dudas, una de las aplicaciones que más se plantea para resolver el tema no solo de la demanda insatisfecha de energía en el Perú, sino también la de energía producir limpia, por ejemplo energía solar. Pues con ella somos capaces de suministrar energía eléctrica en lugares donde de otra forma no sería posible como el caso de las viviendas rurales o aisladas de la red, todo ello partiendo de los sistemas basados en paneles fotovoltaicos, también se tiene que actualmente en el Perú y en muchos países estos sistemas convencionales son fijos, es decir orientados hacia una misma dirección todo el tiempo lo que origina el problema que motivó la investigación: ***en la actualidad y hasta el 2025 las fuentes de consumo final de energía en el Perú serán la hidroelectricidad, gas natural, diésel y GLP, las mismas que generan directa o indirectamente impactos ambientales negativos.***

En relación a esta problemática también ***es conocido que los sistemas diseñados e implementados son muchas veces sobre o subdimensionados, es por ello que es de vital importancia evaluar el rendimiento energético de estos sistemas cuyas aplicaciones pueden ser diversas, de este modo se podría conocer con certeza si la cantidad de energía producida es suficiente, excedente o insuficiente para el consumo que fue motivo del diseño, frente a ello la presente investigación pretende evaluar este rendimiento mediante la implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real de la producción energética y del consumo.***

3.1.1. Formulación del problema

A continuación se presenta el problema principal y los específicos, respecto a la evaluación del rendimiento energético del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo.

.3.1.1.1 Problema General

¿Cuál es el porcentaje de rendimiento energético del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo?

.3.1.1.1 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las especificaciones técnicas del sistema fotovoltaico para alumbrado público a implementarse en la UAP Filial Huancayo?
- ¿Cuáles son los componentes de hardware y software requeridos para implementar el sistema de monitoreo que permita medir, almacenar y sistematizar los datos de potencia instantánea generada por el sistema fotovoltaico?
- ¿Cuánta energía eléctrica es producida y consumida diariamente por el sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público?
- ¿Cuánto es el rendimiento energético del sistema fotovoltaico instalado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo?

3.1.1. Objetivos de la investigación

.3.1.1.1 Objetivo General

Evaluar el porcentaje de rendimiento energético del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo.

.3.1.1.1 Objetivos Específicos

- Implementar y poner en funcionamiento el sistema fotovoltaico para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo.
- Implementar un sistema de monitoreo que permita medir, almacenar y sistematizar los datos de potencia instantánea generada por el sistema fotovoltaico.
- Evaluar la cantidad de energía eléctrica producida y consumida diariamente por el sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público.
- Evaluar el rendimiento energético del sistema fotovoltaico instalado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo.

3.1.1. Justificación de la investigación

.3.1.1.1 Legal

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

.3.1.1.1 Académica

El proyecto permitirá aplicar una serie de conocimientos adquiridos durante la formación académica de pre-grado en la carrera de ingeniería ambiental, en cuanto a su aplicación práctica mediante el modelamiento, la simulación, el diseño y evaluación de sistemas fotovoltaicos que permitieron conseguir el objetivo general de la investigación.

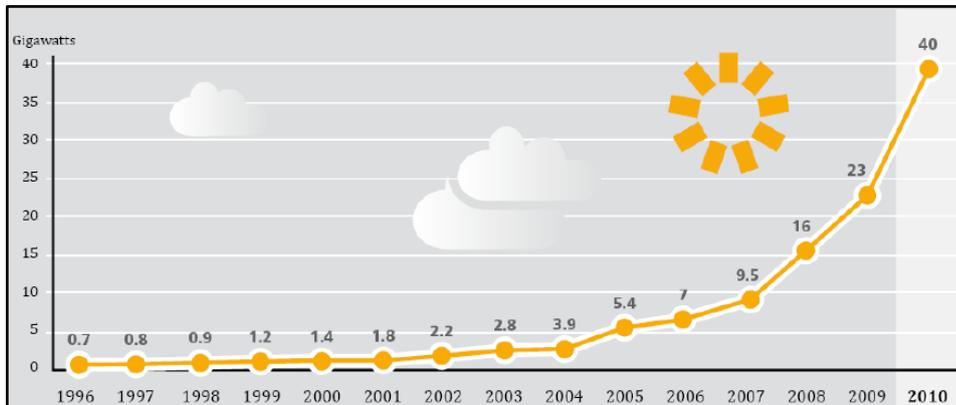
.3.1.1.1 Tecnológica

Con el uso de la tecnología que representa un sistema de adquisición automatizada de datos para evaluación del rendimiento en la producción energética de sistemas fotovoltaicos, el mismo que es utilizado en países industrializados para optimizar la eficiencia de sus procesos, entonces se justifica tecnológica dado a que **“Los procesos o sistemas que no operan con sistemas de control automatizados implementando tecnologías actualmente existentes se consideran procesos desfasados y poco eficientes”**.

Actualmente en el mundo está aumentando año a año el uso e implementación de estos sistemas en cuanto a la capacidad de potencia instalada de la energía solar fotovoltaica, durante el año 2010, se sabe que ha estado presente en más de 100 países, y que además es la tecnología que lidera en crecimiento (Figura 6). Se ha estimado que aproximadamente 17 GW de potencia han sido adicionados a la matriz energética mundial durante el 2010, alcanzando con ello un total de 40 GW que representa siete veces más que lo instalado en el 2005, con lo cual se evidencia que esta tecnología está en creciente desarrollo.

El mercado fotovoltaico ha estado determinado por la disminución de costos, nuevas aplicaciones, desarrollo de tecnología, fuertes inversiones, y un crecimiento sostenido de políticas favorables a su desarrollo.

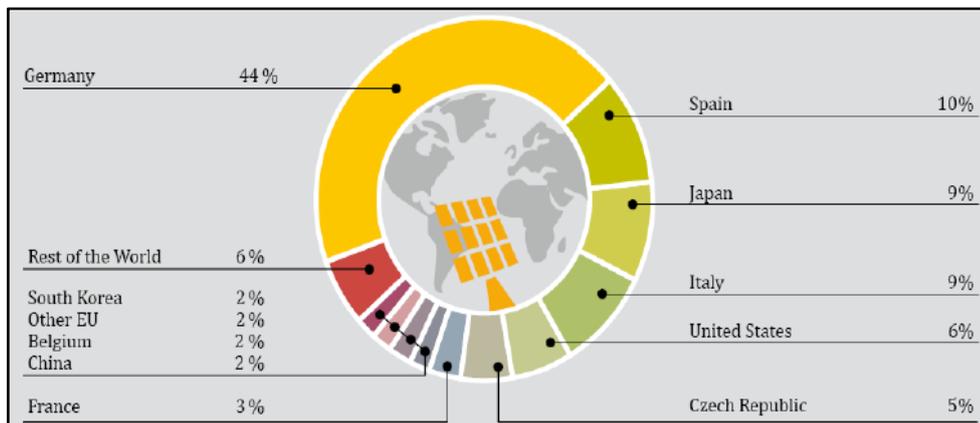
Figura 6: Capacidad mundial existente de la generación fotovoltaica



Fuente: (Horn, 2011)

Los países de la Unión Europea dominan el mercado mundial constituyendo el 80% con 13.2 GW, lo que representa el consumo eléctrico de 10 millones de familias, **durante el 2010, por primera vez en la historia, Europa ha adicionado más capacidad fotovoltaica que capacidad eólica, liderando este proceso Alemania e Italia.** Solo Alemania ha instalado más sistemas fotovoltaicos (7.4 GW) durante el 2010 que lo registrado en todo el mundo en años anteriores, terminando el año con 17.3 GW de capacidad existente como se aprecia en la figura 7.

Figura 7: Los diez primeros países con mayor capacidad fotovoltaica instalada 2010



Fuente y elaboración: (Horn, 2011)

Lo que evidencian las gráficas anteriores es que las grandes potencias como Alemania, Italia y los países de la Unión Europea están realizando en los últimos años importantes inversiones en el desarrollo y mejoramiento de tecnologías para la producción de energías renovables, en este contexto **contando con la tecnología adecuada en la instalación de sistema fotovoltaicos a precios más bajos en el tiempo, es preciso además una**

correcta instalación para asegurar un funcionamiento óptimo, con esto se justifica tecnológicamente el desarrollo de la presente tesis.

.3.1.1.1 Económica

Actualmente los países asiáticos son los que han invertido mayores cantidades de dinero en la producción de sistemas fotovoltaicos motivo por el cual son los líderes en producción a nivel mundial, esta tendencia encuentra explicación en la gran demanda de paneles solares existentes en los países en desarrollo, como el Perú, es así que en términos económicos ya que el Perú cuenta además con un importante índice de radiación solar, durante casi todo el año, si tomamos como base de cálculo un sistema compuesto por 5 paneles solares de 120W cada uno, tendríamos una potencia de 600W, si a este valor le multiplicamos por el horario pico solar promedio en el Perú de 5.24h/día (Orbegozo & Arivilca, 2010), obtenemos un valor de 3.144kW-h/día, este resultado puede expresarse en términos de costo teniendo en consideración el costo actual unitario en el Perú de S/. 0.42 el kWatt más impuestos, lo cual hace representa un monto de S/. 1.80 por día, en un mes representa S/. 54.00 y en un año hace un monto total de S/. 648.00, si multiplicamos este monto para una total de 100 familias beneficiadas hace un monto total de S/.64'800.00, y si se mejora la eficiencia en un 30% mediante un sistema automatizado tendríamos un monto S/.84'240.00 de que representa un ahorro para las familia en energía, lo cual representa en términos económicos también una atractiva manera de ahorrar en energía y de forma ecológica, entonces se justifica económicamente la implementación del proyecto.

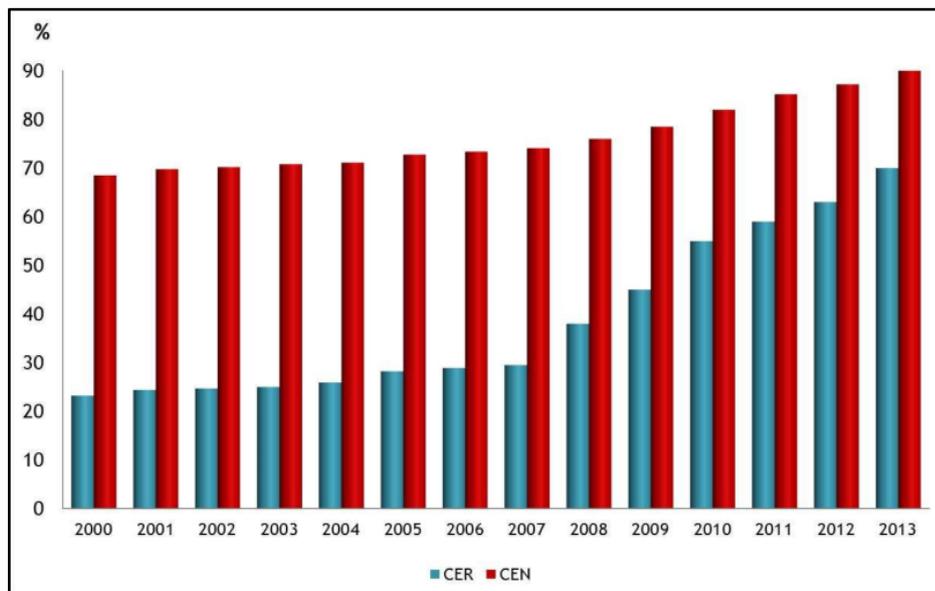
.3.1.1.1 Científica

En proyecto estará basado en la aplicación de la investigación científica, en la cual se seguirán las etapas como: diagnóstico, identificación de problemas, análisis de causas y efectos, formulación del problema y planteamiento de la hipótesis; precisando indicadores, su definición y cálculo para la obtención de resultados los cuales serán validados por instrumentos calibrados, también que el diseño aplicado es una propuesta tecnológica genuina e inédita, ya que se hace de uso de una tendencia denominada hardware libre, llamada Arduino al mismo tiempo el uso del software LabVIEW, entonces el proyecto se justifica científicamente.

.3.1.1.1 Social

En términos sociales un indicador relevante lo constituye el coeficiente de electrificación nacional (CEN) el mismo que creció de 68,5% en el 2000 a 90 % en el 2013, siendo en el sector rural (CER) de 70% para el 2013. Los departamentos menos electrificados fueron Loreto, Ucayali y Cajamarca. (Ministerio de Energía y Minas-MINAM, 2014)

Figura 8: Evolución del Coeficiente de Electrificación Nacional y del Coeficiente de Electrificación Rural 2000-2013



Fuente y elaboración: (Ministerio de Energía y Minas-MINAM, 2014)

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

.3.1.1.1 Ambiental

Se estima que en el 2025 las emisiones de Gases de Efecto Invernadero generadas por el consumo final de la energía en los diferentes sectores, fluctuaría entre 81 mil y 92 mil

Giga Gramos de dióxido de carbono equivalente (Gg de CO₂ eq), valores inferiores entre 15 % y 10%, respectivamente, a lo que habría resultado sin la aplicación de medidas de eficiencia energética en los sectores residencial, servicios, industria y transporte.

De otro lado, en el año 2025 las emisiones generadas por el proceso de transformación de la energía fluctuarían entre 41 mil y 51 mil Gg de CO₂ eq. (Ministerio de Energía y Minas-MINAM, 2014)

Desde la perspectiva del sector energético, se considera que las medidas aplicadas para lograr las reducciones de emisiones se intensificarán en la década siguiente y sin duda incorporarán:

- Incremento en las inversiones para intensificar la exploración de recursos energéticos y el desarrollo de infraestructuras de producción y transporte
- Eficiencia en el uso de la energía en general y de la electricidad en particular
- Aumento de la eficiencia en el sector residencial, industrial y transporte vehicular principalmente.

Frente a este contexto se ha identificado que para mejorar la eficiencia del uso de la energía en general que sea amigable con el medio ambiente, es preciso contar con investigaciones como la que se plantea en la presente tesis por este motivo su desarrollo se justifica ambientalmente.

3.1.1. Importancia de la investigación

Los programas de eficiencia y ahorro de energía junto con los de fuentes alternas de energía no son una moda sino se han convertido en una compromiso de la humanidad para atender serias amenazas en los aspectos económicos, energéticos y ecológicos, han penetrado de tal manera que forma parte de los planes nacionales de desarrollo de los últimos sexenios y del actual.

La tecnología de los sistemas de generación de energía fotovoltaica continúa avanzando en el mundo, sin embargo su introducción en el mercado peruano no ha sido exitosa debido a algunos de los siguientes factores:

- ✓ Desconocimiento del concepto de demanda facturable y demanda eléctrica máxima.
- ✓ Temor a tener pérdidas en la producción.
- ✓ Desconocimiento de los beneficios económicos que pueden lograrse.
- ✓ Desconocimiento de los horarios base, intermedio y punta.

- ✓ Los equipos provenientes del extranjero están configurados a especificaciones de operación diferentes a las necesarias en Perú.

Las fuentes de energía renovable; son fuentes de abastecimiento energético que respetan el medio ambiente durante el proceso de generación de electricidad, lo que no significa que no ocasionen efectos negativos sobre el entorno, pero éstos son infinitamente menores si los comparamos con los impactos ambientales de las energías convencionales (combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón; energía nuclear, etc.) y además son casi siempre reversibles.

Como ventajas medioambientales importantes podemos destacar la no emisión de gases contaminantes como los que resultan de la combustión de combustibles fósiles, responsables del calentamiento global del planeta (CO₂) y de la lluvia ácida (SO₂ y NO₂) y la no generación de residuos peligrosos de difícil tratamiento y que suponen durante generaciones una amenaza para el medio ambiente, como son los residuos radiactivos relacionados con el uso de la energía nuclear.

Según el estudio "Impactos Ambientales de la Producción de Electricidad", realizado por AUMA Consultora en Medio Ambiente y Energía; Barcelona, España; el impacto ambiental en la generación de electricidad de las energías convencionales es 31 veces superior al de las energías renovables, en este estudio, se analizaron los costos "externos" (externalidades) asociados a la generación de electricidad mediante diversos combustibles y tecnologías, cuantificándolos, económicamente. Los impactos analizados abarcan desde los efectos sobre la salud humana, en edificios, cosechas y ecosistemas, hasta el calentamiento global y la contaminación acústica.

La investigación empleada en dicho estudio, utiliza la metodología ascendente; midiendo las emisiones en origen y analizando los cambios en el aire, el suelo y la calidad del agua, antes de evaluar los impactos físicos y expresarlos después en términos económicos.

Los resultados muestran, por ejemplo, que las tecnologías eólicas son, en general, muy respetuosas con el medio ambiente, mientras que las tecnologías del carbón "cargan con el peso de sus elevadísimas emisiones de CO₂", y sobre todo SO₂ por el alto contenido de azufre del carbón mineral, asimismo la energía fotovoltaica ofrece una atractiva posibilidad de generar energía limpia y sostenible en el tiempo, de allí la importancia de su masificación.

3.1.1. Limitaciones de la investigación

.3.1.1.1 Limitación teórica

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

.3.1.1.1 Limitación metodológica

Dentro de las limitaciones metodológicas, de investigaciones ya desarrolladas basados en sistemas fotovoltaicos, se ha encontrado una importante limitación metodológica que conlleva a errores de medición la cual es la etapa de amplificación de la señal que debe a su vez compensar el efecto de la temperatura para estimar un valor real de la radiación solar, mediante el sistema propuesto se propone una solución con el uso de sensores calibrados cuyo funcionamiento ha sido probado en otros proyectos de investigación, aun así estos sensores tienen limitación en su funcionamiento cuando operan durante largos periodos de tiempo, esto constituye un limitación en la metodología experimental utilizada.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

.1 Marco referencial

2.1.1 Antecedentes de la investigación

Como parte de la investigación preliminar en bibliotecas y en centro de investigación, se ubicó un conjunto de tesis conteniendo aspectos de la medición y estimación de la radiación solar mediante piranómetros y otras técnicas; estas tesis y artículos científicos de carácter relevante son presentadas a continuación:

PRIMER ANTECEDENTE

Título: “SISTEMA DE PRONÓSTICO DE RADIACIÓN SOLAR A CORTO PLAZO A PARTIR DE UN MODELO METEOROLÓGICO Y TÉCNICAS DE POST-PROCESO PARA ESPAÑA”

Tipo de investigación: Tesis Doctoral

Autor: Rincón, Ángel

Universidad: Universidad Politécnica de Catalunya

Lugar donde se desarrolló la investigación: España

Año: 2013

Conclusión y resultados: Esta tesis presenta el desarrollo de un sistema de pronóstico de radiación solar basado en simulaciones del modelo meteorológico de meso-escala WRF-ARW, corrección del Bias de la radiación global mediante técnicas de post-proceso y estimaciones de radiación directa a partir de un modelo paramétrico. El modelo WRF-ARW es aplicado con una resolución espacial de 4kmx4km y temporal horaria sobre la península Ibérica. La evaluación anual de las simulaciones del modelo mediante 114 estaciones radiométricas distribuidas en España para el año 2004, muestra un rMBE de 9.8%, un rRMSE de 51% y un coeficiente de correlación r de 0.89 con los errores más significativos en primavera

($rMBE=14\%$, $rRMSE=42\%$ y $r=0.89$) y verano ($rMBE=11\%$, $rRMSE=37\%$ y $r=0.91$). La sobrestimación para condiciones de cielo despejado es superior a $80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ y la subestimación con valores inferiores a $-80 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ se presenta en condiciones de cielo completamente nublado para todo el rango del vector posición del Sol entre el horizonte y el cenit. (Rincón, 2013)

Metodología: Las técnicas de medición y post-proceso fueron implementadas y evaluadas en el Noreste de España (Cataluña) a través de 90 estaciones radiométricas son: Model Output Statistics (MOS), Artificial Neural Networks (ANN), Kalman Filter (KF) y método Recursivo (REC). A partir de la revisión bibliográfica, dichas técnicas son utilizadas para minimizar los errores sistemáticos de los pronósticos debido a las diferencias entre los resultados de las simulaciones y las observaciones. Con el propósito de obtener los mejores resultados, se han combinado los post-procesos KF y MOS, los cuales presentan un $rMBE$ anual promedio de 1.2% , un $rRMSE$ de 43% y un coeficiente de correlación de 0.92 . Los porcentajes de corrección anual son de 87% y 17% para el Bias y el RMSE, respectivamente.

Para la estimación de la radiación solar directa y las horas de Sol, se han evaluado cinco modelos de descomposición paramétrica. El modelo paramétrico de Macagnan que presenta el mejor comportamiento, realiza la estimación a partir del índice de transparencia atmosférica calculado mediante la radiación global corregida por los post-procesos KF y MOS. Las correcciones de la radiación global, la estimación de la radiación directa y la contabilización de las horas de Sol, son interpolados espacialmente a través del método geoestadístico de Kriging. Los resultados son evaluados para analizar las limitaciones de la interpolación en función al comportamiento geográfico y atmosférico de la zona de estudio.

Finalmente, el sistema es aplicado y evaluado en 48h de pronóstico del año 2009. Los resultados permiten analizar las correcciones de los post-procesos y las estimaciones de la radiación directa a partir de los elementos establecidos en el sistema de pronóstico con un alcance temporal de 48h . La aplicación de estas metodologías en un sistema de pronóstico permite analizar el impacto de la corrección del Bias, la estimación de la radiación directa y las horas de Sol a partir de

simulaciones de pronóstico meteorológico. Por lo tanto, los resultados proporcionan un relevante aporte para futuras aplicaciones de pronósticos de la radiación solar en este sector energético.

SEGUNDO ANTECEDENTE

Título: “DETERMINACION DE LA IRRADIACIÓN SOLAR SOBRE EL TERRITORIO DE CUBA A PARTIR DE IMÁGENES DE SATELITES”

Tipo de investigación: Artículo de investigación

Autor: Borrajero, Israel; Lavastida, Lourdes; Pelaez, Juan Carlos

Universidad: Instituto de Meteorología de Cuba

Lugar donde se desarrolló la investigación: Cuba

Año: 2005

Conclusión y resultados: En la investigación se presenta un método de estimación de la radiación solar global desarrollado el cual se ha obtenido resultados comparables a otros métodos revisados en la bibliografía. A diferencia de muchos de estos métodos, que han sido ajustados y refinados por sus autores a lo largo de varios años de trabajo, este es completamente nuevo y parte de un enfoque diferente, por lo que tiene un gran potencial de ajuste y sintonización, algunos cambios que pueden sugerirse son tomar distribuciones espaciales y temporales del albedo, del índice de aerosoles y el contenido total de ozono y no valores medios constantes, lo que mejoraría el desempeño del modelo de cálculo. También puede mejorarse el mecanismo de clasificación automática de nubes teniendo en cuenta otros canales de la transmisión del satélite y hacer un estudio más detallado de la atenuación de la radiación por los distintos tipos de nubes, basándose en las largas series de datos de las estaciones actinométricas manuales instaladas. (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

Metodología: Para el desarrollo de este trabajo se utilizó un método de clasificación automática de nubes aplicado a las imágenes de satélite geoestacionario GOES, basado en el concepto de los histogramas multidimensionales. Con la información obtenida de los tipos de nubes y con relaciones entre valores de radiación para distintas condiciones de nubosidad y ante cielo despejado, derivadas de tablas publicadas por Kondratiev (1969), se modificó la salida de un modelo físico de cálculo

de flujos de radiación y de esa forma se obtuvo la distribución de la irradiancia global para todos los píxeles de la imagen.

TERCER ANTECEDENTE

Título: “VARIACIÓN HORARIA DEL COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN DIFUSA MEDIDA POR UN PIRANÓMETRO FOTOVOLTAICO EN LA CIUDAD DE VIÇOSA-MG”

Tipo de investigación: Informe final de investigación en la Universidad Federal de Viçosa – UFV

Autor: Monteiro, Sílvia; Monteiro, Leila; Cavalcanti, Bérqson; Ribeiro; Aristides.

Universidad: Universidad Federal de Viçosa (UFV)

Lugar donde se desarrolló la investigación: Brasil

Año: 1999

Conclusión y resultados: Los datos experimentales para la elaboración de este trabajo se obtuvieron en el período del 17 al 25 junio 1999 en el campus de la Universidad Federal de Viçosa, en el intervalo de 10 horas por día entre el amanecer y el atardecer. Los datos recolectados fueron en intervalos de 1 muestra por minuto y se almacenan en un único valor medio del período de media hora, en donde los mismos se integraron para la obtención de los valores totales. Las variaciones horarias de la radiación difusa y global para diferentes días: el día 17 de junio de 1999 ocurrió el percentil más pequeño de la radiación difusa en relación a la radiación global, es decir, el 28% con un máximo de 200 W/m² a las 09:00 horas. También hubo pequeñas variaciones en la radiación global, siendo más observado a partir de las 11:00 en punto, debido al aumento de la nubosidad en esos horarios. Para el 18 de junio de 1999, la variación de los valores de la radiación global se observó, debido a la alta nubosidad en el día que. La radiación difusa llegó al 85% en relación con la tendencia global alrededor de las 9:00 en punto.

Los valores de máxima radiación difusa quedaron en promedio en torno a 48%, verificados en el período de mayor nubosidad ocurrido a las 9:00 horas, con una predominancia de nubes del tipo altocúmulos (AC) e altostratus (AS). El menor porcentaje encontrado de radiación difusa fue en el día 17 de junio, cerca de 28% en relación a la radiación global, eso implica decir que la radiación difusa está

directamente relacionada a la nubosidad, dado el hecho de que, en ese día el cielo estaba parcialmente nublado a claro. (Monteiro, Monteiro, Cavalcanti, Ribeiro, & Aristides, 1999)

Metodología: Los datos experimentales para la elaboración de este trabajo fueron obtenidos en el período del 17 al 25 de junio de 1999, en el campus de la Universidad Federal de Viçosa, en el intervalo de 10 horas al día a la salida y puesta del sol. Fueron utilizados piranómetros fotovoltaicos para medir la radiación solar global y la radiación solar difusa, siendo esta cubierta por un anillo sombreador conectado a un Data Logger, registrando las medidas en W/m^2 . Los datos recolectados fueron en intervalos de 1 en 1 minuto y almacenados en un único valor medio del período de media hora, donde los mismos fueron integrados para la obtención de los valores totales. La irradiancia difusa fue registrada por piranómetro cubierto con un anillo sombreador de 36.3cm de radio y 10,3cm de longitud, impidiendo la llegada de radiación directa al sensor del instrumento. Fue instalado de forma paralela al plano del ecuador, a un Angulo de inclinación relacionado a la vertical de la latitud local de Viçosa (20.75°). Fue utilizada en este trabajo la fórmula de Drummond, para hacer la corrección del efecto de la bóveda. Visto que, el anillo sombreador también impide parte de la llegada de la radiación difusa. Esta fórmula considera las dimensiones del anillo, el azimut del Sol saliente, la declinación del sol y la latitud local.

CUARTO ANTECEDENTE

Título: “DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE CONTRASTACIÓN DE RADIÓMETRO BASADO EN LÁMPARAS ELÉCTRICAS”

Tipo de investigación: Tesis de Pregrado

Autores: Assaf, Leonardo; Molina, Maria, Ortiz, Nieves; De Nobrega, Marcelo.

Universidad: Universidad Nacional de Tucumán

Lugar donde se desarrolló la investigación: Argentina

Año: 2009

Conclusión y resultados: En la investigación a fin de tener un seguimiento de la radiación, se utilizó un medidor de control, consistente en una cabeza radiométrica marca Optronic, formada con fotodiodos de silicio, conectado a un micro-voltímetro de alta impedancia marca HP 3458A. Se encendió el dispositivo con una frecuencia

mensual, durante un período de 20 minutos, tiempo suficiente para la estabilización. Se realizaron así mediciones sistemáticas mensuales, incluyendo espectrales con un espectrofotómetro, cada 60 días se midió con el piranómetro a los efectos de detectar eventuales diferencias, posicionándolo en el lugar específico sobre la base del soporte, para asegurar que reciba la misma porción de radiación. La serie de mediciones sucesivas permanecieron dentro de cierto rango de tolerancia. Las eventuales variaciones aleatorias o sistemáticas, dieron la validez al sistema propuesto, expresado por las tolerancias aceptables o no de la radiación brindada. Las mediciones comenzaron en el mes de Mayo, y demostraron alta estabilidad de la unidad en ensayo, aunque sea prematuro aún informar alguna tendencia sobre las características del sistema, en vista a ello, un lote de diferentes unidades y modelos, tales como la lámpara OSRAM HMI C/942 podrían ser probadas a fin de seleccionarse aquellas de mejor estabilidad, adaptando el procedimiento sugerido por la Comisión Internacional de Alumbrado (CIE, 1973). (Assaf, Molina, & De Nobrega, 2009)

Metodología: Se instaló en la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, El Colmenar, Tucumán, un piranómetro Kipp&Zonen CM6B primera clase, adquirido por el Laboratorio de Física de la Atmósfera de la UNT. Este instrumento cumple con las especificaciones de primera clase de la Guía para Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos de la Organización Meteorológica Mundial (Normas ISO 9060). La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, EEAOC, entidad fundada en 1909, es un ente autárquico del Gobierno de Tucumán, dedicado a la investigación y desarrollo de tecnología agroindustrial. Su sección Agrometeorología opera desde 1970 una red de estaciones meteorológicas distribuidas en la provincia de Tucumán. A partir de 1994 se instalan progresivamente estaciones meteorológicas automáticas. Desde fines del año 2005, cuenta con un total de 20 estaciones meteorológicas automáticas tele supervisadas (marca Davis, Modelo Vantage pro y Vantage pro II) que dan información en tiempo real. Las mismas están equipadas, entre otros, con solarímetros fotovoltaicos con sensores de fotodiiodo de silicio.

QUINTO ANTECEDENTE

Título: “SISTEMA AUTOMÁTICO BASADO EN COMPUTADORA PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN LA CIUDAD DE IQUITOS”

Tipo de investigación: Tesis de Pregrado

Autores: Díaz, Arturo; Velásquez, Manuel; Perdiz, José; Echevarría, Maritza; Avalo Carlos; Palacios, César.

Universidad: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana

Lugar donde se desarrolló la investigación: Ecuador

Año: 2008

Conclusión y resultados: Se consiguió el desarrollo de un sistema basado en computadora para la monitorización de la irradiación solar el cual tiene un comportamiento similar a otros instrumentos computacionales y su costo es 8 veces menor respecto a los instrumentos importados, el sistema satisface suficientemente la expectativa propuesta y proporciona datos necesarios para los grupos de investigadores en lo que respecta a estudios de la variabilidad climática en relación al medio ambiente, ecosistemas y biodiversidad. (Díaz, y otros, 2008)

Metodología: En el presente proyecto se desarrolló un sistema automático basado en computadora para la monitorización de la irradiación solar. La finalidad fue, complementar el desarrollo de un sistema integral para la vigilancia de la calidad del aire en la ciudad de Iquitos. El objetivo principal fue, la sistematización de un software elaborado para la adquisición, análisis y presentación de datos de modo numérico y gráfico, un módulo de amplificación y filtro RC para el tratamiento de las señales eléctricas y un solarímetro blanco y negro para registrar el fenómeno físico de la irradiación solar. La metodología consistió en elaborar cada parte del sistema, evaluar por separado cada componente, así como también el sistema en su conjunto, además de calibrarlo. Se ha seguido el procedimiento habitual para la medición de la irradiación solar y la monitorización de la irradiación solar, se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto de Investigación de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

Los materiales que se usaron fueron: una computadora laptop marca hp compact con procesador AMD Turion 64x2 , de 1,60 GHz, 1 GB memoria RAM, ranura PCMIA, en

soporte Windows 98, un software de programación gráfica de LabVIEW 6i, una tarjeta de adquisición de datos E Series Multifunción AI 16XE-50, cables de entrada y salida y un solarímetro de precisión Eppley modelo PSP, La metodología empleada para el desarrollo del sistema fue, el diseño, la construcción y evaluación el solarímetro en blanco y negro, el procesador de señales electromagnéticas, la elaboración del software aplicativo para la monitorización de la irradiación solar en soporte de LabVIEW 6i y la integración de los componentes. Posteriormente se calibro el sistema en su conjunto y se evaluó.

SEXTO ANTECEDENTE

Título: “ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR”

Tipo de investigación: Informe Técnico, realizado con el apoyo de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE)

Autor: Guevara, Sixto

Universidad: Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (UNATSABAR)

Lugar donde se desarrolló la investigación: Perú

Año: 2003

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

Metodología: En la investigación se empleó un solarímetro casero, este solarímetro casero determina la radiación solar instantánea y está construido con materiales sencillos y de fácil adquisición, compuesto básicamente por un cuerpo opaco hueco, lleno de agua. En uno de sus extremos cuenta con un termómetro. A manera de protección para eliminar la influencia del viento, el cuerpo opaco es sostenido en el interior de una cápsula transparente, este solarímetro casero está en la capacidad de

medir la radiación solar total, ya sea, sobre un plano horizontal, un plano inclinado o un plano normal a la radiación. El tiempo de respuesta de este equipo suele estar entre tres a seis minutos, dependiendo del valor de la intensidad de la radiación solar. La operación del equipo consistió en medir el tiempo que demanda un incremento determinado de temperatura. Estos datos se ingresan en la "ecuación del solarímetro", para obtener finalmente el valor de la radiación solar instantánea. A partir de este valor, se determinó la cantidad de energía solar diaria mediante la integración de valores hallados cada hora en el transcurso del día, la ecuación considera una constante, la cual es propia del solarímetro casero en cuestión. Esta constante fue determinada a partir de la calibración con un solarímetro de referencia Haeni Solar 130. Mediante esta ecuación fue posible determinar la curva de irradiación solar diaria en función a la irradiancia, y luego mediante el método del trapecio se estimó el área bajo la curva resultando ser el valor de la irradiación solar diaria.

.2 Marco legal

Como parte de la investigación preliminar se realizó una revisión del marco legal existente, describiendo hechos importantes relacionados con la normativa vigente correspondiente a la implementación de sistemas fotovoltaicos para la generación de energía eléctrica, se hace referencia a los Lineamientos de Política del Sector Energía y Minas, los Planes de Desarrollo Concertados y el Programa Multianual de Inversión Pública, en el contexto nacional, regional y local, también es importante tomar en cuenta los alcances del Plan Nacional de Electrificación Rural elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, así como la normativa o directivas emanadas del gobierno nacional, regional o municipal, aplicables a la electrificación rural mediante sistemas fotovoltaicos:

- Ley General de Electrificación Rural - Ley N° 28749.
- Reglamento de la Ley de Electrificación Rural - Decreto Supremo N° 025-2007-EM.
- Ley de Concesiones Eléctricas - Decreto Ley N° 25844.
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales - Resolución Directoral N° 016-2008-EM/DGE.
- Decreto Legislativo que regula la inversión en Sistemas Eléctricos Rurales (SER) ubicados en zonas de concesión - Decreto Legislativo N° 1001.

- Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) actualizado y Código Nacional de Electricidad.
- Normatividad Técnica de Diseño y Construcción para la Elaboración de los Estudios de un proyecto de electrificación rural.
- Plan de Acceso Universal a la Energía 2013-2022.
- Ley N° 28832, Ley para asegurar el desarrollo eficiente de la Generación Eléctrica.
- Decreto Supremo N°064-2010-EM la Política Energética Nacional del Perú (PENP) de largo plazo (2010 - 2040)

.3 Marco conceptual

.3.1 Energía solar

Para comprender de dónde procede la energía del Sol debemos transportarnos al interior de esta estrella gaseosa de casi 700 mil km de radio, debido a la inmensa fuerza de gravedad y a temperaturas de 16 millones de grados en el interior del Sol, dos átomos de hidrógeno se fusionan en uno de helio y la diferencia de masa se convierte en energía (recordemos que $E = m \times c^2$). La temperatura exterior del Sol, que en realidad es la de la fotosfera que es la parte del Sol que vemos desde la Tierra, es de 5.780 grados Kelvin. Cero grados Kelvin (0 K) es la temperatura del cero absoluto, es decir ningún elemento puede ser más frío que ese límite, y equivale a -273°C . (Sánchez, 2013)

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

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

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

- **Dispersión:** Su densidad alcanza 1kW/m^2 , muy por debajo de otras densidades energéticas, lo que hace necesarias grandes superficies de captación o sistemas de concentración de los rayos solares.

- **Intermitencia:** Hace necesario el uso de sistemas de almacenamiento de la energía captada.

Uno de los principales factores que repercute en la cantidad de energía recibida es la atmósfera del planeta ya que ella actúa como un filtro al flujo energético incidente, tal como se observa en la Figura 03.

Algunos datos de interés:

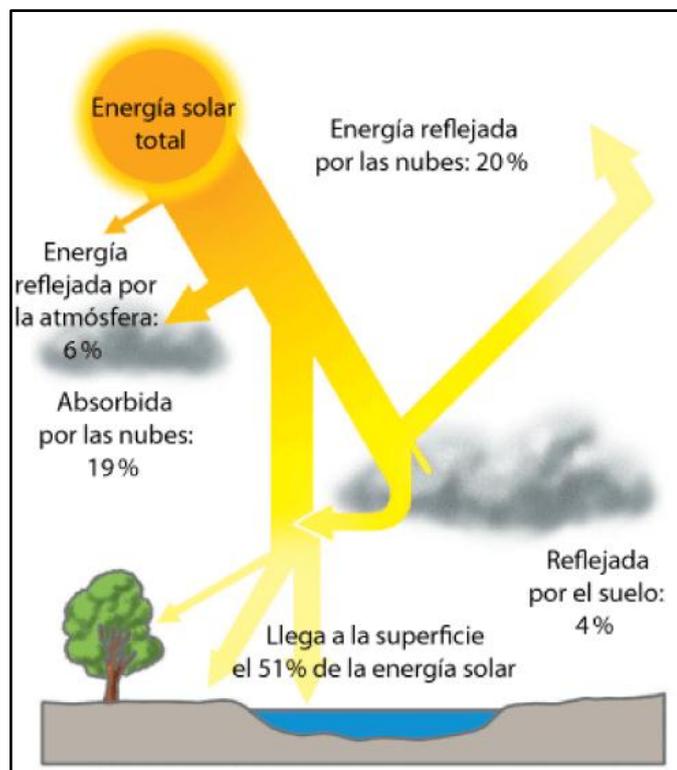
- Potencia del Sol = 4×10^{26} W

- Energía del Sol que llega a la Tierra = 5.5×10^{24} J/año

- Intensidad de radiación que llega en las capas altas de la atmósfera = 1.38 kW/m^2 .

- Intensidad de la radiación que llega a la superficie terrestre = 900 W/m^2

Figura 9: Pérdidas de energía solar en la atmósfera



Fuente: (Jutglar, 2011)

.3.2 Radiación Solar

La radiación que emite un cuerpo en función de la temperatura viene dada por la ley de Stefan-Boltzman:

$$M = \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

Donde:

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

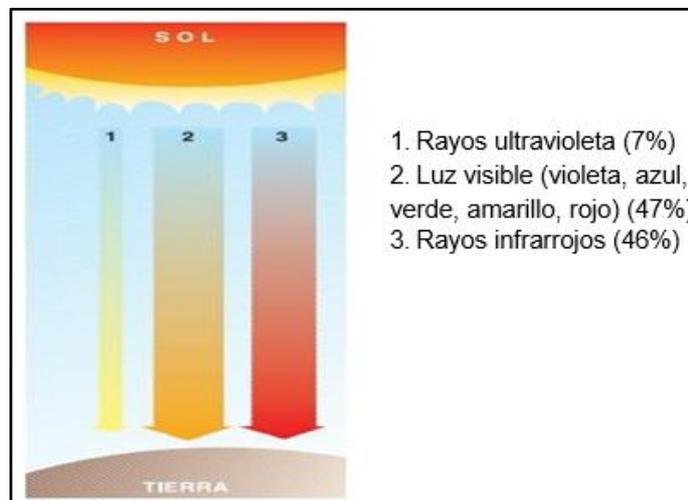
σ = Constante de Stefan-Boltzman = 5.67×10^{-8} [W m⁻² K⁻⁴]

T = Temperatura del cuerpo en K

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). Aproximadamente la mitad de las que recibimos, comprendidas entre 0,4 μ m y 0,7 μ m, pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible, de la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta, tal como se puede observar en la Figura 16.

Unidades: W/m² (Beltrán, 2013)

Figura 10: Radiación Solar sobre la tierra



Fuente: Ente Vasco de la Energía

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

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

- **Radiación difusa:** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, se denomina difusa, y va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc.
- **Radiación reflejada o albedo:** Es como su nombre indica aquella reflejada por la superficie terrestre.
- **Radiación global:** Es la radiación total, es decir, la suma de las tres radiaciones anteriormente descritas.

El Sol irradia energía en todas las direcciones y parte de este flujo llega a la tierra a través del espacio vacío. Para calcular la radiación del Sol que llega a 1m^2 de la tierra procedemos de la siguiente manera (Sánchez, 2013), algunos datos de interés referentes al sol se presentan en la tabla siguiente:

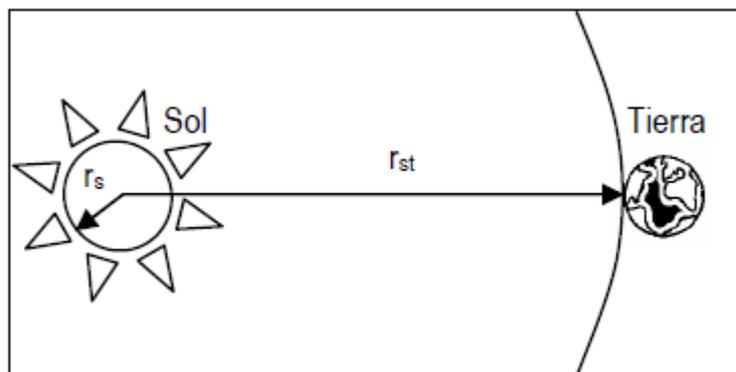
Tabla 1: Datos importantes referentes al sol

Dato	Símbolo	Valor
Radio del Sol	r_s	695500km
Distancia media Sol-Tierra	r_{st}	$149.6 \times 10^6\text{km}$
Temperatura en la superficie del Sol	T_s	5780K

Fuente: (Sánchez, 2013)

Una representación gráfica de los datos presentados en la tabla anterior, se muestra en la figura siguiente:

Figura 11: Representación espacial de la distancia entre el sol y la tierra



Fuente: (Sánchez, 2013)

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

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

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

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

$$M_{sol} \times A_{sol} = M_{tierra} \times A_{sol-tierra} \quad (3)$$

También de la figura 17 se tiene que:

$$A_{sol} = \pi \cdot r_s^2 \quad (4)$$

$$A_{sol-tierra} = \pi \cdot r_{st}^2 \quad (5)$$

Reemplazando ecuaciones 4 y 5 en 3, tenemos:

$$M_{tierra} = M_{sol} \times \frac{A_{sol}}{A_{sol-tierra}} \quad (6)$$

Lo cual es equivalente a:

$$M_{tierra} = M_{sol} \times \left(\frac{r_s^2}{r_{st}^2} \right) \quad (7)$$

Finalmente reemplazado valores:

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

$$M_{tierra} = 1367.8 W/m^2 \quad (8)$$

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

.3.3 Evolución de la constante solar

En el tope de la atmósfera, a una distancia promedio de 150×10^6 Km del sol, el flujo de energía de onda corta interceptada por una superficie normal a la dirección del sol en vatios por metro cuadrado (W/m^2) es llamada constante solar. Midiendo su variabilidad en el espacio y en el tiempo sobre el globo se puede definir el forzamiento radiactivo básico del sistema climático. Este valor da una idea de los valores que se registran en el tope de la atmósfera y de los valores que finalmente llegan a la superficie de la tierra durante el

día como consecuencia de las “pérdidas” de radiación por fenómenos (procesos de atenuación) como la reflexión, refracción y difracción durante su trayectoria.

Según el Centro de Referencia Radiométrica Mundial (World Radiometric Reference - WRR) del Centro Mundial de Radiación (World Radiation Center - WRC), la constante solar tiene un valor aproximado de:

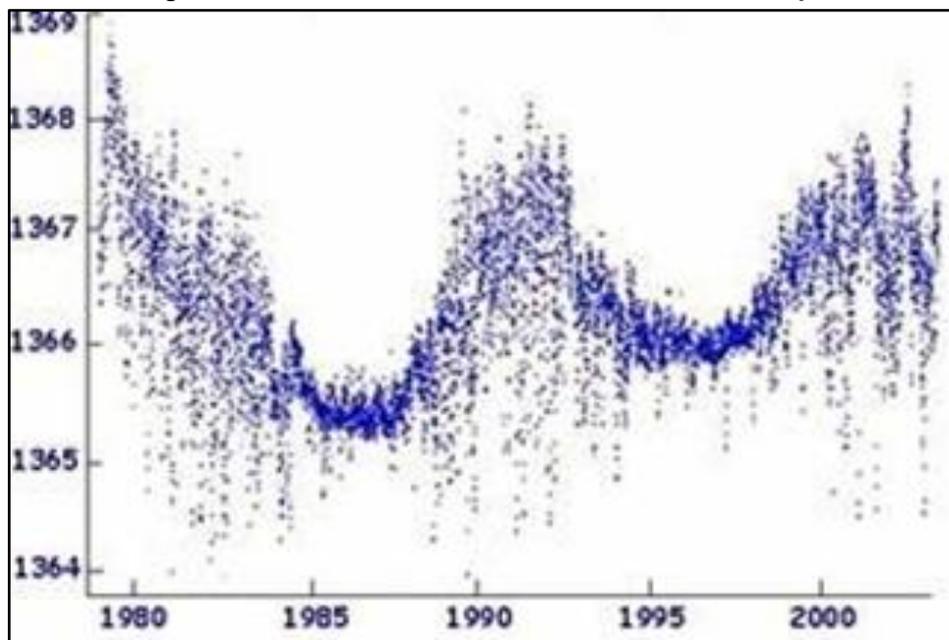
$$I_0 = 1367.8 \text{ W/m}^2 \quad (9)$$

$$I_0 = 433.3 \text{ BTU/ft}^2 \cdot \text{h} \quad (10)$$

$$I_0 = 1.96 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{min} \quad (11)$$

La figura siguiente, muestra la constante solar medida por satélites en W/m^2 durante el período 1978-2003. En esta figura se observa que la constante varía con el tiempo, así como un leve aumento en los mínimos de la misma. También se aprecia el ciclo solar, en el cual cada 11 años se presenta un máximo en la constante.

Figura 12: Evolución de la constante solar en el tiempo



Fuente: NASA

3.4 Irradiancia (I)

El término radiación se utiliza habitualmente en un sentido genérico. **La energía incidente sobre una superficie, por unidad de tiempo y de área, se denomina irradiancia (I), y se mide normalmente en Watios por metro cuadrado (W/m^2).**

La irradiancia también se define como la irradiación instantánea, debido a que es el valor instantáneo de la energía que llega por cada unidad de tiempo y por unidad de área. La irradiancia se especifica por cada punto de una superficie y en muchos casos, varía de un punto a otro dependiendo de la latitud y la longitud del lugar.

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

Figura 13: Solarímetro marca BOECO modelo SM206



Fuente y elaboración: www.boeco.com

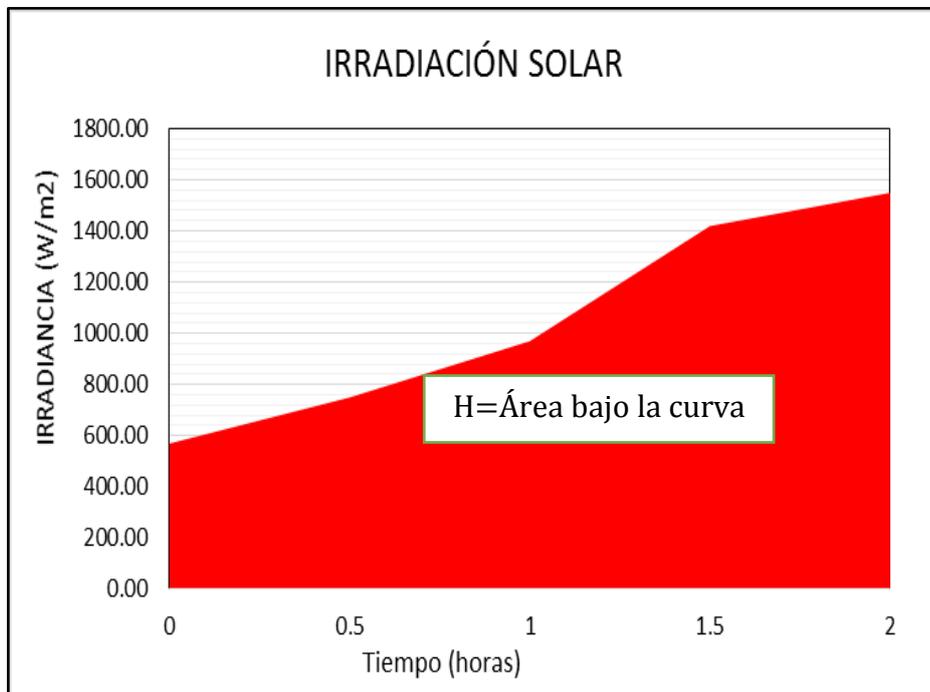
3.5 Irradiación (H)

Se define como **la energía incidente sobre la superficie terrestre por unidad de área, durante un determinado período de tiempo, se denomina irradiación (H)** y se obtiene de la anterior por integración respecto del tiempo:

$$H = \int I(t)dt \quad (12)$$

Unidades en el S.I.: $kW \cdot h/m^2$

Figura 14: Estimación de la irradiación solar



Fuente y Elaboración: (Carrasco, 2010)

.3.6 Irradiación solar diaria, insolación diurna o radiación solar diaria (R)

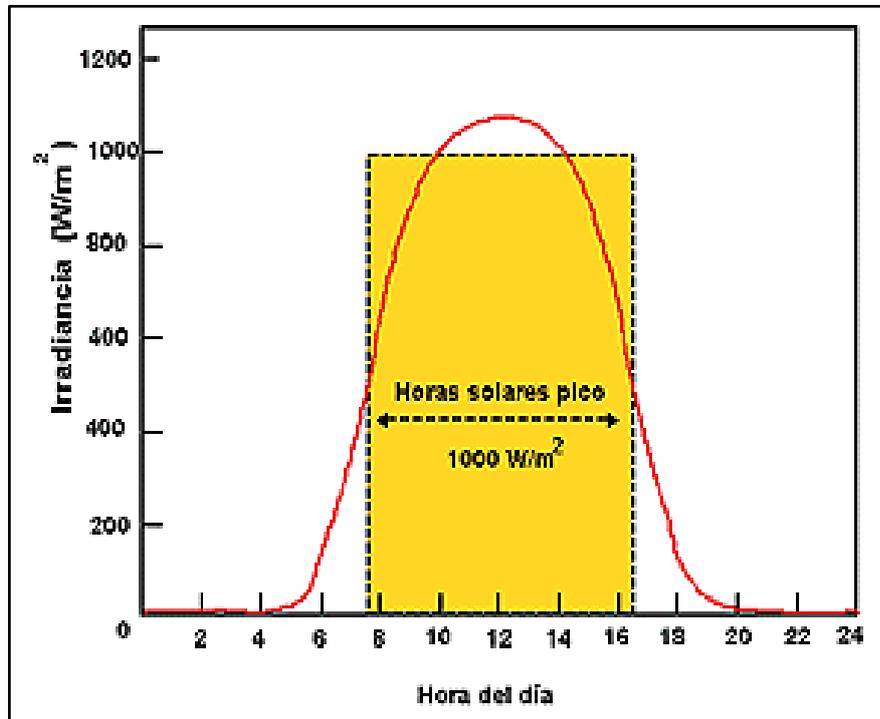
La Irradiación Solar o insolación diurna es denominada usualmente también como radiación solar diaria aunque este término es muy genérico como ya se mencionó, **si la irradiación solar (H) se mide durante el periodo de tiempo de un día desde la salida hasta la puesta del sol esta se denomina Irradiación diaria.**

También se define como **la cantidad de energía en forma de radiación solar por unidad de área que llega a la superficie terrestre en un día concreto (insolación diurna) o en un año (insolación anual).**

Unidades en el S.I.: $W - h/m^2 día$

La Irradiación solar **es el área bajo la curva que corresponde a la irradiancia (I) registrada durante un día**, aunque una aproximación puede ser calculando el área del rectángulo generado por una irradiancia de $1000 W/m^2$ multiplicado por las Horas Pico Solar (HPS) durante un día.

Figura 15: Curva de Irradiancia diaria y horas solares pico (insolación)



Fuente: Instituto de Investigaciones de Chihuahua

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

Tabla 2: Irradiación solar diaria media (Huancayo)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Media
$I(\text{kWh/m}^2)$	5	4,9	4,7	4,7	4,6	4,4	4,5	4,8	4,9	5,3	5,4	5,2	4,9

Fuente y Elaboración: Estación Climatológica del Huayao IGP 2012

La Tabla 3, muestra que el uso de la energía solar en América Central y América del Sur es muy recomendable debido a que los niveles de insolación son altos o muy altos.

Para el caso en estudio se observa que la energía útil que produce el arreglo fotovoltaico es directamente proporcional a la insolación que recibe. La Figura 19, muestra las horas solares pico durante un día soleado.

Tabla 3: Promedio de los niveles de insolación en base a valores de la NASA de los últimos 22 años

País	Ciudades	Nivel de insolación (W-h/m ² /día)
Costa Rica	San José	5,55
El Salvador	San Salvador	5,43
Guatemala	Guatemala City	5,41
Honduras	Tegucigalpa	5,41
Nicaragua	Managua	5,48
Panamá	Panamá City	5,83
Jamaica	Kingston	5,35
Puerto Rico	San Juan	6,09
Colombia	Bogotá	5,78
Colombia	Cali	5,66
Colombia	Cartagena	5,51
Colombia	Medellín	5,72
Ecuador	Guayaquil	5,39
Ecuador	Quito	5,46
Perú	Arequipa	6,94
Perú	Lima	5,25
Argentina	Buenos Aires	5,07
Argentina	Córdoba	5,36
Bolivia	La Paz	6,03
Bolivia	Santa Cruz	6,17
Paraguay	Asunción	6,18
Venezuela	Caracas	6,24
Venezuela	Maracaibo	5,83
Venezuela	Valencia	6,08

Fuente: NASA

Elaboración: (Moro, 2010)

Horas pico solar (HPS)

Se denomina así al número de horas de radiación solar efectiva (1000 W/m²) en un día, también se entienden como las horas de luz solar tomadas a una Irradiancia de referencia de 1000 W/m² en un día.

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

$$H = I \times HPS \quad (13)$$

Donde:

H = Irradiación solar diaria (kW - h/m. día)

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

HPS = Número de horas pico solar (*horas*)

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

.3.7 Medición de la radiación solar

.3.7.1 Medida y registro de la radiación solar

La radiación emitida por el Sol se distribuye en un amplio espectro de longitudes de onda, como se puede observar en la figura, correspondiendo la mayor parte de la energía irradiada, a la porción comprendida entre 0.2 y 3.0 μm , con una distribución espectral muy similar a la producida por un radiador integral (cuerpo negro) a 5777 K. Alrededor de la mitad de dicha energía se encuadra dentro de la banda visible (0.39-0.77 μm). El resto corresponde casi por completo a radiación infrarroja, con un pequeño porcentaje de radiación ultravioleta.

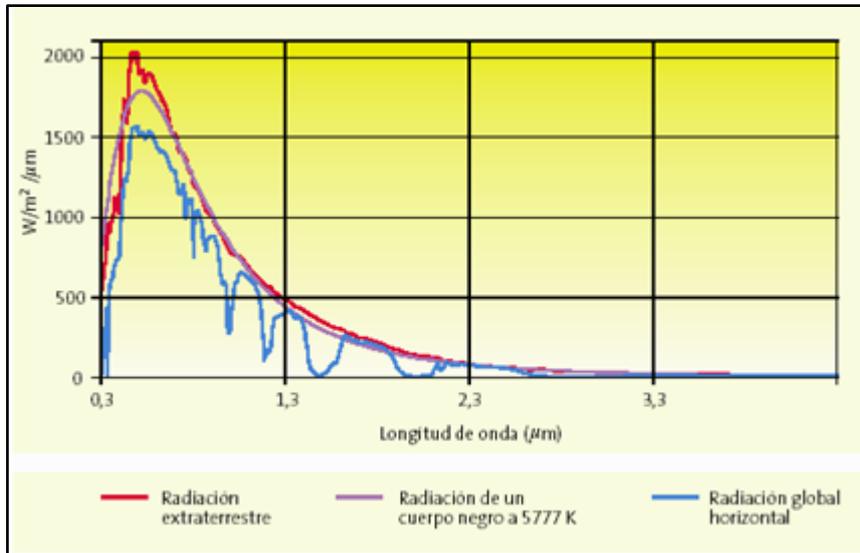
La distribución espectral de la radiación solar, ha sido estudiada por muchos investigadores, llegándose a propuestas diferentes aunque próximas. Las más conocidas son las de Jonson y Thekaekara (NASA) y la de Frölich y Wehrli del WRC.

- **La radiación solar.**- se mide usualmente mediante instrumentos especiales destinados a tal propósito denominados radiómetros. Existen varias clases de radiómetros, dependiendo del tipo de radiación a medir.

- **La radiación global.**- se mide generalmente sobre una superficie horizontal con un instrumento de medida denominado piranómetro. La mayoría de los piranómetros se basan en la medida de la diferencia de temperaturas entre dos superficies, una blanca y otra negra, encerradas en una cámara semiesférica de vidrio.

- **La radiación difusa.**- se mide también sobre una superficie horizontal con un piranómetro, que incorpora un disco o una banda sombreadora, para evitar la visión del disco solar (lo que elimina la componente directa) en su recorrido diario.

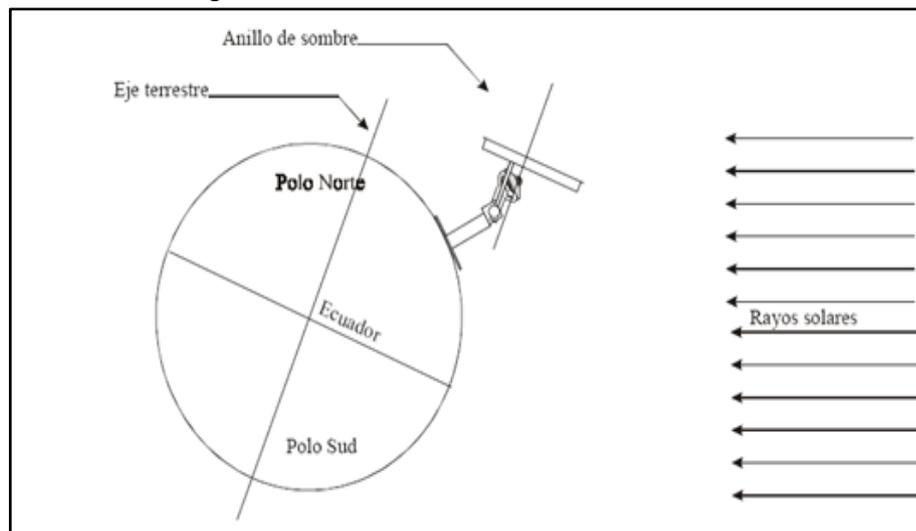
Figura 16: Espectro solar extraterrestre, espectro de un radiador integral a 5777 K y espectro a nivel de tierra



Fuente y Elaboración: (Carrasco, 2010)

Por el contrario, la radiación directa se mide sobre una superficie normal a los rayos solares, mediante un instrumento denominado pirheliómetro y que consiste básicamente (igual que los piranómetros) en un par termoelectrónico con una de sus uniones situada sobre una superficie receptora ennegrecida, alojada en el interior de un tubo, que se dirige constantemente hacia el Sol. Por lo tanto, el pirheliómetro ha de estar acoplado sobre una montura ecuatorial y provista de un mecanismo de seguimiento del disco solar.

Figura 17: Piranómetro con banda de sombra



Fuente y Elaboración: (Carrasco, 2010)

El término radiación se utiliza habitualmente en un sentido genérico. **La energía incidente sobre una superficie, por unidad de tiempo y de área, se denomina irradiancia (I)**, y se mide normalmente en Watios por metro cuadrado (W/m^2). **La energía incidente sobre esa misma superficie, por unidad de área, durante un determinado período de tiempo, se denomina irradiación (H)** y se obtiene de la anterior por integración respecto del tiempo:

$$H = \int I(t)dt \quad (14)$$

La irradiación se mide en el S.I. en Julios por metro cuadrado (J/m^2). Otras unidades usuales son el Julio por centímetro cuadrado (J/cm^2) o el Watio hora por metro cuadrado ($W-h/m^2$). Las unidades basadas en la caloría ($1cal = 4.1868Julios$) o en la BTU, como la caloría por centímetro cuadrado (cal/cm^2), también denominada Langlio, son poco utilizadas. Además, siempre debe hacerse constar junto a la irradiación, el período de integración utilizado (horario, diario, etc.).

Así pues, **la irradiancia es la potencia instantánea de la radiación (W/m^2)**, mientras **que la irradiación es la energía recibida en un determinado período de tiempo ($W - h/m^2$)**, ambas por unidad de área de la superficie receptora. No obstante, puesto que la radiación solar no manifiesta por lo general cambios bruscos en su magnitud, en algunos textos se toma irradiación por irradiancia, en períodos cortos (de como máximo una hora), por lo que entonces:

$$H = I\Delta t \quad (15)$$

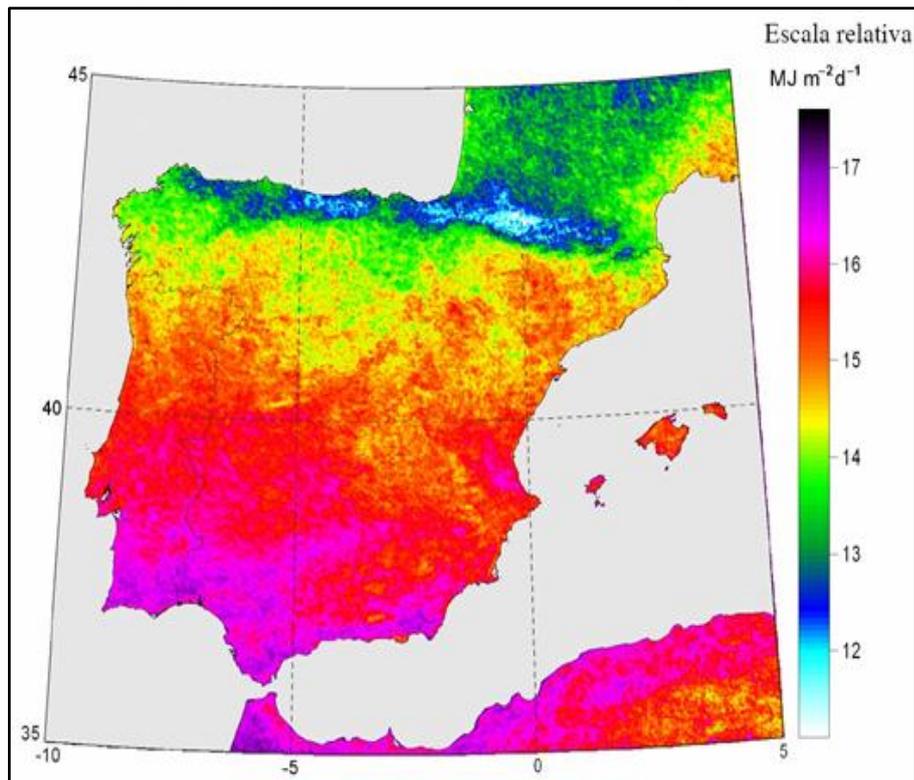
Es decir, se toma como valor de la irradiancia el valor medio de la misma en ese período. Si $\Delta t = 1hora$, tomando por ejemplo I en W/m^2 y H en $W-h/m^2$, entonces I y H tienen incluso el mismo valor numérico. Sin embargo, lo más correcto sería emplear símbolos distintos para ambos conceptos, aún en períodos cortos.

Los radiómetros referidos anteriormente, utilizados para medir la radiación directa, difusa o global, tienen un tiempo de operación muy corto, suministrando valores de irradiancia a intervalos muy pequeños de tiempo (típicamente de unos pocos segundos). Tal volumen de datos es a menudo poco manejable, por lo que el mismo sistema de captación de datos que los controla, mediante un pequeño ordenador, realiza una primera integración de los

datos en períodos regulares, normalmente de 5 minutos. Al final de cada período el sistema suministra la irradiancia media, grabándola en un fichero de disco.

Las bases de datos construidas de esta forma, aunque utilizadas por los investigadores cada vez con más frecuencia, son también demasiado voluminosas y requieren potentes ordenadores para su procesamiento. Por esta razón, es normal la agregación de estos datos en períodos horarios o diarios. Las bases de datos resultantes, de irradiación horaria o diaria, son las utilizadas habitualmente en el análisis estadístico de la radiación solar y en la simulación de sistemas de energía solar.

Figura 18: Media anual de la irradiación solar estimada para el periodo 1998-2002 según modelo propuesto por Nelson Vera a través de imágenes del satélite NOAA



Fuente y Elaboración: (Carrasco, 2010)

Los promedios mensuales, convenientemente tabulados, están publicados para gran número de localidades en todo el mundo. La utilización de promedios mensuales en el diseño y dimensionado de instalaciones de energía solar refleja una situación de compromiso entre precisión y esfuerzo de cálculo. Sin embargo, como se verá en capítulos posteriores, estos métodos simplificados de diseño deben ser complementados

con información sobre la distribución estadística de la radiación a lo largo del tiempo. En realidad los valores medios no son los representantes más significativos de las distribuciones de valores de radiación. Entre el parámetro más significativo, el valor modal y el valor más habitual en las publicaciones, el valor medio, es la mediana el valor más operativo y razonablemente representativo.

.4 Marco teórico

.4.1 Instrumentos de medida de la Radiación Solar

Nos centraremos principalmente en los sensores de medida de la radiación solar, aunque daremos las principales características de los demás. A la hora de evaluar las distintas variables climáticas de un lugar o región es necesario disponer de una buena estación de medida para la correcta toma de datos. Así mismo, el cálculo de la disponibilidad energética solar en un determinado lugar hace indispensable la medida de variables radiativas. Hay varias medidas que se pueden realizar a la hora de evaluar la meteorología o la disponibilidad energética de un lugar. Pueden ser variables radiométricas, tales como radiación global, térmica, ultravioleta... o pueden ser variables que den cuenta de las características meteorológicas de un lugar, como puedan ser la temperatura, velocidad del viento, humedad.

Para la medida de radiación solar se utilizan los radiómetros, los cuales pueden ser de dos tipos: piranómetros y pirheliómetros. La forma principal de actuación de estos sensores es la conversión de la energía proveniente del sol en otro tipo de energía, principalmente eléctrica, de forma que esta última pueda ser medida de una forma mucho más sencilla. Esta energía dependerá, por otra parte, de la inclinación, y en su caso de la orientación, en la que esté situado el sensor, debido a que no sería lo mismo registrar la radiación incidente en una superficie horizontal que en una vertical, por razones obvias.

Los radiómetros se pueden clasificar según diversos criterios: el tipo de variable que se pretende medir, el campo de visión, la respuesta espectral, el empleo principal a que se destina.

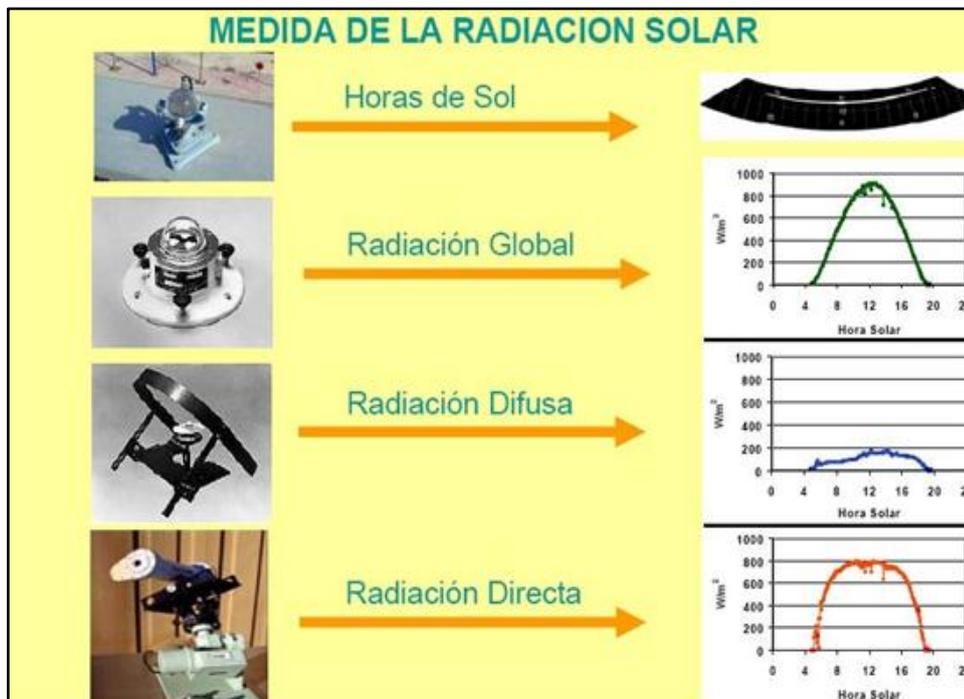
Tabla 4: Instrumentos meteorológicos para la medida de la radiación

Clasificación del instrumento	Parámetro a medir	Uso principal	Ángulo de visión (sr)
Pirheliómetro absoluto	Radiación solar directa	Patrón primario	5×10^{-3}

Pirheliómetro	Radiación solar directa	a) Patrón secundario para calibraciones b) Red	5×10^{-3}
Pirheliómetro espectral	Radiación solar directa en bandas espectrales anchas	Red	5×10^{-3}
Fotómetro solar	Radiación solar directa en bandas espectrales estrechas	a) Patrón b) Red	1×10^{-3}
Piranómetro	a) Radiación global b) Radiación difusa c) Radiación reflejada	a) Patrón de trabajo b) Red	2p
Piranómetro espectral	Radiación solar global en bandas espectrales anchas	Red	2p
Pirgeómetro	a) Radiación de onda larga b) Radiación de onda larga descendente	Red	2p
Pirradiómetro	Radiación total	Patrón de trabajo	2p
Pirradiómetro diferencial	Radiación total neta	Red	4p
Heliógrafo	Brillo solar	Red	4p

Fuente y Elaboración: (Assaf, Molina, & De Nobrega, 2009)

Figura 19: Instrumentos meteorológicos para la medida de la radiación



Fuente y Elaboración: (Assaf, Molina, & De Nobrega, 2009)

A lo largo del desarrollo del trabajo se utilizarán magnitudes ópticas y terminologías propias de los detectores como las que a continuación se detallan y que son imprescindibles para comprender el funcionamiento físico de la instrumentación utilizada.

1. Rango Dinámico. Es la mínima y máxima señal que el instrumento es capaz de medir en su zona de respuesta lineal.
2. Rango Espectral. Es el intervalo de longitudes de onda que el instrumento es capaz de detectar.
3. Umbral de Detección. Es la mínima señal que el instrumento es capaz de medir. Un instrumento con un umbral de detección nulo, detectaría toda la señal de su entrada. Pero debido a características ópticas y del detector, no se detecta hasta una señal denominada offset.
4. Ruido (o Corriente Oscura). Es la señal que el instrumento detecta cuando la iluminación a la entrada es nula. El ruido influirá en el umbral de detección del instrumento, y su caracterización y conocimiento es fundamental para la calidad de las medidas.
5. Relación Señal–Ruido. Es la relación entre la media de varias medidas y la desviación estándar de dichas lecturas. Para la determinación de este parámetro, la energía recibida por el instrumento, el tiempo de integración, y la forma de operar, han de ser las mismas.
6. Tiempo de Integración. Es el tiempo en el que el detector está expuesto a la radiación. Su valor es un compromiso entre el requerimiento de una alta relación señal-ruido y el deseo de un tiempo de medida corto.
7. Respuesta espectral. Es la sensibilidad del instrumento en función de la longitud de onda.

.4.1.1 Pirheliómetros

La medida de la radiación solar directa total se realiza con el pirheliómetro, de los términos griegos fuego, sol y medida, instrumento de tipo telescópico con una apertura de pequeño diámetro. Las superficies receptoras del pirheliómetro deben mantenerse en todo momento perpendiculares a la dirección de la radiación solar, por lo que el uso de un sistema de seguimiento adecuado (solar tracker) es ineludible. Las aperturas de este

dispositivo están dispuestas de forma que sólo la radiación procedente del disco solar y de una estrecha franja anular en torno al mismo alcanzan el receptor.

La WMO (1996) califica los distintos tipos de pirheliómetros en pirheliómetro patrón primario, pirheliómetro patrón secundario y pirheliómetro de campo, atendiendo tanto a su precisión como a la precisión del equipo auxiliar. Los factores considerados para evaluar la precisión son: sensibilidad, estabilidad del factor de calibración, error máximo debido a las variaciones de temperatura ambiente, errores debidos a la respuesta espectral del receptor, no-linealidad de la respuesta, ángulo de apertura, constante de tiempo del sistema y efectos del equipo auxiliar.

Los pirheliómetros empleados como patrones primarios son pirheliómetros absolutos, en el sentido de que el instrumento puede definir la escala de irradiancia total sin recurrir a fuentes o radiadores de referencia. Un pirheliómetro absoluto de cavidad está básicamente constituido por una cavidad (receptor) y sensores calorimétricos diferenciales autocalibrados eléctricamente. La radiación solar que atraviesa la apertura de precisión se absorbe en un receptor y se determina su valor mediante la sustitución de la radiación solar por el calor aportado por una corriente eléctrica, que se disipa en un bobinado calorífico muy próximo al lugar donde tiene lugar la absorción de la radiación.

Figura 20: Pirheliómetro NIP montado sobre seguidor solar



Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

Los pirheliómetros de uso más frecuente, como el NIP (Normal Incidente Pyrheliometer) de Eppley, incorporan una termopila en la base de un tubo cuya relación entre diámetro de apertura y longitud es aproximadamente 1:10, siendo el ángulo subtendido de 5° a 11° (5°43'30" en el caso del NIP). A mayor ángulo, mayor será la cantidad de radiación solar procedente de la aureola solar –radiación circunsolar- captada por el detector, pero menores serán las exigencias de precisión en el seguimiento de la trayectoria solar. Gracias al desarrollo de seguidores solares más precisos, este último factor ha perdido peso en el diseño de pirheliómetros.

En cualquier caso, debe tenerse en cuenta que la medida de la radiación solar directa es una tarea delicada que debe realizarse mediante instrumentos adecuados al uso que se dará a los datos obtenidos y, preferentemente, bajo la supervisión de personal experimentado. En la tabla siguiente se resumen las características que deben reunir los pirheliómetros operativos (no aplicables a un pirheliómetro patrón primario) según WMO (1996). Los clasificados como de alta calidad son válidos como patrones de trabajo y para su mantenimiento se requieren instalaciones adecuadas y personal especializado. Los considerados de buena calidad son aceptables para redes de medida.

Tabla 5: Características de Pirheliómetros

Características	Alta calidad	Buena calidad
Tiempo de respuesta (95%)	<15 s	< 30 s
Desajuste de cero (respuesta a la variación de $5 \text{ K}\cdot\text{h}^{-1}$ en la temperatura ambiente)	$\pm 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Resolución (mínimo cambio detectable en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	± 0.5	± 1
Estabilidad (porcentaje del fondo de escala, variación anual)	± 0.5	± 1
Respuesta en temperatura (máximo error en % debido a la variación de temperatura ambiente en un intervalo de 5 K)	± 1	± 2
No-Linealidad (desviación en % de la respuesta a $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ debido a una variación de la irradiancia entre 100 y $1100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)	± 0.2	± 0.5

Sensibilidad espectral (desviación en % del producto de la absorbancia espectral y la transmitancia espectral de la media correspondiente en el rango de 0.3 a 3 μm)		± 0.5	± 1
Respuesta a la inclinación (desviación en % con respecto a la respuesta a inclinación de 0° debida a la variación de la inclinación desde 0 a 90° a $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ de irradiancia)		± 0.2	± 0.5
Incertidumbre alcanzable en irradiación (nivel de confianza del 95%)			
Sobre 1 min	% $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	± 0.9 ± 0.56	± 1.8 ± 1
Sobre 1 hora	% $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	± 0.7 ± 21	± 1.5 ± 54
Sobre 1 día	% $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$	± 0.5 ± 200	± 1 ± 400

Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

Tabla 6: Comparativa de Pirheliómetros

Pirheliómetro (ejemplo)	Sensor	Uso (clasif WMO)	Función	Incertidumbre	Ventajas / Inconvenientes
Cavidad (Eppley H-F)	Calorimétrico diferencial	Patrón primario (alta calidad)	Directa	0,50%	Autocalibrado y gran precisión /
Termopila (Eppley NIP)	Termopila	Red (calidad moderada)	Directa	1%	Filtros longitudes de onda / Precisión "baja"

Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

.4.1.2 Piranómetros

La Organización Meteorológica Mundial define radiación global como la radiación solar en el intervalo espectral de 0.3 a $3\mu\text{m}$ recibida sobre una superficie plana horizontal desde un ángulo sólido de 2π sr.

La radiación global es la suma de la radiación que procede directamente del disco solar (radiación directa) y de la radiación solar dispersada a su paso por la atmósfera (radiación difusa). La medida de la radiación global se realiza por medio de piranómetros, de las palabras griegas fuego, hacia arriba y medida.

Los piranómetros de uso más extendido, como el Eppley modelo PSP, constan de dos cúpulas, cuya función principal es filtrar la radiación infrarroja procedente de la atmósfera y la radiación de onda corta procedente del sol, evitando que alcance al receptor. Éste está constituido por una termopila, cuya unión caliente está recubierta de una pintura de alta absorptividad. El cuerpo del instrumento, constituido por una pieza cilíndrica de bronce protegida por un disco de guarda pintado para reducir la absorción de irradiancia solar, aloja la circuitería electrónica y sirve de sumidero de calor para la unión fría de la termopila. El instrumento está dotado de un desecante para evitar la condensación en el interior del instrumento y de un nivel de burbuja para facilitar la nivelación. Mientras que su respuesta espectral es prácticamente plana en todo el intervalo de interés, la mayor fuente de incertidumbre es su respuesta direccional.

Otro modelo de piranómetro de uso muy extendido es el piranómetro B/N (Blanco/Negro). Estos instrumentos también emplean una termopila, en este caso pintada de blanco y negro, como receptor. Las uniones frías de la termopila están unidas a la pintura blanca del detector y las uniones calientes a la pintura negra. Al no requerirse mucha masa térmica para estabilizar las uniones frías, el piranómetro B/N es mucho más ligero que el antes descrito. La señal es proporcional a la diferencia de temperatura entre las uniones frías y las uniones calientes. Con respecto al piranómetro antes descrito, el B/N tiene un tiempo de respuesta considerablemente mayor (del orden de cinco veces mayor), peor respuesta direccional y presenta el problema de la degradación de las propiedades espectrales de la pintura con el tiempo.

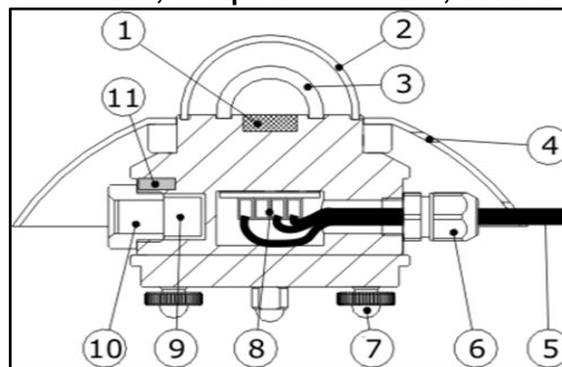
Figura 21: Piranómetro SR11 de Hukseflux



Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

Un tercer tipo de piranómetro es el basado en el uso de una célula fotovoltaica como detector. La respuesta espectral de estos sensores no incluye todo el espectro de interés, por lo que la calidad de la medida depende de las condiciones atmosféricas. Algunos autores, como Vignola (1999) han reportado diferencias de hasta el 40% en la respuesta de algunos instrumentos a la radiación difusa entre días claros y nublados. Sin embargo, su rápida respuesta, ligereza y, sobre todo, menor coste en comparación con los piranómetros de calidad alta hacen que este tipo de piranómetros vayan ganando terreno en algunos campos de aplicación, como los relacionados con la agricultura o con la evaluación de plantas fotovoltaicas.

Figura 22: Componentes de un piranómetro: 1 termopila, 2 cúpula exterior, 3 cúpula Interior, 4 cuerpo, 5 cable, 6 conector, 7 tornillos de nivelación, 8 circuito, 9 desecante, 10 tapa del desecante, 11 nivel



Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

La medida de la radiación difusa, o radiación solar procedente de la dispersión de los rayos solares por los constituyentes atmosféricos, se realiza también con piranómetros, a los que se acopla un elemento (banda de sombra) cuya función es evitar que la radiación directa alcance el receptor. Debido a la geometría de este elemento parte de la radiación difusa procedente de los alrededores resultará también bloqueada, por lo que es necesario aplicar un factor de corrección a las medidas. El carácter anisótropo de la radiación difusa, hace que la determinación de este factor de corrección sea compleja, y se realiza mediante combinación de consideraciones teóricas y aproximaciones empíricas.

Figura 23: Ejemplos de piranómetros sombreados para medir la difusa



Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

La introducción de seguidores solares controlados por microprocesador ha impulsado el desarrollo de nuevos dispositivos de bloqueo de la radiación directa (discos o brazos) que permiten obviar la corrección mencionada. Sin embargo, el uso de estos dispositivos aún no está muy extendido. La tabla siguiente recoge las características requeridas a los piranómetros operacionales según WMO (1996). Los clasificados como de alta calidad son válidos como patrones de trabajo y para su mantenimiento se requieren instalaciones adecuadas y personal especializado. Los considerados de buena calidad son aceptables para redes de medida. Por último, los de calidad moderada son aceptables para redes de media de bajo coste.

Tabla 7: Características de piranómetros

Características	Alta calidad	Buena calidad	Calidad moderada
Tiempo de respuesta (95%)	< 15 s	< 30 s	< 60 s
Desajuste de cero a) respuesta a la variación de $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ en radiación térmica neta b) respuesta a la variación de $5 \text{ K}\cdot\text{h}^{-1}$ en la temperatura ambiente	$\pm 7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ $\pm 2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ $\pm 4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ $\pm 8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Resolución (mínimo cambio detectable en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)	\pm	± 5	± 10
Estabilidad (porcentaje del fondo de escala, variación anual)	± 0.8	± 1.5	± 3

Respuesta direccional a la radiación directa (rango de errores debidos a asumir que la respuesta a la incidencia normal es válida para todas las direcciones cuando se mide, dirección, radiación directa normal de $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)	$\pm 10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$	$\pm 30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
Respuesta en temperatura (máximo error en % debido a la variación de temperatura ambiente en un intervalo de 50 K)	\pm	\pm	± 8
No-Linealidad (desviación en % de la respuesta a $500 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ debido a una variación de la irradiancia entre 100 y $1100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$)	± 0.5	± 1	± 3
Sensibilidad espectral (desviación en % del producto de la absorptancia espectral y la transmitancia espectral de la media correspondiente en el rango de 0.3 a $3 \mu\text{m}$)	± 2	± 5	± 10
Respuesta a la inclinación (desviación en % con respecto a la respuesta a inclinación de 0° debida a la variación de la inclinación desde 0 a 90° a $1000 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ de irradiancia)	± 0.5	± 2	± 5
Incertidumbre alcanzable en irradiación (nivel de confianza del 95%)			
horario %	\pm	± 8	± 20
diario %	3	\pm	± 10

Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

Tabla 8: Comparativa de piranómetros

Piranómetro (ejemplo)	Sensor	Uso (clasif WMO)	Función	Incertidumbre	Ventajas / Inconvenientes
K-Z CM 21	Termopila negra	Patrón secundario (alta calidad)	Global Difusa	2%	Precisión / Offset Térmico
Eppley 8-48	Termopila B/N	Red (calidad moderada)	Difusa	2%	Compensa offset térmico / Baja calidad
Middleton SKD01	Fotodiodo	Red (baja calidad)	Global	6%	Barato / Sensibilidad espectral y respuesta direccional

Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

.4.1.3 Heliógrafos

Aunque no estrictamente una medida radiométrica, la heliofanía está directamente relacionada con la radiación solar y, en particular, con la radiación visible. De hecho, la condición de sol brillante puede asociarse a la aparición de sombras tras objetos

iluminados. La WMO (1991) define el número de horas de sol o heliofanía como la suma del subperíodo para el que la irradiancia solar directa supera $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$. La heliofanía tiene dimensiones de tiempo, y se mide en horas o segundos. También es frecuente emplear el término heliofanía relativa, definido como el cociente entre la heliofanía real y la máxima posible. El interés de los datos de heliofanía va más allá de su utilización directa en estudios climáticos relacionados con la agricultura o la medicina, ya que constituye una de las fuentes principales –si no la principal- de datos para la estimación de la radiación solar mediante diversas técnicas. Incluso puede proporcionar una estimación detallada del potencial de radiación directa, fuente de energía primaria para los sistemas termosolares de concentración, como muestra Manolo Silva Pérez en su tesis doctoral.

La WMO establece que la heliofanía debe medirse con una incertidumbre menor o igual a $\pm 0.1 \text{ h}$ y con una resolución de 0.1 h . La incertidumbre está principalmente condicionada por la frecuencia y la velocidad de los transitorios de la irradiancia solar directa que implican cruzar el umbral de $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, siendo mayor para condiciones de cielo parcialmente cubierto, especialmente si las nubes son de los tipos cirros o altostratos, que pueden producir transitorios relativamente suaves.

Existen diversos métodos de medida de la heliofanía, algunos de los cuales se describen brevemente a continuación:

- Método de quemadura. Se basa en el empleo de una banda de papel o cartulina y un dispositivo concentrador. Cuando la irradiancia supera un cierto valor umbral, la radiación concentrada produce una quemadura sobre la banda. La heliofanía se obtiene midiendo la longitud de la traza quemada. El más conocido de los instrumentos basados en este método es el heliógrafo de Campbell-Stokes.

Figura 24: Banda curvada larga

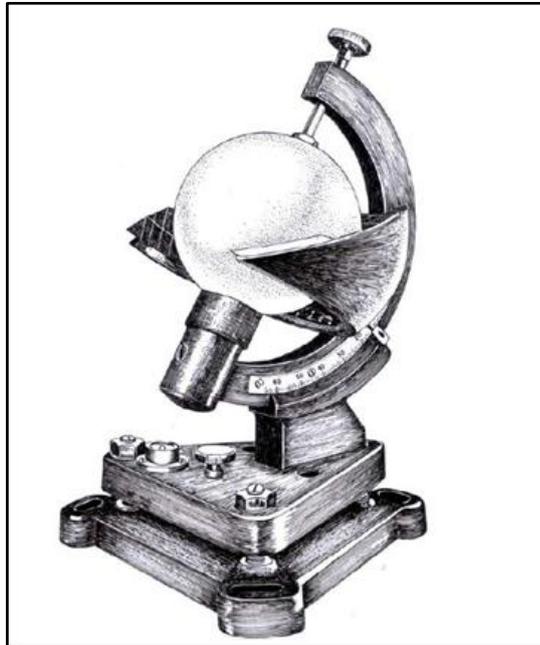


Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

- Método pirheliométrico. Basado en la detección pirheliométrica del umbral de $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ definido por la WMO. Los valores de heliofanía pueden obtenerse de la lectura de contadores de tiempo activados por las transiciones en sentido directo (de período no soleado a período soleado) e inverso. Este método requiere el empleo de un pirheliómetro combinado con dispositivos de detección del umbral y registro de tiempo. Alternativamente, la determinación de la heliofanía puede realizarse a partir de registros de irradiancia directa.
- Método piranométrico. Basado en la medida simultánea de radiación global y difusa para obtener, mediante substracción y cálculo, el valor de la irradiancia directa normal. Requiere dos piranómetros, uno de ellos equipado con banda de sombra, y un dispositivo electrónico o computarizado capaz de discriminar las transiciones a través del valor umbral y registrar los tiempos.
- Método de contraste. Basado en la discriminación de los contrastes entre un grupo de sensores situados en distintas posiciones relativas al Sol. Las diferencias de señal entre los sensores permiten determinar las transiciones de irradiancia a través del umbral. Normalmente, estos instrumentos están equipados con células fotovoltaicas combinadas con discriminadores electrónicos y contadores de tiempo.
- Método de exploración. Basada en la discriminación de la irradiancia recibida de pequeños sectores del cielo que son explorados continuamente. Este tipo de instrumentos suelen constar de un solo sensor y están equipados con un dispositivo de tipo rotatorio que permite la exploración continua del cielo.

La WMO, que ha realizado varias comparaciones de diversos instrumentos basados en estos métodos durante la década de 1980, sigue recomendando como instrumento de referencia el heliógrafo de Campbell-Stokes en su versión IRSR (Interim Reference Sunshine Recorder), si bien recomienda el pirheliómetro como sensor de referencia para detectar el valor de la irradiancia umbral ($120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$).

Figura 25: Heliógrafo de Campbell-Stokes



Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

Tabla 9: Especificaciones del heliógrafo de Campbell-Stokes grado IRSR (WMO, 1996)

ESFERA DE	
Forma: uniformemente esférica	Índice de refracción: 1.52±0.02
Color: Muy pálido o incoloro	Longitud focal: 75mm para luz de sodio "D"
Diámetro: 10cm	
CASQUETE	
Material: aleación de bronce de cañón o material de durabilidad equivalente	Otras especificaciones:
Radio: 73mm	a. línea central correspondiente al mediodía solar grabada transversalmente a través de la superficie interior
	b. Ajuste para inclinación del casquete según la latitud
	c. Doble base provista de ajustes para nivel y acimut
BANDAS REGISTRADORAS	
Material: Cartulina de buena calidad que no se diferencias vea afectada apreciablemente por la humedad	Color: Oscuro, homogéneo, sin apreciables bajo luz diurna difusa
Espesor: 0.4 \pm 0.005 mm	Marcas: Líneas horarias impresas en negro
Influencia de la humedad: menor o igual al 2%	

Fuente y Elaboración: (Borrajero, Lavastida, & Pelaez, 2005)

La principal correlación entre la radiación solar global y la heliofanía es la llamada fórmula de Åmström:

$$\frac{G}{G_0} = a + b \left(\frac{HS}{HS_0} \right) \quad (16)$$

Donde G/G_0 es el índice de claridad, HS/HS_0 son las horas de sol relativas (a las extraterrestres) y a y b son dos constantes que suelen determinarse mensualmente. Esto último implica que al obtener la radiación global usando los datos de horas de sol la subestimamos un 10% en verano y la sobreestimamos un 30% en invierno.

.4.2 Errores en la medida

Es fundamental garantizar la calidad y establecer las limitaciones de las medidas. Su aplicación en diferentes tipos de investigaciones ha de estar regida por un conocimiento exhaustivo del diseño y de los procedimientos de operación del instrumento. Esa será la forma de asegurar un conocimiento del valor y significado de la medida.

A lo largo de este apartado se expondrán las diferentes fuentes de error en la medida de la radiación solar.

.4.2.1 Errores debidos al diseño del instrumento

Limitarán la aplicación de los datos a determinadas investigaciones y se ponen de manifiesto durante la intercomparación con otros equipos, siendo muy difíciles de cuantificar.

- **No linealidad.** Un instrumento presenta una respuesta lineal cuando el incremento de radiación en la entrada es igual al incremento medido en el detector. La no linealidad puede producir dependencia de la irradiancia medida con la longitud de onda. Una forma de caracterizar este parámetro es anteponer a la entrada del instrumento una lámpara de irradiancia conocida y filtros de densidad conocida, es decir, de transmitancia conocida. Otra forma de medirlo es utilizando el método basado en que la irradiancia producida por un punto fuente es inversamente proporcional a la raíz de la distancia entre la fuente y el detector. Consistiría por tanto en ir separando el detector o la fuente y analizar si esta ley se cumple.

- **Cambios en la temperatura.** Influye fundamentalmente en la medida de instrumentos cuyos detectores son fotodiodos. Es importante medir la temperatura cerca del detector para analizar posibles fluctuaciones en su medida, de forma que se puedan aplicar

correcciones a los datos. La mayoría de los instrumentos, para minimizar esta incertidumbre trabajan bajo temperatura constante, utilizando para la estabilización ventiladores o sistemas basados en el efecto Peltier.

- **Repetitividad.** Es el parámetro que nos informa de cuanto difieren las medidas consecutivas de un instrumento realizadas bajo las mismas condiciones instrumentales y geométricas. Estas variaciones pueden ser debidas al tipo de detector y a la presencia de partes móviles.

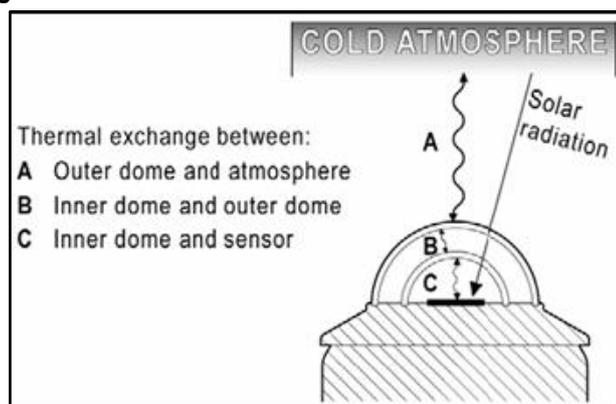
.4.2.2 Errores debidos a las características instrumentales

- **Error coseno.** Dependencia que tienen las entradas ópticas de los instrumentos frente a la dirección con la que captan la radiación solar.

- **Offset térmico.** Debido al intercambio de radiación infrarroja entre la cúpula y el entorno durante la noche o por cambios de temperatura ambiente durante el día. Puede inducir errores elevados si el piranómetro mide difusa y se reduce con sensores ventilados. Es muy pequeño en equipos B/N.

- **Zero Offset tipo A.-** Cualquier objeto con una cierta temperatura intercambia energía con su entorno por radiación. En general, la atmósfera será más fría que la temperatura ambiente en la superficie de la Tierra. Por ejemplo, el cielo despejado puede tener una temperatura aparente de hasta 50° C más fría, mientras que un cielo nublado tendrá más o menos la misma temperatura que la superficie de la Tierra.

Figura 26: Intercambio térmico causante del zero offset



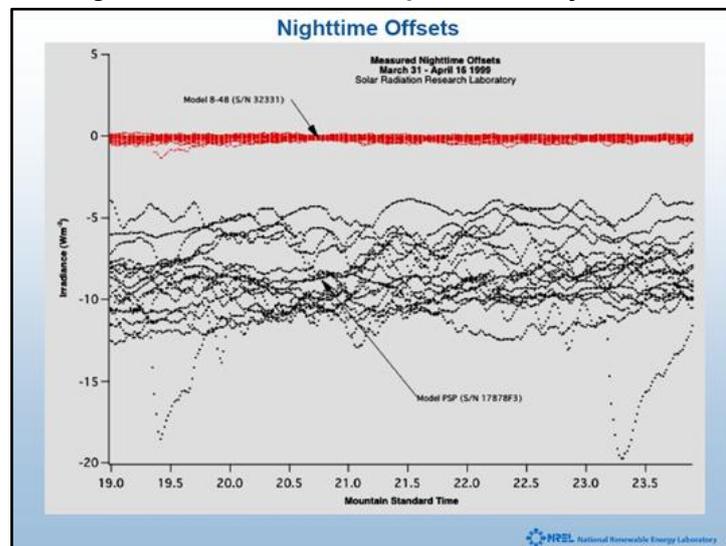
Fuente y Elaboración: (Assaf, Molina, & De Nobrega, 2009)

Debido a esto, a través de las cúpulas de los piranómetros se 'transmite' energía a la atmósfera, más fría, por radiación. Esto provoca que la cúpula esté más fría que el resto

del instrumento. Esta diferencia de temperatura entre el sensor y la cúpula generará una pequeña señal de salida negativa que es comúnmente llamada Zero Offset tipo A. Este efecto se minimiza por medio de una cúpula interior, que actúa como un 'amortiguador de radiación', y por medio de ventilación.

- **Zero Offset tipo B.**- Proporcionalmente a la temperatura ambiente, la temperatura del instrumento también varía, provocando corrientes de calor en el interior del instrumento. Esto causa lo que comúnmente se llama Zero Offset tipo B. Es cuantificado como W/m^2 en la respuesta a un cambio de 5 K/h en la temperatura ambiente.

Figura 27: Offset nocturno para un 8-48 y un PSP



Fuente y elaboración: NREL

.4.2.3 Errores debidos a los procedimientos de operación

Una buena metodología de operación en los observatorios donde los equipos miden es necesaria para garantizar la calidad de las medidas, ya que el operador es responsable de los errores y las incertidumbres que puedan ser introducidas en las medidas debidas a un incorrecto mantenimiento.

Una correcta nivelación del instrumento para que el detector esté viendo todo el campo de medida que depende de la latitud en la que esté situado el observatorio. Pequeñas alteraciones provocan que el instrumento se comporte como si estuviera midiendo en otra posición geográfica. Para minimizar posibles pérdidas de nivelación hay que tener el instrumento bien anclado, evitando posibles movimientos debidos a las inclemencias del tiempo.

Una puesta en hora del instrumento, para obtener una completa base de datos, con la que se puedan realizar estudios de tendencias, de comparaciones así como intercomparaciones con otros instrumentos.

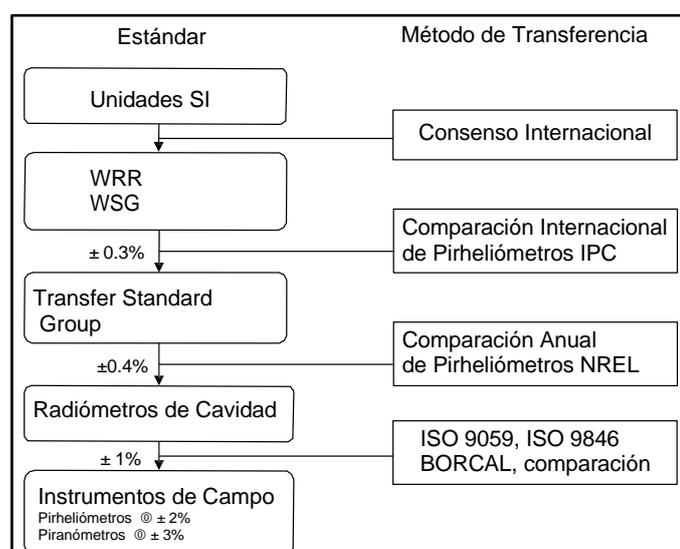
Una limpieza de las cúpulas o lentes de la óptica de entrada de los instrumentos para evitar obstrucciones provocadas por la aparición de polvo, nieve, condensación en el difusor, telarañas, etc.

Entraremos más en profundidad en el apartado dedicado a las operaciones de mantenimiento, dentro del capítulo IV.

4.3 Estandarización

Los Centros Radiométricos Mundiales, Regionales y Nacionales de la WMO, tienen la responsabilidad de calibrar los instrumentos radiométricos. Además, el Centro Radiométrico Mundial de Datos está encargado del mantenimiento de la referencia básica, o sea el Grupo Mundial de Normalización (WSG) de instrumentos, que se utiliza para establecer la Referencia Radiométrica Mundial (WRR). En el curso de las comparaciones internacionales (IPC), que se organizan cada cinco años, los instrumentos patrón de los centros regionales se comparan con el WSG, y sus factores de calibración se ajustan a la WRR. Éstos, a su vez, se utilizan para transferir la WRR periódicamente a los centros nacionales, que calibran los instrumentos de su red utilizando sus propios instrumentos de referencia.

Figura 28: Transferencias de medidas al WRR



Fuente y Elaboración: (Assaf, Molina, & De Nobrega, 2009)

.4.4 Paneles solares

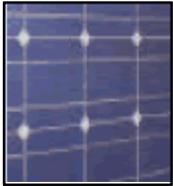
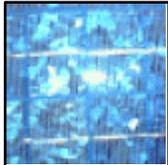
Para poder obtener la energía eléctrica a través de la radiación solar se emplean paneles solares, los cuales emplean el principio fotovoltaico para llegar a cabo esta tarea.

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

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

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

Tabla 10: Eficiencia de cada tipo de panel FV según los tipos de células.

Tipo de célula	Rendimiento Laboratorio	Rendimiento Directo	Características	Fabricación
Monocrystalino 	24 %	15-18%	Son típico los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí.	Se obtiene de silicio puro fundido y se dopa con boro y fósforo.
Policristalino 	19-20%	12-14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos de azules.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
Amorfo 	16%	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible en células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de láminas delgadas y sobre sustrato como vidrio o plástico.

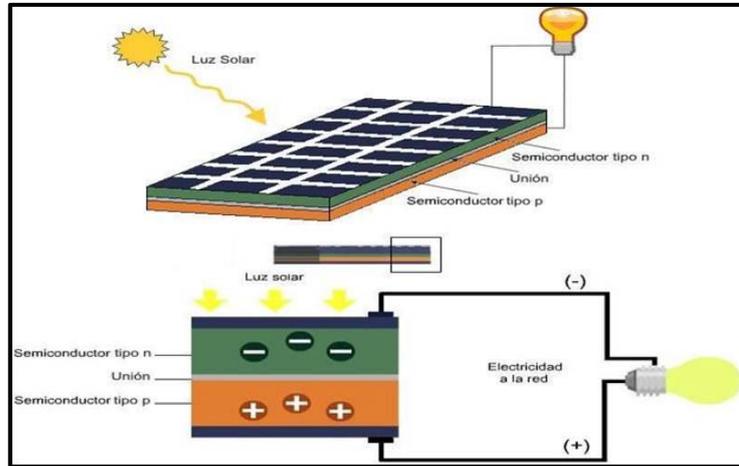
Fuente: (Beltrán, 2013)

.4.4.1 Principio fotovoltaico

Es el proceso, mediante el cual una célula fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad. Según la teoría corpuscular la luz está compuesta por un torrente de partículas denominadas fotones, dichas partículas son las que transportan todas las formas de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol, es decir diversas energías correspondientes a diversas longitudes de onda del espectro solar.

Cuando dichos fotones chocan sobre la superficie de una célula fotovoltaica, estos pueden ser reflejados o absorbidos, si el fotón es absorbido, la energía de este se transfiere a un electrón de un átomo de la célula fotovoltaica escapando de su posición normal para pasar a formar parte de una corriente en un circuito eléctrico, generando así electricidad.

Figura 29: Efecto fotovoltaico



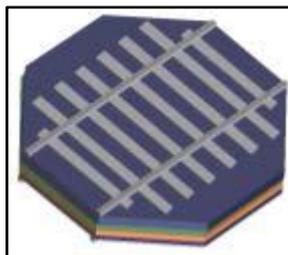
Fuente: (Fernández & Herrero, 2010)

.4.4.2 Célula fotovoltaica

Elemento que se encarga de transformar la energía solar en energía eléctrica, cada célula produce en promedio de 0.4 v aproximadamente.

Dispositivo que generalmente tiene una forma cuadrada, formada de una lámina hecha de un material semiconductor normalmente se emplea silicio, dicha lámina tiene un grosor que varía entre 0,25 mm y 0.35mm.

Figura 30: Celda solar Célula fotovoltaica

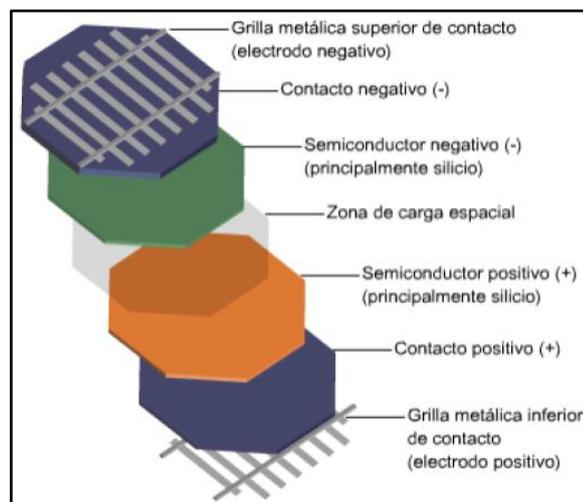


Fuente: (Tejada & Motoche, 2012)

Cada una de estas células está compuesta por una fina capa de material tipo "n" es decir un material semiconductor puro (silicio) al cual se lo altera con componentes químicos llamados dopantes que hacen que la lámina tenga un exceso de electrones quedando así cargada negativamente. Otra capa más gruesa de material "p" que al igual que la descrita anteriormente está cargada por medio de dopantes con un exceso de protones o falta de electrones quedando así cargada positivamente.

Al unir dichas capas se genera un campo eléctrico en la unión de “p-n” en donde el exceso de electrones de “n” pasa a ocupar los espacios vacíos en “p”. La superficie que es iluminada con los rayos del sol es la capa “n” los fotones que inciden sobre esta superficie rompen el par electrón – hueco y mediante un conductor externo que conecta ambas capas “n” y “p” se genera un flujo de electrones (corriente eléctrica). Cuando la radiación solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por esto que las células se fabrican a partir de materiales semiconductores, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía. No hay un tipo de material ideal para todos los tipos de células y aplicaciones.

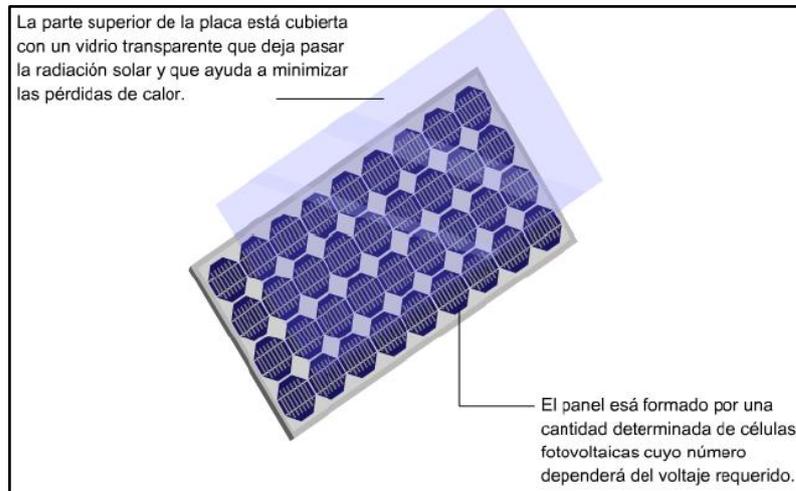
Figura 31: Celda solar Composición de una celda solar



Fuente: (Tejada & Motoche, 2012)

Además de los semiconductores las células solares están formadas por una malla metálica superior para recolectar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. En la parte superior de la célula hay un vidrio u otro tipo de material encapsulante transparente para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa anti-reflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

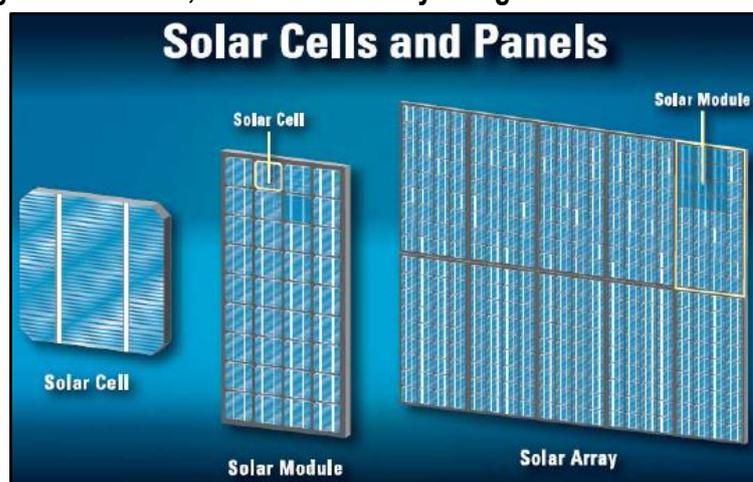
Figura 32: Recubrimiento exterior de un Panel solar



Fuente: (Tejada & Motoche, 2012)

Estas células, conectadas unas con otras, encapsuladas y montadas sobre una estructura soporte o marco, conforman un módulo fotovoltaico. Los módulos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje (normalmente 12 ó 24 Vdc). La estructura del módulo protege a las células del medioambiente y son muy durables y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un generador. Los generadores o módulos fotovoltaicos producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie y/o paralelo para producir cualquier combinación de corriente y tensión.

Figura 33: Celdas, Módulos solares y Arreglos de módulos solares



Fuente: (Anderson, 2011)

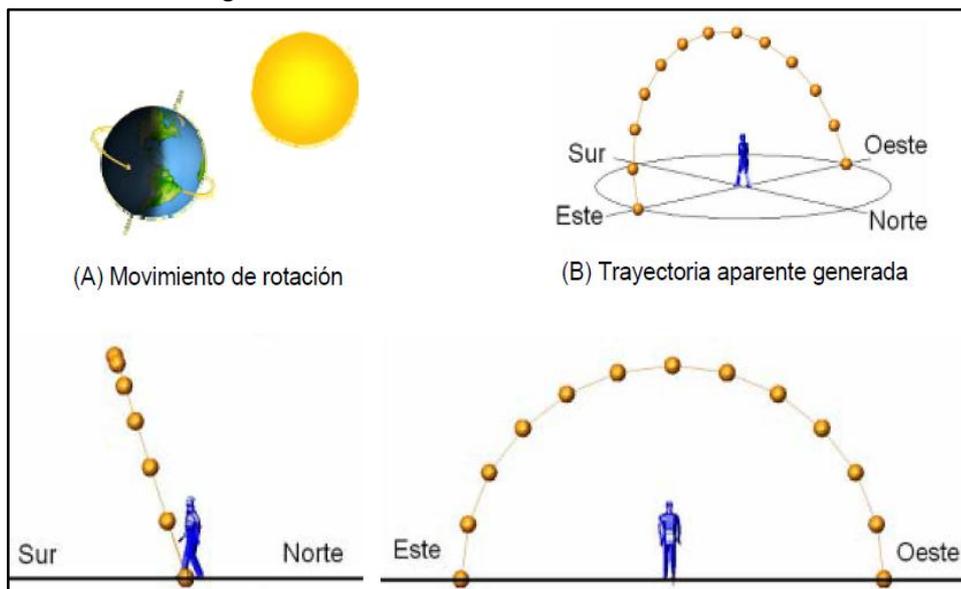
.4.5 Sistema de seguimiento solar

La incidencia de los rayos solares sobre el plano de los paneles fotovoltaicos difiere de la perpendicularidad a lo largo del día y por lo tanto se ve reducida la eficiencia de los paneles solares. Es posible corregir esta situación utilizando un seguidor solar que oriente los paneles a la posición del Sol. El uso de seguidores solares ha reportado ganancias superiores al 30% en estudios de campo (Reyes & Velasco, 2010). El seguidor solar sigue la trayectoria aparente del Sol ocasionada por los movimientos de la Tierra respecto al Sol.

La Tierra realiza dos movimientos que inciden en la posición relativa de un punto en su superficie con respecto al Sol (Weider, 1982), el movimiento que más afecta esta posición es el de rotación, movimiento que realiza la Tierra sobre su propio eje con una duración de 24 horas 0 minutos y 57.33 segundos, que se ha sintetizado a 24 horas, con la compensación del año bisiesto. Así se da lugar al día y la noche ya que durante el giro la mitad de la Tierra está iluminada y la otra mitad en penumbra.

El intervalo de tiempo del día y la noche depende de la ubicación geográfica del punto considerado, solo en la línea del Ecuador los días y las noches duran 12 horas durante todo el año. El movimiento de rotación, Figura 28, genera que el Sol dibuje una trayectoria circular en el espacio en el periodo que dura el día.

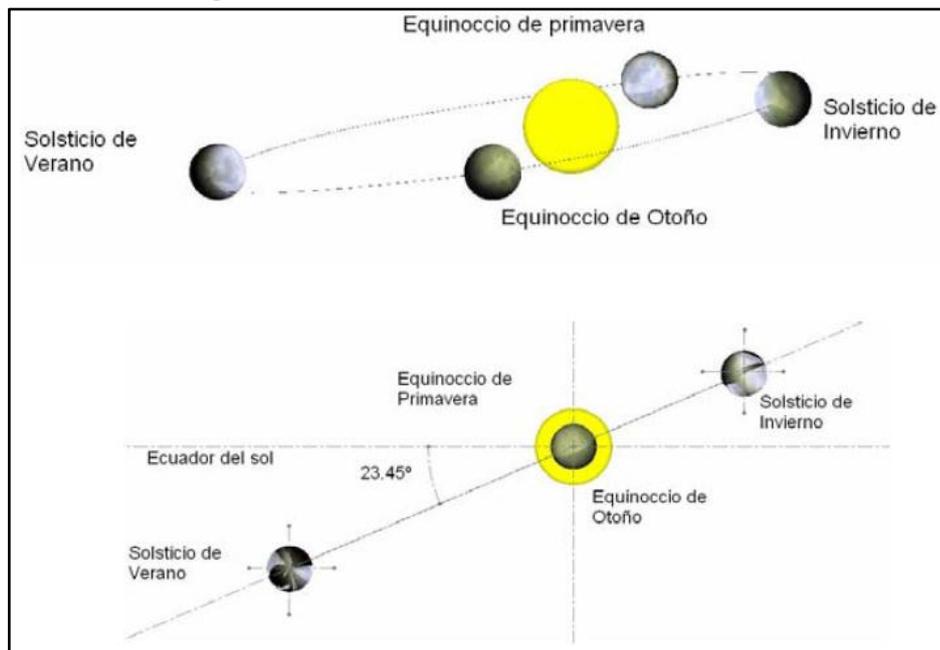
Figura 34: Movimiento de Rotación de la Tierra



Fuente: (Jutglar, 2011)

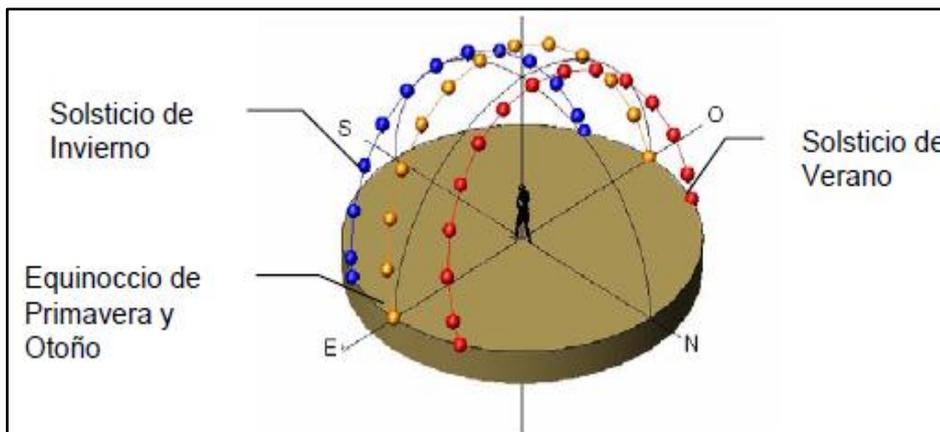
El segundo movimiento que realiza la Tierra es el de traslación que se refiere al movimiento que realiza la Tierra alrededor del Sol. El movimiento de traslación tarda en realizarse 365.2422 días, que para efectos prácticos se toma de 365 y cada cuatro años (año bisiesto) se toma de 366 días. Durante el recorrido la Tierra presenta una trayectoria elíptica alrededor del Sol. La trayectoria elíptica de la Tierra alrededor del Sol tiene un ángulo con respecto a la horizontal del Ecuador solar de 23.45° , Figura 40.

Figura 35: Movimiento de traslación de la tierra



Fuente: (Jutglar, 2011)

Figura 36: Variación en la declinación por efecto del movimiento de traslación



Fuente: (Jutglar, 2011)

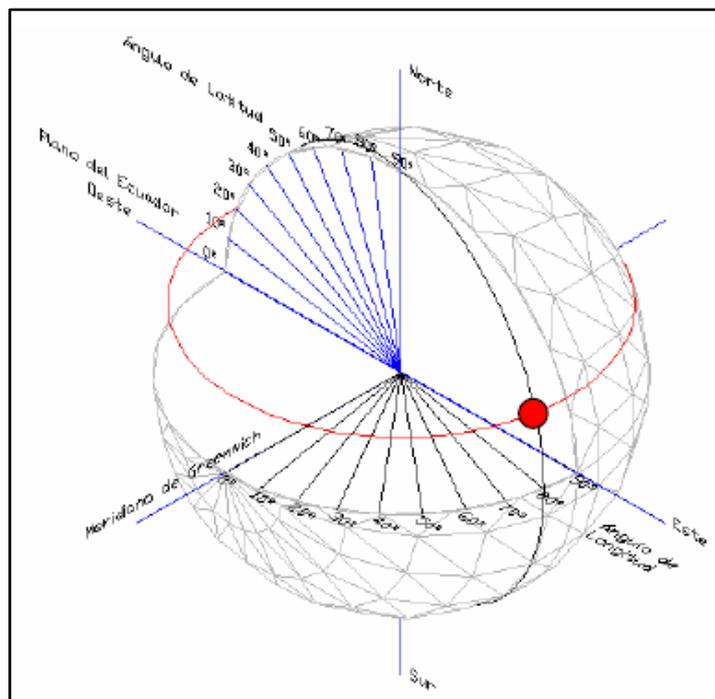
El movimiento de traslación de la Tierra genera que la trayectoria aparente del Sol, ocasionada por el movimiento de rotación, presente una variación a lo largo del año como se muestra en la Figura 13, la trayectoria aparente del Sol a lo largo del día varía entonces en su declinación con respecto al observador, esta variación en la declinación incide en la duración del día y la noche. El Sol en su trayectoria pasa siempre por un punto central orientado hacia el sur a las 12 horas del día Solar.

.4.5.1 Ubicación de la trayectoria solar

Para poder ubicar la trayectoria solar primero hay que conocer nuestra ubicación en la Tierra. Para localizar un punto en la Tierra se utilizan los ángulos de latitud y longitud propios del lugar, el ángulo de latitud nos dirá que tan retirados estamos del Ecuador y el ángulo de longitud establece la posición de acuerdo al meridiano de Greenwich (plano de referencia internacional para definir el horario civil).

Por el ejemplo la Figura 15 nos muestra la localización de **un punto con coordenadas 20° latitud Norte y 80° de longitud Este**, de esta manera se puede localizar geográficamente cualquier punto en la bóveda terrestre que se requiera, necesario para conocer la ubicación de la trayectoria aparente del Sol.

Figura 37: Ubicación de un punto en la Tierra con latitud y longitud

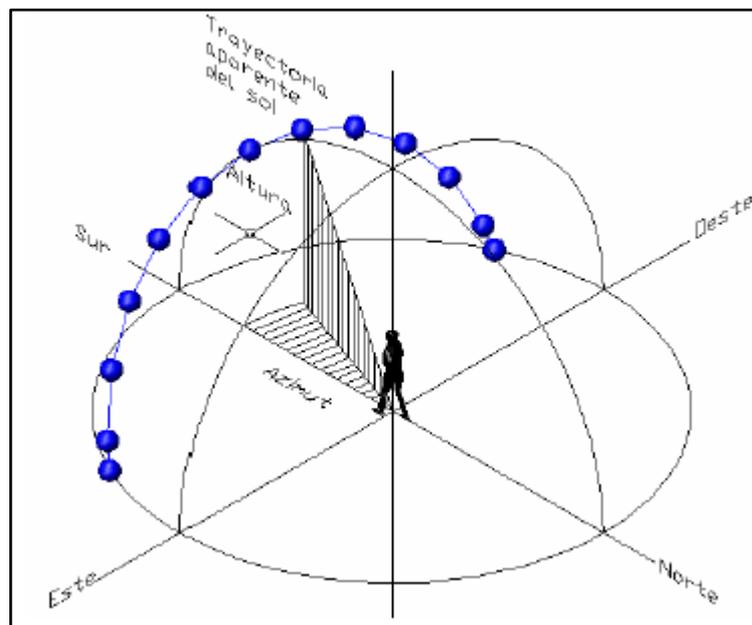


Fuente: (Jutglar, 2011)

El ángulo de latitud es el que incide en la posición de la trayectoria, ya que el ángulo de longitud, al estar trazado de manera perpendicular al eje de rotación solo nos sirve para establecer el huso horario, por lo que comunidades que se encuentren en el mismo ángulo de latitud observaran la misma trayectoria del Sol, lo que incide en que presenten también un valor de radiación solar muy parecido.

Para ubicar la posición del Sol respecto a un punto en la Tierra se hace uso de dos ángulos, el de altura (h), que es el ángulo del Sol con respecto al plano horizontal y el de azimut (as) que se mide en sentido horario a partir del sur hasta la proyección del Sol en el plano horizontal, Figura 42.

Figura 38: Ubicación del Sol



Fuente: (Jutglar, 2011)

El valor del ángulo de altitud y azimut es una función de la hora, día del año y latitud del lugar que puede ser calculado por métodos numéricos. En primer lugar se determina el ángulo de declinación de la Tierra (d) debida al movimiento de traslación:

$$d = 23.45 \times \text{sen} \left[(284 + N) \frac{360}{365} \right] \quad (18)$$

$$hs = (12 - \text{hora exacta}) \times 15 \quad (19)$$

Donde N es el día consecutivo del año que se desea conocer. El ángulo horario (hs) es el ángulo comprendido entre el meridiano local y la hora de estudio, es decir, es el ángulo que se forma entre el medio día solar y la hora de referencia, que se obtiene por:

$$\text{sen}(h) = \cos(L) \cos(d) \cos(hs) + \text{sen}(L)\text{sen}(d) \quad (20)$$

Y el ángulo de azimut del Sol (as):

$$\text{sen}(as) = \frac{\cos(d)\text{sen}(hs)}{\cos(h)} \quad (21)$$

Es necesario aplicar una función inversa cuando el ángulo azimutal es mayor a 90° (cuando la posición del Sol rebasa el eje o plano vertical este-oeste), bajo el siguiente razonamiento:

$$\cos(hs) < \frac{\tan(d)}{\tan(L)} \quad \text{Entonces: } as = \text{sen}^{-1} \left[\frac{\cos(d)\text{sen}(hs)}{\cos(h)} \right] \quad (22)$$

$$\cos(hs) > \frac{\tan(d)}{\tan(L)} \quad \text{Entonces: } as = 180^\circ - \text{sen}^{-1} \left[\frac{\cos(d)\text{sen}(hs)}{\cos(h)} \right] \quad (23)$$

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

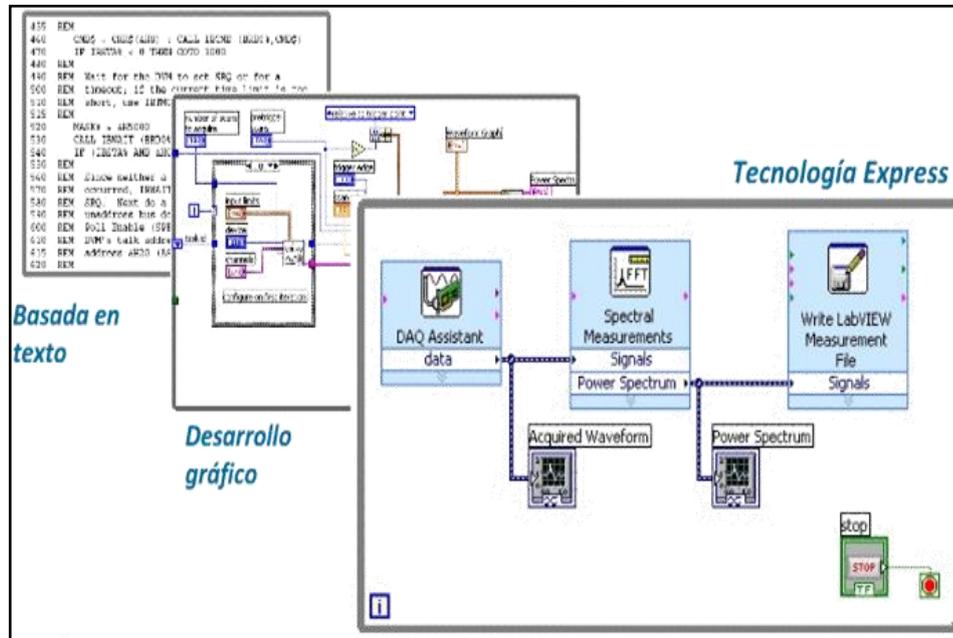
.4.6 Fundamentos del software LabVIEW

LabVIEW es un lenguaje de programación cuyo entorno de desarrollo es gráfico, flexible y modular en su totalidad, diferente a la programación mediante comandos tipo texto, sistemas empleados en los lenguajes de programación de alto nivel tradicionales como Assembler, Pascal, Basic, Etc...

Hasta la década de 1980 la tarea de creación de un programa o software de aplicación se llevaba a cabo con paquetes software basados en código texto, estos paquetes software fueron evolucionando y en la actualidad ofrecen una serie de facilidades en el desarrollo de la interfaz de usuario como las funciones de alto nivel y la incorporación de elementos gráficos, que simplifican la tarea de programación y de elaboración de la Interfaz Hombre Maquina (HMI) o panel frontal de la aplicación como es el caso de Visual Basic, sin embargo el cuerpo del programa (PROGRAMACIÓN LÓGICA), seguía basado en comandos tipo texto, lo que suponía mucho tiempo invertido en detalles de programación que nada tiene que ver con la finalidad de creación de una herramienta software. Con la llegada del software de programación gráfica LabVIEW de National Instruments, Visual Designer de Burr Brown o VEE de Agilent Technology, el proceso de creación de un VI se ha simplificado tanto que el tiempo utilizado para el desarrollo de aplicaciones software se

ha minimizado al máximo y aún más con la llegada de la tecnología Express con la que cuenta LabVIEW a partir de la versión 7.0 en el año 2005.

Figura 39: Evolución de la programación



Fuente: (National Instruments Corporation, 2010)

.4.6.1 Instrumento Virtual (VI)

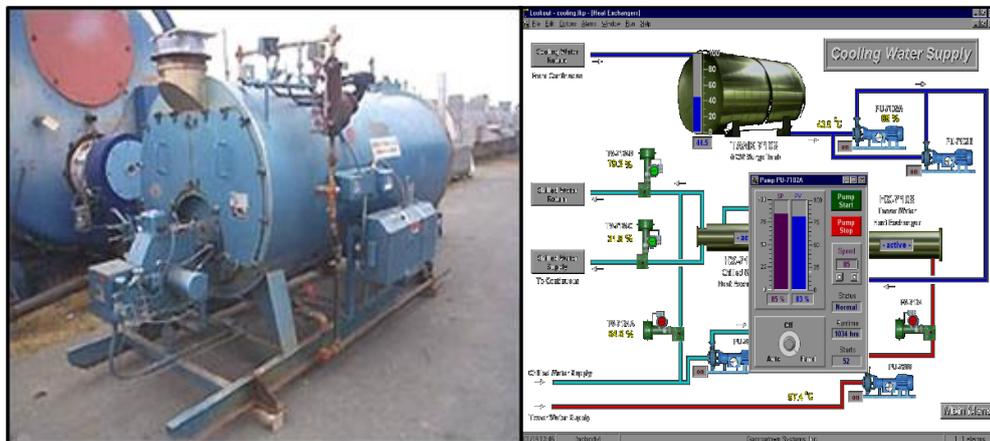
Un instrumento virtual o Virtual Instrument (VI), es un módulo software que simula el panel frontal de un instrumento real de medición de variables físicas y apoyándose en elementos hardware accesible por el ordenador (tarjetas de adquisición de datos, instrumentos accesibles vía USB, GPIB, RS-232, RS-485, etc.) realiza una serie de medidas como si se tratase de un instrumento real.

Es así que cuando se ejecuta un programa que funciona como instrumento virtual o VI (Virtual Instrument), el usuario ve en la pantalla de su ordenador un panel cuya función es idéntica a la de un instrumento físico, facilitando la visualización y el control del aparato. A partir de los datos reflejados en el panel frontal el VI debe de actuar recogiendo o generando señales como lo haría su homologó físico.

Los programas de LabVIEW son llamados Instrumentos Virtuales (VIS). Los VIS tienen tres partes principales: el Panel Frontal donde se encuentra la parte externa o interfaz hombre maquina (HMI) del programa, el Diagrama de Bloques donde está la parte lógica o

código fuente del programa y el Icono/Conector que es como la huella digital que identifica al programa.

Figura 40: Principio de un VI, instrumento real y virtual



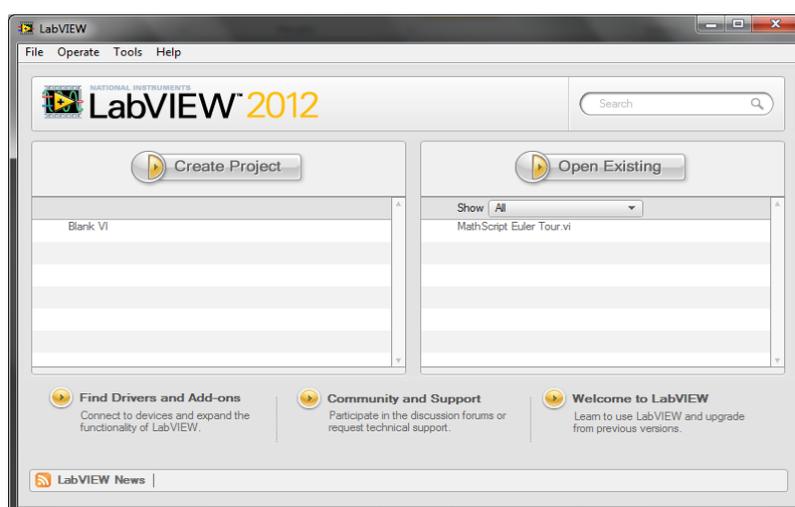
Fuente: (Lajara & Pelegri, 2009)

4.6.2 El Entorno de LabVIEW

LabVIEW consiste en el archivo ejecutable labview.exe y varios asociados, la siguiente ventana de inicio aparece al buscar en el menú Inicio/Programas/National Instruments/LabVIEW 2012/LabVIEW:

Esta ventana ofrece varias opciones donde tenemos opciones desde creación de programas en blanco hasta una amplia galería de ejemplos desarrollados, destacan:

Figura 41: Ventana de inicio de LabVIEW 2012



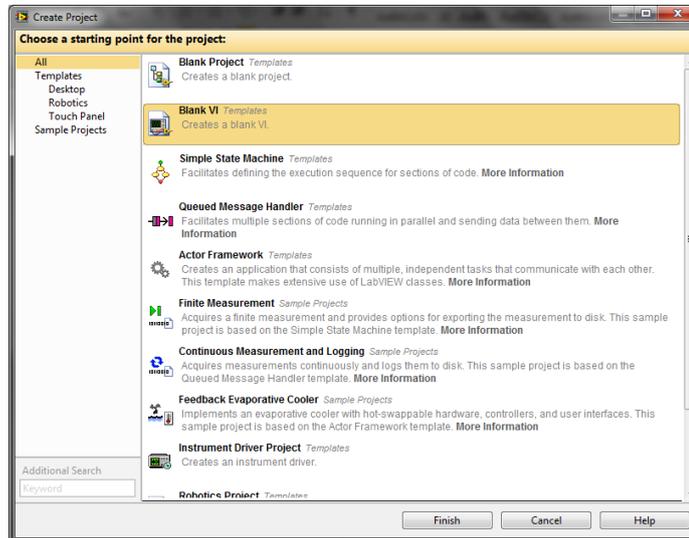
Fuente: (Julián & Valero, 2012)

Create Project: Permite crear un VI o un proyecto nuevo.

Open Existing: Permite abrir un VI o un proyecto existente.

Si seleccionamos la primera opción se lanza la ventana siguiente:

Figura 42: Ventana de selección de proyecto nuevo



Fuente: (Julián & Valero, 2012)

Al pulsar la opción **Blank VI** se crea un nuevo programa o VI en blanco, el cual está constituido de dos ventanas, el panel frontal y el diagrama de bloques:

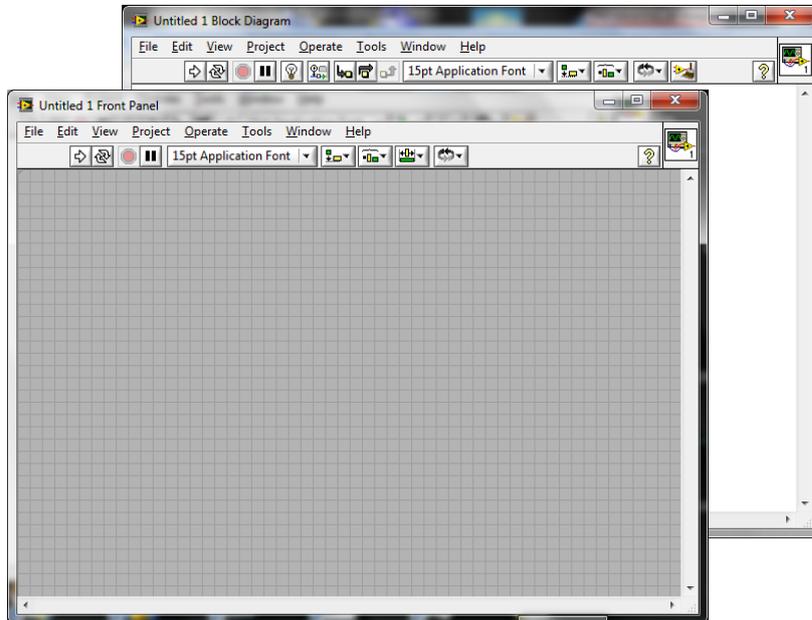
.4.6.3 Ventana del panel frontal (FRONT PANEL)

Al abrir un VI en blanco se crean automáticamente dos ventanas una de ellas se conoce como el panel frontal del VI en donde como ya se mencionó vamos a crear la interfaz que entrara en contacto con el usuario final de la aplicación software, esta es una de las ventanas que se utilizan en LabVIEW para construir el VI. La otra ventana se conoce como Diagrama de Bloques en donde se ha de programar la parte lógica o código del VI.

El panel Frontal y el diagrama de bloques están constituidos por una colección de objetos gráficos que son los elementos programables de LabVIEW. El panel frontal contiene varios tipos de controles e indicadores que facilitan la visualización de resultados y el reconocimiento rápido de los componentes del VI, pueden usarse una serie de herramientas prediseñadas así como también usted mismo puede diseñar sus propios indicadores dentro de algunas opciones un poco más avanzadas de acuerdo a la naturaleza de aplicación del instrumento virtual, una aplicación puede ser el diseño alarmas con leds animados con diseño gráfico en 2D y 3D desde programas como Corel

Draw, AutoCad, Autodesk 3D MAX, etc, a los cuales además se les puede adicionar archivos de audio con el objeto de hacer más interactiva la aplicación.

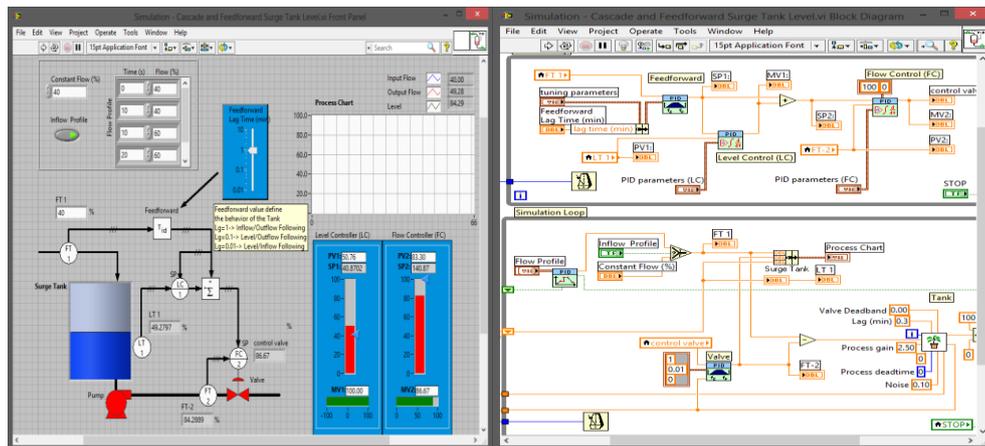
Figura 43: Ventanas del panel frontal y diagrama de bloques de un VI en blanco



Fuente: (Julián & Valero, 2012)

La siguiente ilustración muestra un panel frontal y su diagrama de bloques asociado:

Figura 44: Partes de un instrumento virtual (VI)



(PANEL FRONTAL)

(DIAGRAMA DE BLOQUES)

4.6.4 Paleta de Herramientas (TOOLS PALETTE)

Esta es la paleta más importante a la hora de programar y SIEMPRE DEBE DE ESTAR VISIBLE, cuando está activa se encuentra visible tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques, en esta paleta podemos encontrar herramientas para crear,

modificar y depurar VI's, si la paleta de herramientas no está visible nos vamos al MENU de la parte superior y en VIEW seleccionamos la opción TOOLS PALETTE, con esto se habilita la ventana que se muestra en la siguiente figura:

Figura 45: Paleta de herramientas



Ahora podemos seleccionar una Herramienta de este menú al darle click en las casillas interiores de la ventana, el cursor del Mouse toma una forma distinta dependiendo de la herramienta que hemos seleccionado. Dentro de las herramientas que encontramos en esta paleta tenemos las siguientes:

Herramienta de Selección Automática. Se encuentra seleccionada por defecto, cuando está habilitada actúa como las cuatro principales herramientas: operación, posicionamiento, etiquetado y cableado, dependiendo frente a qué objeto se encuentre y cambia automáticamente.

Herramienta de Operación. Utilice la herramienta de Operación para manipular los controles e indicadores del panel frontal.

Herramienta de Posicionamiento. Utilice la herramienta de Posicionamiento para seleccionar, mover o redimensionar objetos en el panel frontal y diagrama de bloques.

Herramienta de Etiquetado. Utilice la herramienta de Etiquetado para editar todo lo relacionado con texto en los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques.

Herramienta de Cableado. Utilice la herramienta Cableado para cablear objetos en el diagrama de bloques. Ponga la herramienta de cableado sobre un cable para desplegar el tipo de datos del cable en la ventana de ayuda.

Herramienta de Pop-Up. Utilice esta herramienta para tener acceso al menú pop-up de un objeto al oprimir el botón izquierdo del Mouse.

Herramienta de Deslizamiento. Utilice esta herramienta para deslizarse a través de la ventana sin utilizar las barras de desplazamiento.

Herramienta de Puntos de Detención. Utilice esta herramienta para poner puntos de ruptura en VIS funciones y estructuras.

Herramienta de Pruebas. Utilice esta herramienta para poner probadores en cables del diagrama de bloques

Herramienta de Copiado de Color. Utilice la herramienta de copiado de color para copiar colores e insertarlos con la herramienta de color.

Herramienta de Color. Utilice la herramienta de Color para colorear un objeto. Esta herramienta también despliega el color del fondo y del primer plano del objeto.

.4.6.5 Barra de Herramientas del Panel Frontal

Las ventanas del panel Frontal y del Diagrama de Bloques contienen una barra de herramientas con botones de comando e indicadores de estado que se utilizan para controlar el VI. Dependiendo de si se está trabajando en el panel frontal o en el diagrama de bloques una de las dos barras de herramientas estará disponible.

Figura 46: Barra de herramientas del panel frontal



El botón de Ejecución sirve para correr el programa una sola vez.

El botón de Ejecución continua sirve para ejecutar el programa continuamente.

El botón de Abortar la Ejecución aparece mientras el VI se está ejecutando oprima este botón para salir del VI inmediatamente

El botón de Pausa/Continuar. Este botón hace una pausa en la ejecución del VI. Para continuar desde el modo de pausa oprima el botón otra vez y el VI continuará la ejecución.

El Anillo de Fuentes. Este anillo permite seleccionar opciones de fuente, tamaño, color, estilo etc, para configurar el texto seleccionado con la herramienta Etiquetado

El Anillo de Alineación. Use esta herramienta de posición para seleccionar las opciones de alineación incluyendo vertical, horizontal, centrada, etc. Para dos o más objetos

El Anillo de Distribución. Use esta herramienta distribución para seleccionar opciones de distribución incluyendo espacios, compresión etc. Para dos o más objetos

El Anillo de Ordenamiento. Use esta herramienta para jerarquizar el orden de empalme cuando dos o más objetos se encuentran uno tras del otro.

El Anillo de Dimensionamiento. Use esta herramienta para dimensionar objetos del panel Frontal.

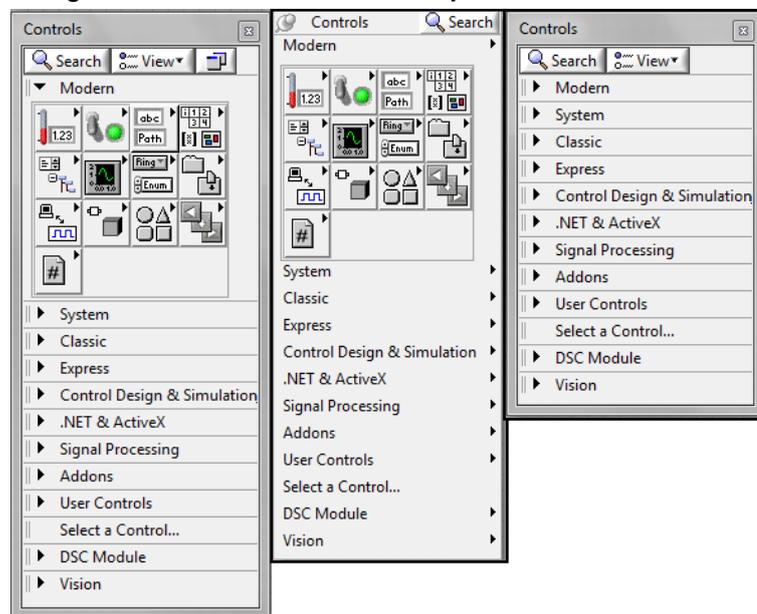
.4.6.6 La Paleta de controles (CONTROLS PALETTE)

La paleta de Controles esta visible solo en el panel frontal, y consiste en iconos de alto nivel que representan las subcategorias, dando acceso a un gran rango de objetos que están disponibles para crear un VI. Usted puede acceder a las subcategorias al darle click sobre el icono. Si no se encuentra visible nos vamos al MENÚ, de la parte superior, luego en LabVIEW activamos CONTROLS PALETTE (FIGURA a), la otra forma es darle anticlick en un área libre del panel frontal, claro que en esta segunda forma la paleta de controles estará activa solo por unos instantes paleta flotante (figura b), y para convertirla en una ventana estable le damos click en la tachuela que está en la esquina superior izquierda de la paleta.

Si desplegamos la entrada MODERN dándole click, visualizamos las categorías con las cuales podemos iniciar el diseño del panel frontal de nuestra aplicación.

NUMERIC (Numérico). Contiene controles e indicadores de datos tipo numéricos, objetos con los cuales podemos ingresar datos numéricos así como visualizar resultados también tipo numéricos.

Figura 47: Formas visibles de la paleta de controles



(a) Ventana

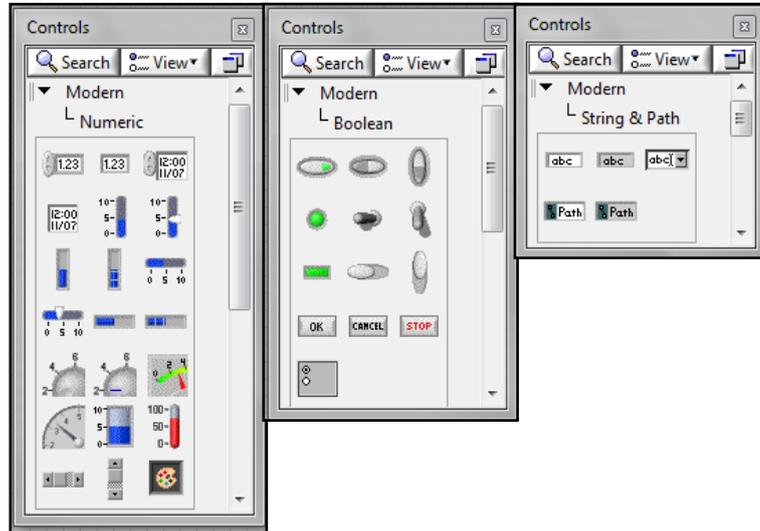
(b) Flotante

(c) Comprimida

BOOLEAN (Booleano). Contiene controles e indicadores de datos tipo booleanos

STRING (Cadenas de Caracteres). Contiene controles e indicadores de datos tipo cadena de caracteres (texto) y herramientas tipo path (rutas de archivos en el disco duro).

Figura 48: Categorías de la entrada MODERN



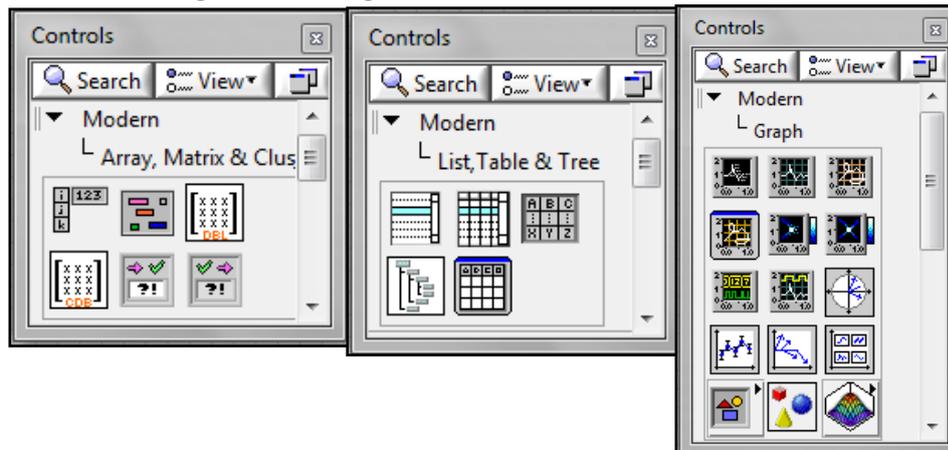
Fuente: (Julián & Valero, 2012)

ARRAY, CLUSTER & MATRIX (Arreglos y Agrupamiento). Contiene herramientas que agrupan distintos tipos de datos, para generar arreglos, matrices y clústers.

LIST, TABLE & TREE (Listas, Tablas Y Árbol). Contiene controles e indicadores tipo listas, tablas y árboles en formato tipo texto.

GRAPH (Gráficas). Contiene indicadores tipo gráfico para graficar señales y conjuntos de datos (Arrays).

Figura 49: Categorías de la entrada MODERN



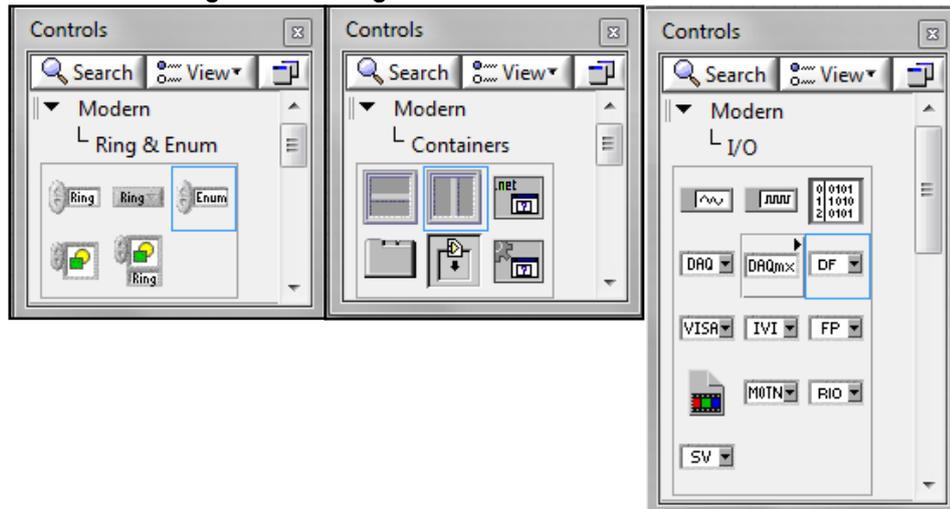
Fuente: (Julián & Valero, 2012)

RING & ENUM (Anillo y enumerador). Contiene controles e indicadores tipo anillo (menú desplegable), y enumerador, los cuales se usan para seleccionar casos.

CONTAINERS (Contenedores). Contiene herramientas tipo contenedores y tableros que administran varios objetos análogamente a las páginas de un libro.

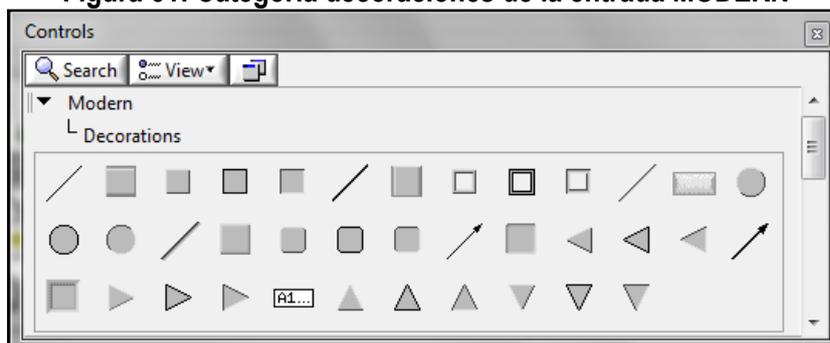
I/O (Entradas/Salidas). Contiene controles e indicadores para asociar entradas ó salidas mediante instrumentos de adquisición, envío de señales reales tipo DAQ, VISA, RIO, etc.

Figura 50: Categorías de la entrada MODERN



DECORATIONS (DECORACIONES). Contiene una galería de objetos gráficos para decorar el panel frontal, estos objetos no tienen un terminal correspondiente en el diagrama de bloques, por lo que no tiene incidencia en el tema de programación.

Figura 51: Categoría decoraciones de la entrada MODERN



Fuente: (Julián & Valero, 2012)

.4.6.7 Ventana del diagrama de bloques (BLOCK DIAGRAM)

La ventana del Diagrama de Bloques del VI es aquella en donde se guarda la ESTRUCTURA ó EL CÓDIGO DEL PROGRAMA, es muy frecuente que esta ventana no pueda ser visualizada por el usuario final si el programador así lo dispone, LabVIEW utiliza recursos de seguridad que protegen el código del programa con un Password o

simplemente se remueve esta ventana, dentro del diagrama de bloques se encuentran LOS TERMINALES correspondientes a los objetos creados en el panel frontal, por lo que si se elimina un componente en una de las ventanas del Front Panel o del Block Diagram automáticamente se elimina también su representativo en la otra ventana.

.4.6.8 Barra de herramientas del diagrama de bloques

La barra de herramientas del diagrama de bloques contiene los mismos botones que la barra de herramientas del panel frontal, adicionalmente a esto tiene cuatro herramientas útiles para depuración de errores.

Figura 52: Barra de herramientas del diagrama de bloques



El botón de animación de la ejecución. Se usa para habilitar la animación de la ejecución. Modo animado. Cuando la animación en la ejecución está habilitada esta acción permite ver el flujo de los datos a través del diagrama de bloques

El botón de Pasar Sobre. Oprima este botón para habilitar el modo paso a paso este modo permite para en cada uno de los nodos del VI.

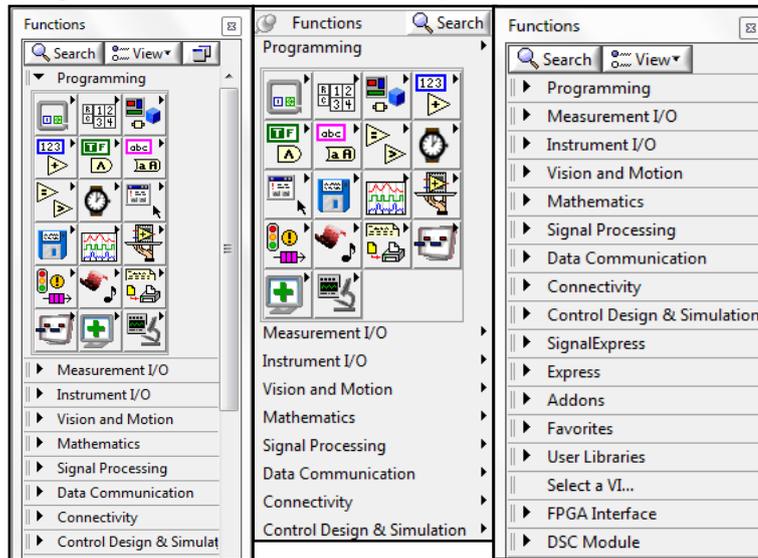
El botón de Entrar A. Oprima este botón para entrar a un ciclo, SubVI, etc. Al entrar en el nodo usted está listo para hacer ejecución paso a paso dentro del nodo.

El botón de Salir de. Oprima este botón para salir de un ciclo, SubVI, etc. Al salir de un nodo usted completa la ejecución paso a paso de este nodo y va hacia el siguiente nodo.

.4.6.9 Paleta de funciones (FUNCTION PALETTE)

Los diagramas de bloques se construyen utilizando la paleta de funciones, cada opción en la paleta despliega una subcategoría con los iconos de alto nivel. Si la paleta de funciones no está visible se puede visualizar seleccionando del MENÚ la opción de VIEW y seleccionando FUNCTION PALETTE. La paleta de funciones también se puede accesar al dar anticlick sobre un área libre del Diagrama de Bloques. Para convertir la paleta flotante de funciones del modo anterior en una ventana estable, le damos click la tachuela ubicada en la esquina superior izquierda de la paleta.

Figura 53: Formas visibles de la paleta de funciones



(a) Ventana (b) Flotante (c) Comprimida

Fuente: (Julián & Valero, 2012)

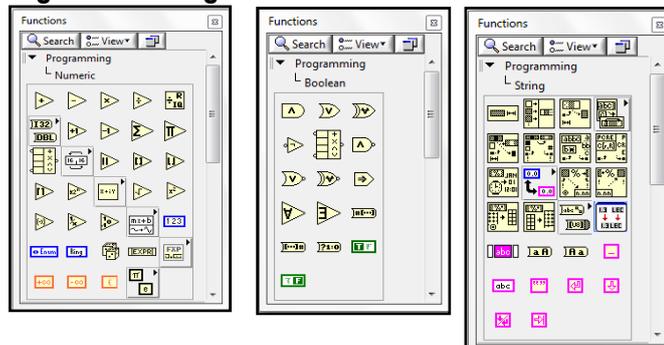
Al desplegar la entrada PROGRAMING (Programación) podemos visualizar las principales CATEGORIAS con las cuales podemos iniciar rápidamente la programación lógica de nuestra aplicación, Estas subcategorías son:

Numeric (Numérico). Contiene funciones elementales aritméticas, constantes numéricas, números complejos, y todo lo relacionado a tratamiento numérico de datos.

Boolean (Booleano). Contiene funciones que operan con datos booleanos, constantes y lógica booleana, también herramientas para convertir a formato numérico.

String (Cadena de caracteres). Contiene funciones para manipular y operar texto como cadena de caracteres, también herramientas para convertir texto a otros formatos como numérico ó path.

Figura 54: Categorías de la entrada PROGRAMMING



Fuente: (Julián & Valero, 2012)

Structures (Estructuras). Contiene todos los ciclos y estructuras que se usan en programación tales como los ciclos for, while, case, etc. Asi como también nodos de fórmulas y mathscript.

Array (Arreglos). Contiene funciones para procesar arreglos de datos y matrices.

Comparison (Comparación). Contiene funciones de comparación de números, booleanos, cadenas de caracteres y todo tipo de datos.

Cluster & Variant (Agrupamiento y varianza). Contiene funciones para agrupar y desagrupar datos,

Timing (Temporizado). Contiene herramientas de control del tiempo como los temporizadores, tiempo del sistema y fecha del sistema.

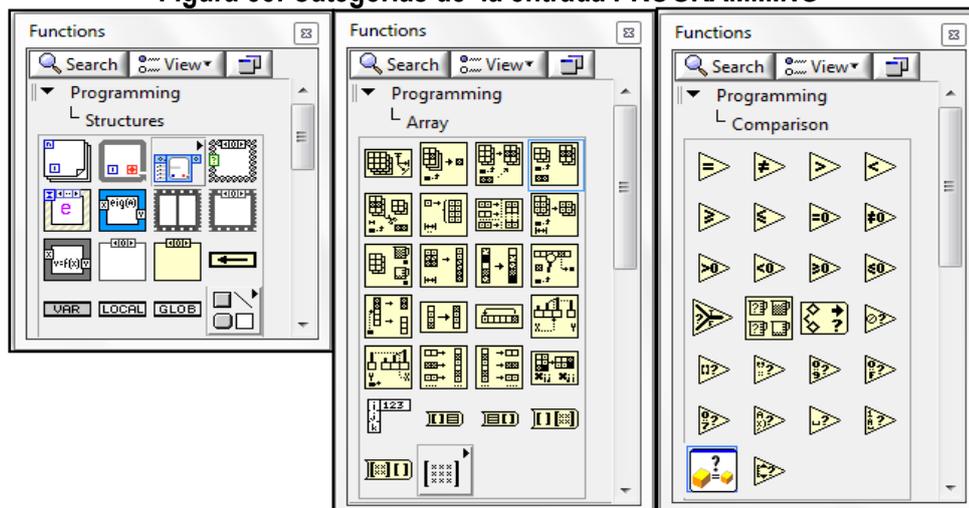
File I/O (Manejo de archivos). Contiene herramientas para gestionar y guardar datos en archivos y bases de datos de todo tipo.

Graphics & Sound (Gráficos y sonidos). Contiene funciones para el manejo de sonidos, imaganens 2D, 3D, gráficos polares y otros.

Dialog & User Interface (Dialogo e interface de usuario). Contiene herramientas para el manejo de ventanas y cuadros de diálogo, manejo de ventanas de errores.

Waveform (Formas de onda). Contiene funciones para el manejo de datos del tipo onda, datos digitales y analógicos.

Figura 55: Categorías de la entrada PROGRAMMING



Fuente: (Julián & Valero, 2012)

Application Control (Control de aplicaciones). Contiene herramientas de control que permiten ejecutar funciones de VI Server, imprimir programáticamente cambiar los menús de LabVIEW, mostrar las ventanas de ayuda y terminar o salir de LabVIEW.

ReportGeneration (Generación de reportes). Contiene herramientas para generar reportes tipo impreso, tipo archivo, Excel, Word, html y otros.

Synchronization (Sincronización). Contiene funciones para sincronizar lazos dentro del VI. También están presentes las ENTRADAS DESPLEGABLES encontramos una clasificación por grupos de herramientas y VIS para poder facilitar la programación:

Entrada Measurement I/O (Medida In/Out). Contiene funciones para manejar dispositivos de adquisición y envío de datos.

Entrada Instrument I/O (Instrumentos In/Out). Contiene funciones para administrar dispositivos o instrumentos conectados por cualquiera de los protocolos (GPIB, Serial, NI, VISA, etc).

Entrada Vision and Motion (Movimiento y visión). Contiene funciones básicas para el manejo de las interfases IMAQ y MOTION de National Instruments.

Entrada Mathematics (Matemáticas). Contiene Funciones matemáticas trigonométricas, logarítmicas, estadísticas, algebra lineal, calculo, formulas etc.

Entrada SignalProcessing (Procesamiento de señal). Contiene funciones para tratamiento de señales como filtrado, análisis espectral, ajuste de curvas, etc...

Entrada Data Communication (Comunicación de datos). Contiene VIS para implementar comunicación TCP, DDE, Serial, OLE.

Entrada Connectivity (Conectividad). Contiene VIS para implementar conectividad vía puerto paralelo, control de dispositivos de ingreso.

Entrada Express (Expreso). Contiene VIS y herramientas del tipo express que facilitan la programación de la aplicación.

Entrada Select a VI (Seleccionar VI). Importa VI's creados y guardados en el disco duro para ingresarlos dentro de una aplicación de mayor nivel como un SUBVI (SUBPROGRAMA), lo que se conoce como PROGRAMACIÓN MODULAR.

.4.6.10 Menús Desplegables

La barra de Menú que se encuentra en la parte superior de la pantalla de LabVIEW contiene varios menús Pull-Down (Desplegables), los cuales contienen opciones comunes

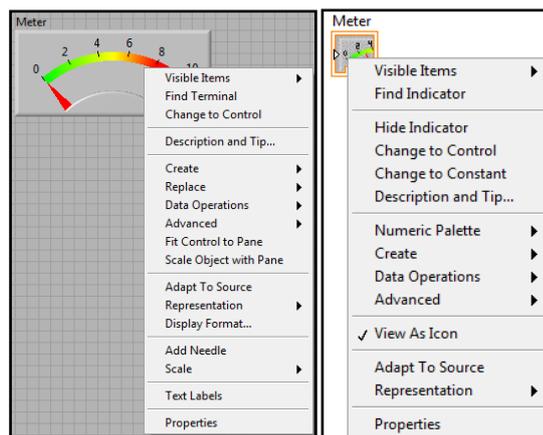
para la mayoría de las aplicaciones tales como ABRIR, GUARDAR GRABAR, COPIAR Y PEGAR, Y mucho otros, así como también opciones particulares de personalización de la aplicación en LabVIEW.

Figura 56: Menús desplegables disponibles en LabVIEW



LabVIEW cuenta además con menús desplegables para todos los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques, esta herramienta nos permite acceder a las opciones de visualización, configuración del modo de operación y personalización de todos los objetos creados en LabVIEW, esos menús se habilitan si hacemos click derecho sobre el objeto en cuestión, aparece las ventanas siguientes:

Figura 57: Ventanas desplegables de objetos



Fuente: (Julián & Valero, 2012)

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1 Metodología

3.1.1. Método de la investigación

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

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

a) Método específico

Se desarrolló en tres etapas, denominadas:

Pre campo, en la que se desarrolló un análisis de la tecnología disponible para cumplir con el objetivo principal, propuesta de varias visitas a la realidad problemática para la toma de datos.

Campo, consistió en hacer un diagnóstico del lugar de estudio, evaluación de coordenadas latitud y longitud, la adquisición experimental de datos, que sirvieron para la

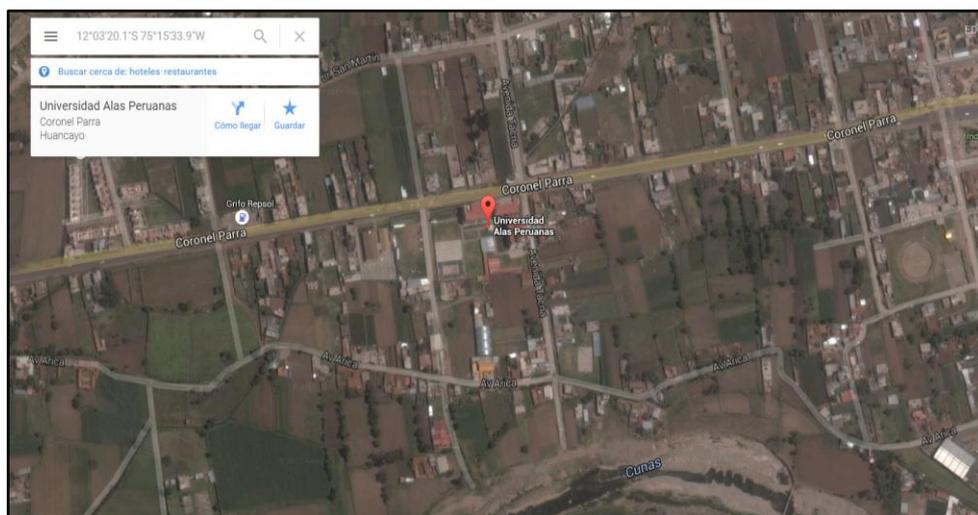
determinación de la potencia generada del panel solar durante el ámbito temporal propuesto por el proyecto de investigación.

Post campo, consistió en el procesamiento y análisis estadístico de datos, desarrollo de los cálculos correspondientes, estimación de resultados experimentales y la edición del documento final de la investigación.

..1.1. Delimitación Espacial

El lugar donde se desarrolla la investigación es el distrito de Pilcomayo (3212 m.s.n.m.) Provincia de Huancayo, Departamento de Junín; específicamente en las instalaciones de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo ($12^{\circ}03'20.1''S$ $75^{\circ}15'33.9''W$), debido a que se encuentra instalado el equipamiento de la investigación.

Figura 58: Ubicación geográfica satelital del lugar de desarrollo de la investigación

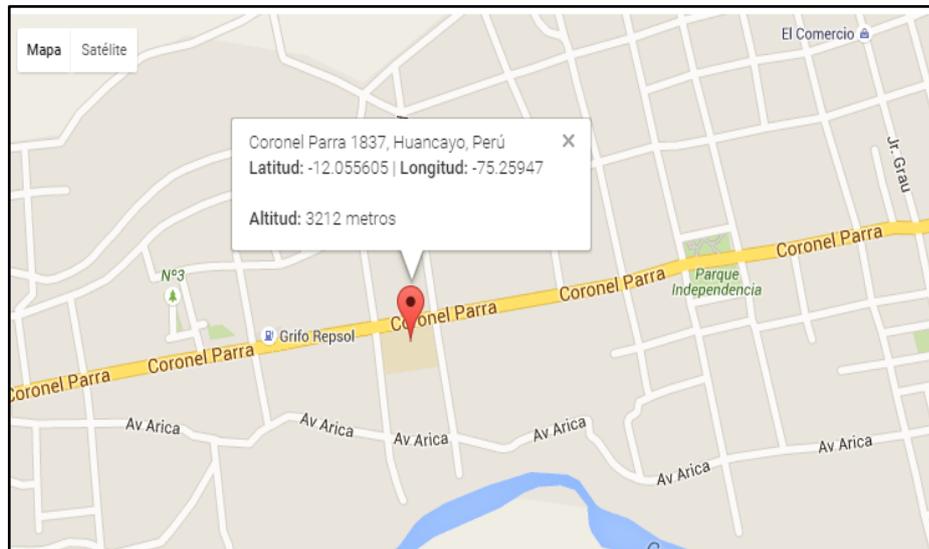


Fuente y elaboración: Google Earth versión 7.1.5.1557

3.1.2 Delimitación Temporal

El proceso de caracterización de la irradiación solar y el diseño y construcción del sistema automatizado se ha venido desarrollando desde el mes de julio del 2014 y termina con la obtención y análisis de datos experimentales con todo el equipo instalado en el mes de octubre del 2014, es decir abarca un periodo de 4 meses.

Figura 59: Mapa de ubicación del lugar de desarrollo de la investigación



Fuente y elaboración: Google Earth versión 7.1.5.1557

3.1.1.3 Métodos empleados en la implementación del sistema fotovoltaico (SFV)

Para la implementación del sistema fotovoltaico se emplearon los métodos siguientes:

Método Empírico de la Investigación Científica, Este método se dio mediante la aplicación de una serie de procedimientos prácticos resultado de la experiencia del investigador y asesores en la instalación de sistemas fotovoltaicos los cuales permitieron revelar las características fundamentales y relaciones esenciales del sistema y sus componentes para su posterior contemplación sensorial.

Método de la Observación Científica, En este método se aplicó la observación científica en la percepción directa del sistema fotovoltaico, siendo la observación investigativa el instrumento universal del científico, mediante ella se pudo conocer la realidad utilizando la percepción directa de los objetos y fenómenos para una correcta instalación.

Método Experimental, Se aplicó como resultado de las técnicas y conocimientos desarrollados en la implementación de sistemas fotovoltaicos desarrollados hasta la actualidad, lo cual se verifica en los antecedentes de la investigación, es así como de manera práctica, se pudo aplicar dichas experiencias de investigaciones pasadas para conseguir la correcta implementación del sistema propuesto.

3.1.1.4 Métodos empleados en la implementación del sistema automático de monitoreo (SAM)

Para la implementación del sistema fotovoltaico se emplearon los métodos siguientes:

Método Empírico de la Investigación Científica, Este método se dio mediante la aplicación de una serie de procedimientos prácticos resultado de la experiencia del investigador y asesores en la instalación de sistemas de monitoreo automático los cuales permitieron revelar las características fundamentales y relaciones esenciales del sistema y sus componentes para su posterior contemplación sensorial.

Método de la Observación Científica, En este método se aplicó la observación científica en la percepción directa del sistema de monitoreo automático (SAM), siendo la observación investigativa el instrumento universal del científico, mediante ella se pudo conocer la realidad utilizando la percepción directa de los objetos y fenómenos para una correcta instalación.

Método Experimental, Se aplicó como resultado de las técnicas y conocimientos desarrollados en la implementación de sistema de monitoreo automático (SAM) desarrollados hasta la actualidad, lo cual se verifica en los antecedentes de la investigación, es así como de manera práctica, se pudo aplicar dichas experiencias de investigaciones pasadas para conseguir la correcta implementación del sistema propuesto.

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación es de tipo **Aplicada-Tecnológica**, porque se aplica los una serie de recursos tecnológicos y de conocimientos existentes dentro del campo de la ingeniería ambiental, electrónica y de software, además una serie de dispositivos hardware y software como parte del sistema de evaluación de la producción energética del sistema fotovoltaico en la ciudad de Huancayo.

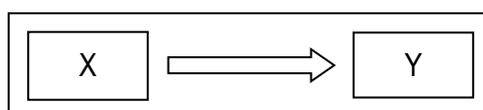
3.1.3 Nivel de investigación

La investigación se desarrolla en un nivel: **Experimental**, porque se busca obtener resultados claros que evidencien la realidad estudiada con un grado de precisión. La información recolectada y su respectiva validez serán resultado de la adquisición en tiempo real de datos de potencia generada por el sistema fotovoltaico, los cuales son procesados para estimar el rendimiento energético del sistema, asimismo estos resultados fueron contrastados con instrumentos de medición calibrados para su respectiva validación.

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es **experimental causal** (Ccanto, 2014) el cual está basado en una sola muestra de estudio para nuestro caso viene a ser la potencia generada por el sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público (causa) y su relación causal con la variable dependiente rendimiento energético del sistema (efecto)

Figura 60: Diseño experimental de la investigación



Fuente: (Ccanto, 2014)

Elaboración: Propia del autor

Donde:

X = Representa la causa (potencia generada por el sistema fotovoltaico implementado)

Y = Representa en efecto (rendimiento energético del sistema)

El diseño entonces evalúa el efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente, en *i* corridas experimentales.

3.3 Hipótesis de la investigación

3.3.1 Hipótesis Alternativa (H_1)

El sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP-Filial Huancayo alcanza un porcentaje de rendimiento energético mayor o igual al 95%.

3.3.2 Hipótesis Nula (H_0)

El sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP-Filial Huancayo alcanza un porcentaje de rendimiento energético menor al 95%.

3.4 Variables

3.4.1 Variable dependiente (Y)

Y1: Porcentaje de rendimiento energético del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público (DE_{SFI})

3.4.1.3 Indicadores

EG_{SFI} = Energía eléctrica generada por el sistema fotovoltaico implementado durante el día ($W - h/día$)

EC_{SFI} = Energía eléctrica consumida en alumbrado público durante la noche
(W – h/día)

3.4.2 Variable Independiente (X)

X1: Potencia generada por el sistema fotovoltaico implementado (P_{SFI})

3.4.2.3 Indicadores

V_{SFI} = Voltaje generado por el sistema fotovoltaico implementado (V)

A_{SFI} = Amperaje generado por el sistema fotovoltaico implementado (I)

t_{SFI} = Tiempo de radiación efectiva sobre sistema fotovoltaico implementado (h)

β = Angulo de inclinación de la superficie del panel solar con respecto al plano horizontal (*°sexagesimales*)

T_S = Temperatura superficial en el panel solar del sistema fotovoltaico (°C)

3.5 Cobertura de estudio

3.5.1 Universo

El universo de datos de nuestro estudio está constituido por el conjunto infinito de datos de potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico en el distrito de Pilcomayo provincia de Huancayo departamento de Junín, dicha variable que cambia constantemente debido a las condiciones atmosféricas del lugar, también la ubicación geográfica y en el tiempo.

3.5.2 Población

Por el tipo de investigación y las características de adquisición de datos; la POBLACIÓN está representada por el conjunto de datos potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico en el distrito de Pilcomayo provincia de Huancayo departamento de Junín en un periodo de tiempo limitado, los mismos que son adquiridos desde la salida hasta la puesta del sol de manera diaria; y por lo tanto por el gran número de datos tiende a ser una población infinita debido que la información es extensa y abundante, por lo que se considera como una POBLACIÓN INFINITA ($N = \infty$) (Quezada, 2010).

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

3.5.3 Muestra

En nuestra investigación el tamaño de muestra (n) es muy importante teniendo en cuenta que la validez y la calidad de los resultados dependen del tamaño de la muestra, en

nuestra investigación utilizaremos el Muestreo Aleatorio Simple, en donde el tamaño de muestra se calcula mediante la fórmula de Spiegel, (Walpole, Myers, & Myers, 2010):

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

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

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

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

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

Dónde:

n = Tamaño óptimo de la muestra

n_0 = Tamaño de la muestra inicial o aproximada.

N = Tamaño de la población bajo estudio.

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

E = Error de tolerancia de la estimación.

σ^2 = Varianza poblacional de la variable.

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

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

$N = \infty$: Población infinita

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

$E = 0.05$: Error recomendable 5%.

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

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

$$Z_{\alpha/2} = 1.96$$

Reemplazando datos en la formula (3.3), tenemos:

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

$$n_0 = 384.16$$

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

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

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

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

3.5.4 Muestreo

La tipo de muestreo empleado para la presente investigación es el **muestreo aleatorio sistematizado**, debido a que en este tipo de muestreo cada elemento seleccionado tiene la misma probabilidad de ser elegido, también debido a que nuestra población es de gran tamaño y se extiende en el tiempo, donde para la presente investigación se considera un coeficiente de elevación (K) igual al número de datos recolectados diariamente dividido entre la frecuencia de muestreo.

3.6 Técnicas e instrumentos

3.6.1 Técnicas de la investigación

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos primarios fueron la **observación, y la metrología** (Ccanto, 2014), consistió en observar el comportamiento de las variables del proceso, la medición de las variables, posterior a ello la selección y almacenamiento en la base de datos y finalmente el procesamiento y la representación de datos por variables para la prueba de hipótesis, esto permitió elaborar una base de datos experimentales, por cada variable de estudio, estos datos fueron tomados de forma simultánea con ayuda del software iPANELFV 1.0 y de los sensores instalados en el sistema fotovoltaico, tal como se puede apreciar en la siguiente figura extraída de la base de datos del software.

Figura 61: Base de datos obtenida aplicando la técnica de observación

REGISTRO	N	FECHA	HORA	VOLTAJE_V	AMPERAJE_A	POTENCIA_W	ENERGIA_KW	CONSUMO
32		25/07/2015	06:32:28 a. m.	24.0470157402108	1.11445507880365	26.7993188217493	1.40E-4	0.00E+0
33		25/07/2015	06:33:28 a. m.	24.0622514425963	1.24034719277222	29.8455460286035	1.48E-4	0.00E+0
34		25/07/2015	06:34:28 a. m.	24.0655349094311	1.12449984037946	27.0616901643016	1.56E-4	0.00E+0
35		25/07/2015	06:35:28 a. m.	24.0439742993698	1.31035690104472	31.5061876517212	1.64E-4	0.00E+0
36		25/07/2015	06:36:28 a. m.	24.0847963947517	1.09722594498086	26.426463483903	1.72E-4	0.00E+0
37		25/07/2015	06:37:28 a. m.	24.0297223712574	1.09722594498086	26.3660348364305	1.80E-4	0.00E+0
38		25/07/2015	06:38:28 a. m.	24.0916340833603	1.09722594498086	26.432965973248	1.87E-4	0.00E+0
39		25/07/2015	06:39:28 a. m.	24.003479721406	1.09722594498086	26.3372407201485	1.94E-4	0.00E+0
40		25/07/2015	06:40:28 a. m.	24.0270288233837	1.10371545111552	26.5190029567665	2.02E-4	0.00E+0
41		25/07/2015	06:41:28 a. m.	24.0270288233837	1.24438299958134	26.5190029567665	2.02E-4	0.00E+0
42		25/07/2015	06:42:28 a. m.	24.0738489496174	1.26457817244225	30.443263908358	2.17E-4	0.00E+0
43		25/07/2015	06:43:28 a. m.	24.0097482705685	1.24606893317838	29.9178014133887	2.25E-4	0.00E+0
44		25/07/2015	06:44:28 a. m.	24.1133334645484	1.2891064705285	31.0846541951608	2.34E-4	0.00E+0
45		25/07/2015	06:45:28 a. m.	24.0238386476716	1.37676137578607	33.075093148231	2.42E-4	0.00E+0
46		25/07/2015	06:46:28 a. m.	24.1384158110185	1.39838734988599	33.7548553164162	2.51E-4	0.00E+0
47		25/07/2015	06:47:28 a. m.	24.0917488233892	1.50696522124064	36.3054275957126	2.60E-4	0.00E+0
48		25/07/2015	06:48:28 a. m.	24.1132259842494	1.49639725799725	36.0829652442989	2.70E-4	0.00E+0
49		25/07/2015	06:49:28 a. m.	24.1132259842494	1.61233974137358	36.0829652442989	2.70E-4	0.00E+0
50		25/07/2015	06:50:28 a. m.	24.0985822794192	1.56379339351389	37.6852037616066	2.90E-4	0.00E+0

Fuente y elaboración: Propia del autor

3.6.2 Instrumentos de la investigación

Dentro de los instrumentos y materiales empleados para la presente investigación tenemos a todos los componentes instalados en el sistema de monitoreo de la potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico, asimismo, a los componentes del sistema fotovoltaico, estos se pueden apreciar a continuación:

3.6.2.1 Instrumentos del sistema fotovoltaico (SFV)

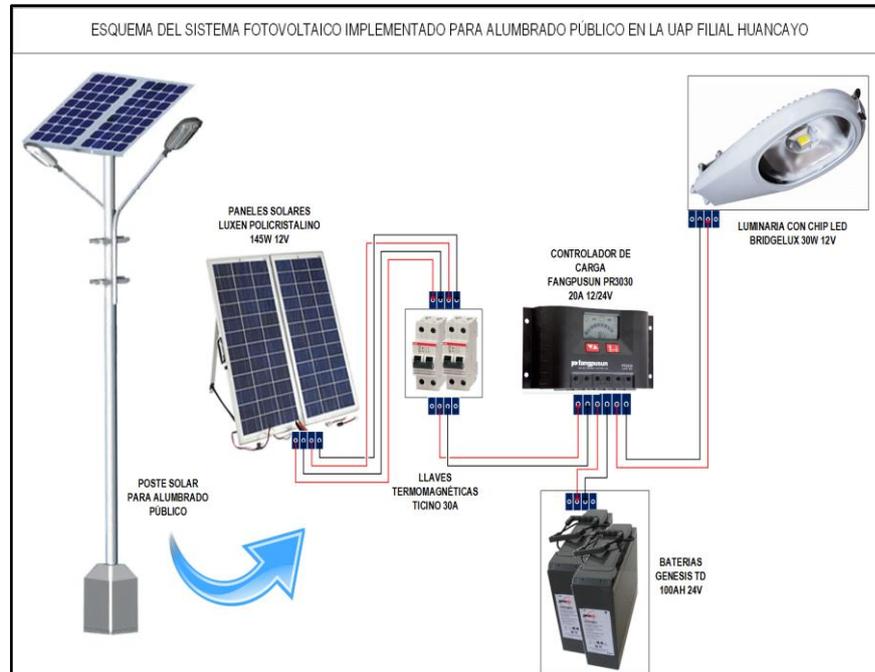
El sistema que se encarga de generar energía para el suministro a las luminarias LED del poste solar, cuenta con los componentes siguientes:

Tabla 11: Instrumentos del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo

Nº Item	Componente	Cantidad	Fabricante/Características
01	Panel solar	02	LUXEN POLICRISTALINO / 145W 12V
02	Batería gelificada	02	GENESIS TD BATERIA / 96-100AH 12V
03	Controlador de carga	01	FANGPUSUN / 20A -12V/24V
04	Llaves Termomagnéticas	02	TICINO / 30 A
05	Cable Bipolar multihilo	20m	TICINO VULCANIZADO/ 4 MM 50 A
06	Luminaria Led	02	BRIDGELUX / 30W 12V

Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 62: Esquema del sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo



Fuente y elaboración: Propia del autor

3.6.2.2 Instrumentos del sistema de monitoreo automático (SAM)

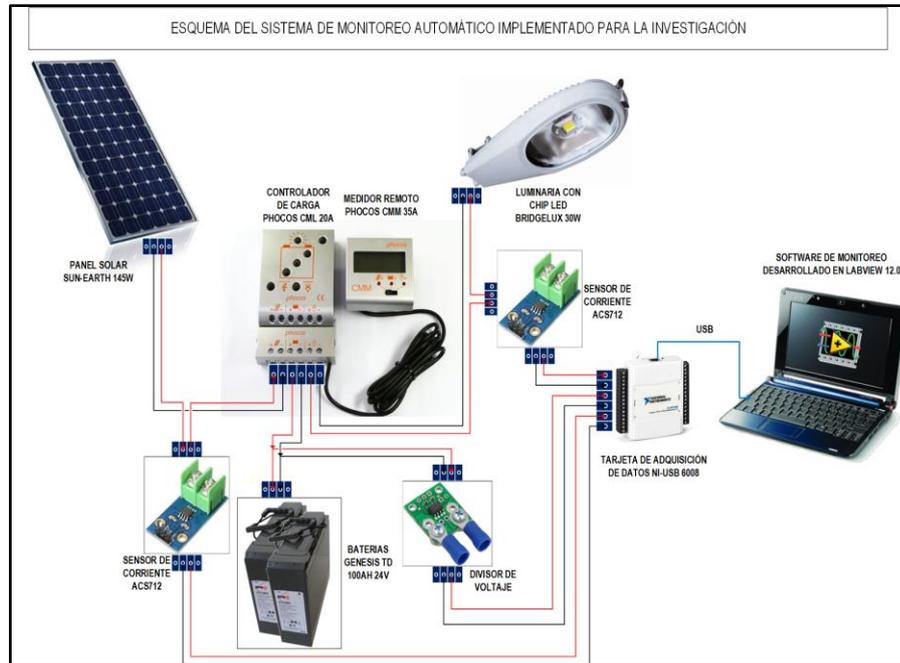
El sistema que se encarga de monitorear en tiempo real la potencia eléctrica generada por el sistema fotovoltaico y permite almacenar esta información en una base de datos, cuenta con los componentes siguientes:

Tabla 12: Materiales del sistema de monitoreo automático (SAM) implementado en la investigación

N° Item	Componente	Cantidad	Fabricante/Características
01	Sensor de corriente	02	ALLEGRO MICROSYSTEMS/ 30A
02	Controlador de carga	01	PHOCOS CML / 30A -12V/24V
03	Medidor Remoto	01	PHOCOS CMM / 35A -12V/24V
04	Divisor de voltaje	01	TEXAS INSTRUMENTS LM2596 / 5A
05	Tarjeta de Adquisición de datos	01	NATIONAL INSTRUMENTS NI-USB 6008
06	Software de desarrollo	01	LABVIEW versión 12.0
	Software de Base de datos	01	Microsoft Access 2013

Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 63: Esquema del sistema de monitoreo automático (SAM) implementado en la investigación



Fuente y elaboración: Propia del autor

3.6.2.3 Materiales adicionales empleados en la calibración e instalación de dispositivos

Además de los instrumentos considerados en la tablas 11 y 12, tenemos algunos elementos adicionales, que si bien no forman parte del sistema fotovoltaico ni del sistema de monitoreo automático, fueron útiles para la verificación de las instalaciones, calibración y contrastación de reglas heurísticas utilizadas en la instalación del sistema fotovoltaico.

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

3.6.2.4 Descripción de los principales componentes del equipamiento empleado en la investigación

Para la implementación de todo el equipamiento experimental fue imprescindible conocer el funcionamiento y las especificaciones técnicas de los diversos componentes que

cumplieron la labor de: generar de potencia eléctrica, sensoriamente, acondicionamiento de señal, adquisición de datos, procesamiento y almacenamiento de la información, estos componentes se detallan a continuación:

3.6.2.5 El módulo fotovoltaico

Consistió en dos paneles fotovoltaicos policristalinos de 145 Watts de potencia del fabricante LUXEN, los cuales operan a 12V en corriente continua, este dispositivo cumple la función de convertir la energía solar que llega hacia la superficie terrestre en el distrito de Huancayo en energía eléctrica la cual puede ser cuantificada midiendo el voltaje y la intensidad de corriente en el tiempo, mediante las siguientes ecuaciones:

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

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

Dónde:

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

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

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

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

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

Tabla 13: Especificaciones técnicas del módulo fotovoltaico de pruebas

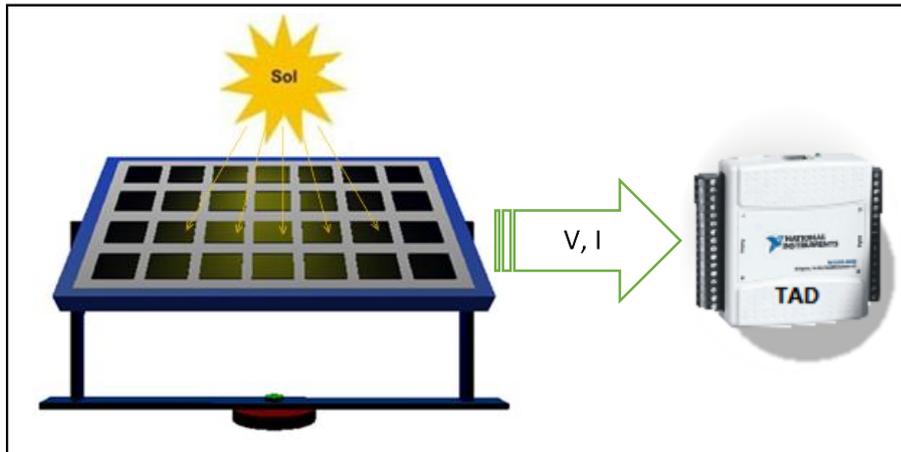
Característica	Valor
Potencia máxima	145 W
Tensión a máxima potencia	17.8 V
Corriente a máxima potencia	8.15 A
Eficiencia	14.8 %
Corriente de cortocircuito	8.5 A

Fuente: <http://es.enfsolar.com>

La ecuación 21 permite calcular la potencia generada por el modulo fotovoltaico, para los valores observados de voltaje e intensidad de corriente, en cualquier instante dado, del mismo modo teóricamente la energía eléctrica generada (E) es estimada del producto del voltaje (V) por la corriente (I), esta relación es válida en tanto la potencia sea constante, debido a la variabilidad de los datos de potencia durante el día debido a diversos factores

climatológicos, no se puede aplicar esta simple relación, esta es la razón de emplear la ecuación 14, la cual evalúa la integral de la potencia como función del tiempo, esto permite medir con exactitud la potencia generada por el panel fotovoltaico con cada segundo que transcurre.

Figura 64: Esquema módulo fotovoltaico para monitoreo de potencia generada



Fuente: Propia del autor

3.6.2.6 Tarjeta de Adquisición de datos

La tarjeta de Adquisición de datos modelo NI-USB 6008 de la marca National Instruments es un dispositivo de E/S digital portátil, que brinda adquisición de datos y control confiables. Con conectividad USB plug-and-play, el NI USB-6501 es suficiente para aplicaciones académicas a nivel laboratorio y piloto, pero también lo suficientemente robusto y versátil para aplicaciones industriales.

Características de la tarjeta

- Interfaz de bus USB 2.0 de alta velocidad (12 Mb/s)
- Protección de sobre voltaje, 8.5mA de capacidad de corriente
- Conectividad de 36 pines IDC de terminación masiva
- Dispositivo de E/S digital, pequeño y portátil
- 24 líneas de E/S digitales; un contador de 32 bits
- Terminales de tornillos integradas con conectores desmontables para una fácil conectividad

Figura 65: TAD NI-USB 6008 de la marca National Instruments



Fuente: National Instruments

- Conectores de entrada/salida

El USB-6008/6009 viene con un bloque desmontable de terminales para señales analógicas y un bloque desmontable de terminales para señales digitales. En total cuenta con 32 terminales de entrada/salida.

Tabla 14: Enumeración de terminales de E/S del NI USB-6008

Terminales analógicos			Terminales digitales	
Terminal	Señal modo unipolar	Señal modo diferencial	Terminal	Señal
1	GND	GND	17	P0.0
2	AI 0	AI 0+	18	P0.1
3	AI 4	AI 0-	19	P0.2
4	GND	GND	20	P0.3
5	AI 1	AI 1+	21	P0.4
6	AI 5	AI 1-	22	P0.5
7	GND	GND	23	P0.6
8	AI 2	AI 2+	24	P0.7
9	AI 6	AI 2-	25	P1.0
10	GND	GND	26	P1.1
11	AI 3	AI 3+	27	P1.2
12	AI 7	AI 3-	28	P1.3
13	GND	GND	29	PFI 0
14	AO 0	AO 0	30	+2.5V
15	AO 1	AO 1	31	+5V
16	GND	GND	32	GND

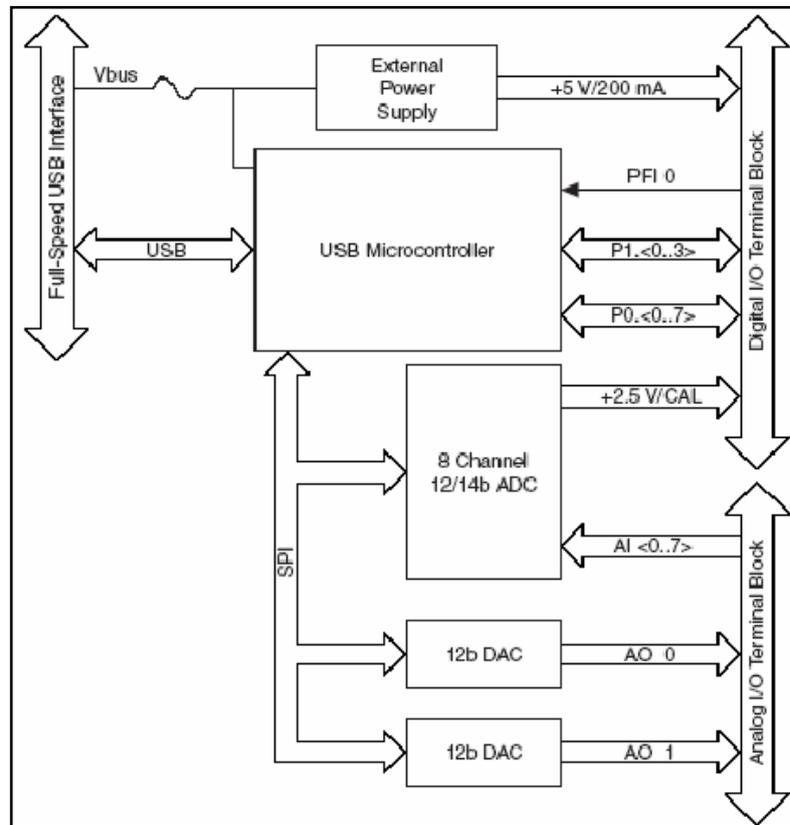
Fuente: National Instruments, Elaboración: Propia del Autor

- Estructura interna de la tarjeta

La NI/USB-6008 es un módulo de adquisición de datos, fabricado por la compañía National Instruments, este módulo provee conexión a 8 canales de entradas analógicas (AI), 2 canales de salidas analógicas (AO), 12 canales de entrada/salida digital y 1 contador de 32 bits con interfaz full-speed USB.

La Estructura Interna del NI USB-6008 se muestra en el siguiente diagrama de bloques lo cual muestra los componentes funcionales internos del módulo NI USB-6008.

Figura 66: Diagrama de bloques de la estructura interna de NI USB-6008



Fuente: National Instruments

- Descripción de terminales de entrada/salida

Tabla 15: Descripción de los terminales de E/S del NI USB-6008

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
GND			Tierra
AI<0..7>	Varias	Entrada	Para las mediciones de terminación única, cada señal es un canal de entrada de tensión analógica. Para las mediciones diferenciales, AI y AI 0 4 son las entradas positiva y negativa del canal de entrada analógica diferencial 0. Los pares de señales siguientes también forman canales de entrada diferencial: AI <1, 5>, AI <2, 6>, y AI <3, 7>.
AO 0	GND	Salida	Canal 0 de salida analógica, suministra voltaje de salida del canal AO 0
AO 1	GND	Salida	Canal 1 de salida analógica, suministra voltaje de salida del canal AO 1
PI.<0..3> PO.<0..7>	GND	Salida y Entrada	Señales de entrada y salida. Cada señal puede ser configurada individualmente como entrada o salida.
+2.5V	GND	Salida	+2.5V referencia de entrada. Provee una referencia
+5V	GND	Salida	+5V fuente de alimentación. Provee +5V y 200mA
PFI 0	GND	Entrada	PFI 0, este pin es como trigger digital o como contador.

Fuente y elaboración: National Instruments, Elaboración: Propia del Autor

3.6.2.7 El sensor de corriente ACS712

El sensor ACS712 de Allegro, es un sensor de corriente por efecto hall, que provee un solución económica y precisa para medir corriente en AC o DC, ya sea en ambientes industriales o comerciales. Este sensor funciona transformando un campo magnético surgido por el paso de la corriente a través de un alambre de cobre interno en el sensor, y convirtiendo este campo en un voltaje variable. Esto significa que a mayor cantidad de corriente que tengamos, mayor voltaje vamos a tener en un pin.

Figura 67: Sensor de corriente ACS712



Fuente y elaboración: <http://saber.patagoniatecnology.com>

Este sensor viene en 3 modelos distintos: ACS712ELCTR-05B-T que mide hasta 5A, el ACS712ELCTR-20A-T que mide hasta 20A y el ACS712ELCTR-30A-T que mide hasta 30A. Las diferencias entre cada uno de los modelos es que las variaciones de voltaje en su pin de salida es siempre la misma, por ende para cualquier modelo su salida analógica variara entre 0 y 5v dándonos una mejor precisión en el modelo de 5A que en el de 30A.

Tabla 16: Sensibilidad del sensor de corriente de acuerdo al modelo

N°	Part Number	IP(A)	Sensitivity (mV/A)
01	ACS712ELCTR-05B-T	±5	185
02	ACS712ELCTR-20A-T	±20	100
03	ACS712ELCTR-30A-T	±30	66

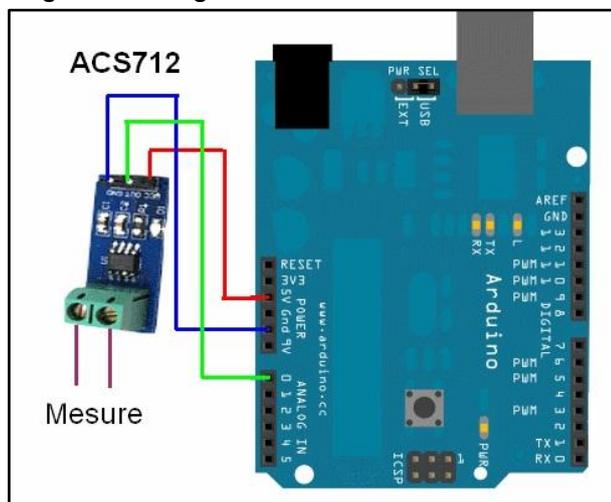
Fuente y elaboración: <http://saber.patagoniatecnology.com>

Características Técnicas:

- ✓ Low-noise analog signal path
- ✓ Device bandwidth is set via the new FILTER pin
- ✓ 5 μ s output rise time in response to step input current
- ✓ 80 kHz bandwidth
- ✓ Total output error 1.5% at TA = 25°C
- ✓ Small footprint, low-profile SOIC8 package
- ✓ 1.2 m Ω internal conductor resistance
- ✓ 2.1 kVRMS minimum isolation voltage from pins 1-4 to pins 5-8

- ✓ 5.0 V, single supply operation
- ✓ 66 to 185 mV/A output sensitivity
- ✓ Output voltage proportional to AC or DC currents
- ✓ Factory-trimmed for accuracy
- ✓ Extremely stable output offset voltage
- ✓ Nearly zero magnetic hysteresis
- ✓ Ratiometric output from supply voltage

Figura 68: Diagrama de conexiones del ACS712



Fuente y elaboración: <http://saber.patagoniatecnology.com>

3.6.2.8 Solarímetro

El Instrumento utilizado para medir y contrastar los datos de radiación solar recolectados en el ámbito de estudio a saber el distrito de Huancayo fue el solarímetro marca Boeco Modelo SM206, el cual es un instrumento calibrado y cumple con los estándares de calidad, se presenta en la siguiente figura.

Características

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

Figura 69: Solarímetro marca BOECO modelo SM206



Fuente y elaboración: www.boeco.com

Ventajas en la medición

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

Tabla N° 17: Especificaciones técnicas del medidor ES-2000

Especificación	Descripción
Vida de la batería	100 horas aprox.
Exactitud	Típicamente entre $\pm 10\text{W/m}^2 \pm 3 \text{ BTU}$ ó $\pm 5\%$, cualquier es mayor en luz solar. Error inducido de temperaturas adicionales $\pm 0.38\text{W/m}^2 \pm 0.12 \text{ BTU (ft}^2\text{·h)}$ de 25, 15% de otra fuente de luz visible.
Temperatura de operación & RH	5°C ~ 40°C por debajo de 80%RH
Temperatura de almacenamiento & RH	-10°C ~ 60°C por debajo 70%RH
Pantalla	LCD, 3-1/2 dígitos con máxima lectura 1999
Tiempo de muestreo	0.25 segundos aprox.
Resolución	1W/m ² 1 BTU / (ft ² ·h)
Exactitud	< ± 3 /año

Rango	1999W/m ² 634 BTU / (ft ² * h)
Dimensiones y peso	132 x 60 x 38 mm. 150g aprox
EMC	Este instrumento es conforme a EMC y ha sido objeto de pruebas de compatibilidad de acuerdo a EN61326 (1997) + A1 (1998) + A2 (2001)

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

3.6.2.9 Pinza amperimétrica

Se utilizó la pinza amperimétrica digital modelo Premium PR54 de la marca Prasek, este dispositivo permite medir con precisión la intensidad de corriente generada de manera continua por el panel solar, cumple la función principal de permitirnos calibrar los sensores instalados, de manera previa antes de iniciar la adquisición de datos.

Figura 70. Pinza amperimétrica digital Prasek Premiun PR54



Fuente y elaboración: www.digitronik.pe

3.6.2.10 Multímetro digital

Se utilizó el multímetro digital modelo Premium PR-75C de la marca Prasek, este dispositivo permitió calibrar los sensores de voltaje, asimismo se utilizó para medir continuidad en las instalaciones y cableado instalado tanto del sistema fotovoltaico como el del sistema automatizado de monitoreo, esto se hizo previamente antes de ser enviado al software de monitoreo, este dispositivo se muestra en la figura siguiente.

Figura 71. Multímetro digital modelo Prasek PR-75C para medir tensión

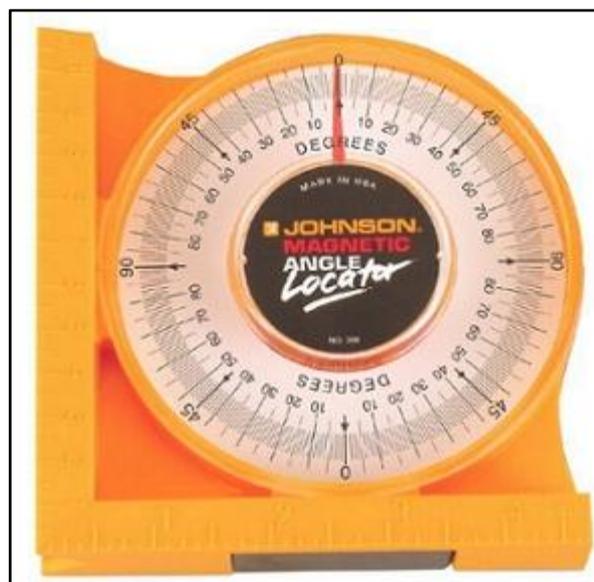


Fuente y elaboración: www.digitronik.pe

3.6.2.11 Inclinómetro

Este instrumento sirvió para medir el ángulo de inclinación del panel solar en base a los cálculos desarrollados, posee una base magnética que permite una adherencia a superficies metálicas, y fue de gran utilidad para calibrar el sensor acelerómetro y otras pruebas experimentales.

Figura 72. Inclinómetro de base magnética marca Johnson

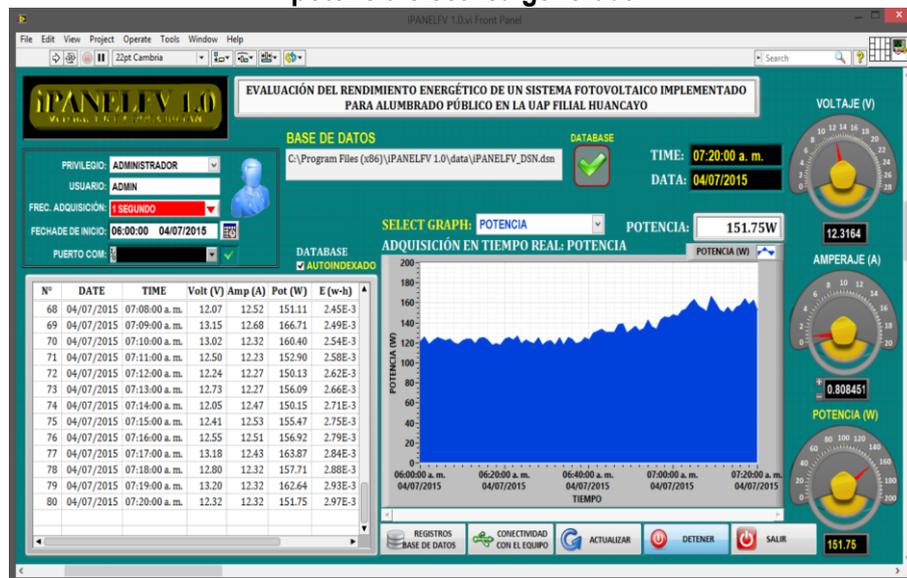


Fuente y elaboración: <http://www.viasatelital.com>

3.6.2.12 El software de control iPANEL 1.0

Para conseguir la adquisición en tiempo real de la información adquirida por los sensores de voltaje, intensidad de corriente, temperatura, el cálculo de la potencia generada por el sistema fotovoltaico para su posterior almacenamiento en la base de datos, fue preciso desarrollar un software gestor de la información, esta herramienta software fue desarrollada en el entorno de programación de LabVIEW 12.0 versión estudiantil, a continuación se presentan las distintas ventanas y el panel frontal principal, asimismo la base de datos en Access de Microsoft Office 2013, esta información también se presenta en los anexos:

Figura 73: Ventana principal del software iPANEL 1.0 para el monitoreo de la potencia eléctrica generada



Fuente y elaboración: Propia del autor

- Ventana de configuración inicial

Al ejecutar el software la ventana que se muestra en primer lugar es la de configuración inicial, en la cual se verifica que la hora y fecha inicial sean los correctos con el propósito de que los datos sean correctamente almacenados con la hora y fecha correcta, también se debe configurar la frecuencia de adquisición de datos es decir el tiempo que transcurre entre la adquisición de un dato y el siguiente, esta ventana se muestra en la imagen siguiente:

Figura 74: Ventana de configuración inicial del software iPANEL 1.0



Fuente y elaboración: Propia del autor

- Ventana de conectividad con la base de datos

En esta ventana se debe seleccionar el archivo de base de datos el cual se encuentra en la ubicación `C:\Program Files (x86)\FOTOSYSTEM 1.0\data\FOTOSYSTEM_DS.dsn`, el archivo seleccionado tiene extensión `.dsn` (data source name) y es el que establece la conexión entre el software FOTOSYSTEM 1.0 y la base de datos FOTOSYSTEM_DB.mdb, este archivo se crea cuando el software es instalado en el sistema operativo, si hay conexión exitosa entonces se muestra un indicador de color verde en forma de check y un mensaje de conectado e el cuadro de estado de la conexión de BD, esto se muestra en la figura siguiente:

Figura 75: Ventana de conectividad con la base de datos

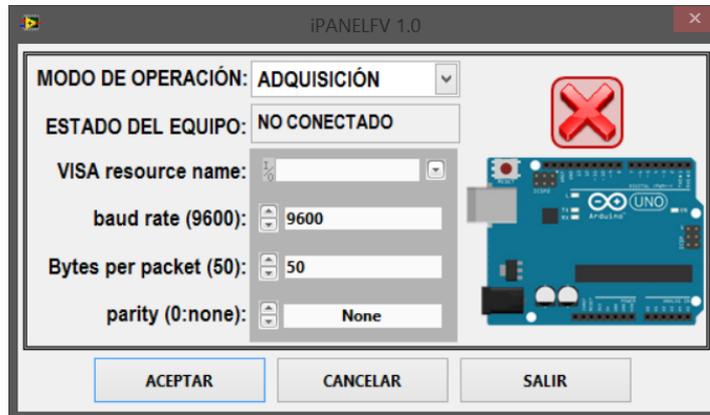


Fuente y elaboración: Propia del autor

- Ventana de conectividad con el equipo

Esta ventana sirve para configurar el modo de operación, el puerto COM asignado a la tarjeta de adquisición de datos conectada, la velocidad de transmisión, el número de bytes por paquete de datos, y la paridad de la transmisión, inicialmente se muestra como sigue:

Figura 76: Vista inicial de la ventana de conectividad con el equipo



Fuente y elaboración: Propia del autor

En la ventana se muestra un icono de aspa color rojo lo cual indica que aún no se ha configurado la transmisión de datos de la tarjeta de adquisición de datos, en este punto es necesario ingresar la siguiente información:

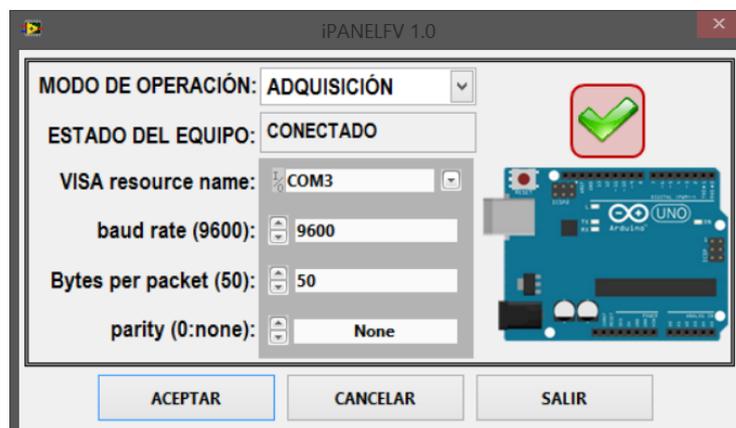
Tabla N° 18: Datos de ingreso para conectividad del equipo con el software FOTOSYSTEM 1.0

N°	ITEM	VALOR
01	MODO DE OPERACIÓN	ADQUISICIÓN
02	VISA resource name	COM disponible
03	Baud rate	9600
04	Bytes per packet	50
05	Parity	None

Fuente y elaboración: Propia del autor

Una vez ingresada la información el icono que ahora se muestra es de color verde lo cual indica que le podemos dar en aceptar y continuar en el software:

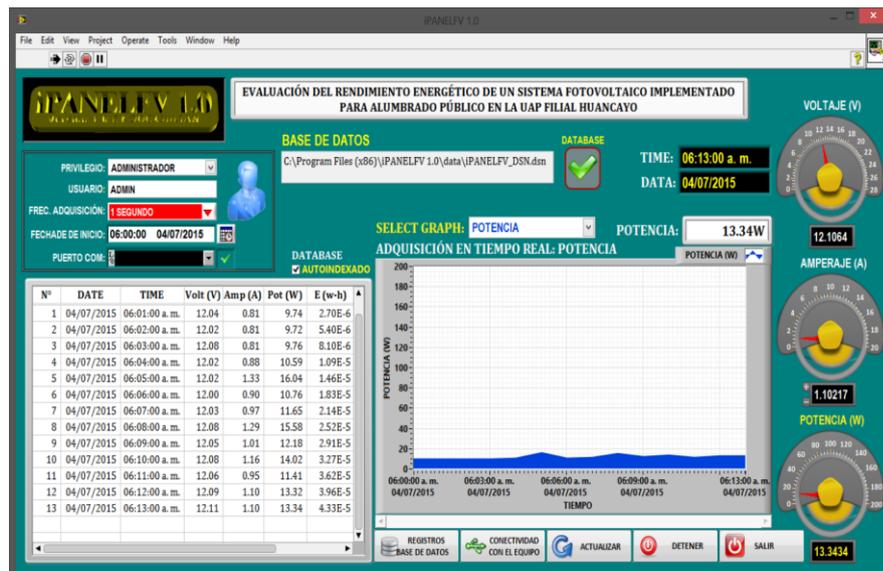
Figura 77: Ventana de conectividad con el equipo



Fuente y elaboración: Propia del autor

Finalmente una vez ingresada la información previa en las ventanas de configuración precedentes ingresamos a la ventana principal o panel frontal del software Ipanelfv 1.0, en donde se aprecia que la adquisición y almacenamiento de datos en tiempo real está en ejecución, esto se aprecia en la figura siguiente:

Figura 78: Inicio de la adquisición de datos en la ventana principal del software iPANEL 1.0



Fuente y elaboración: Propia del autor

3.7 Procesamiento estadístico de la información

3.7.2 Estadísticos

Para el procesamiento estadístico de la investigación se empleó la **estadística descriptiva** para el cálculo de los estadísticos como son la media, desviación estándar, tabla de frecuencias, mínimos y máximos por cada variable de estudio, también para el cálculo del tamaño de muestra, asimismo se empleó la **estadística inferencial** para demostrar la hipótesis propuesta, para este propósito se empleó el software estadístico SPSS versión 20.0.

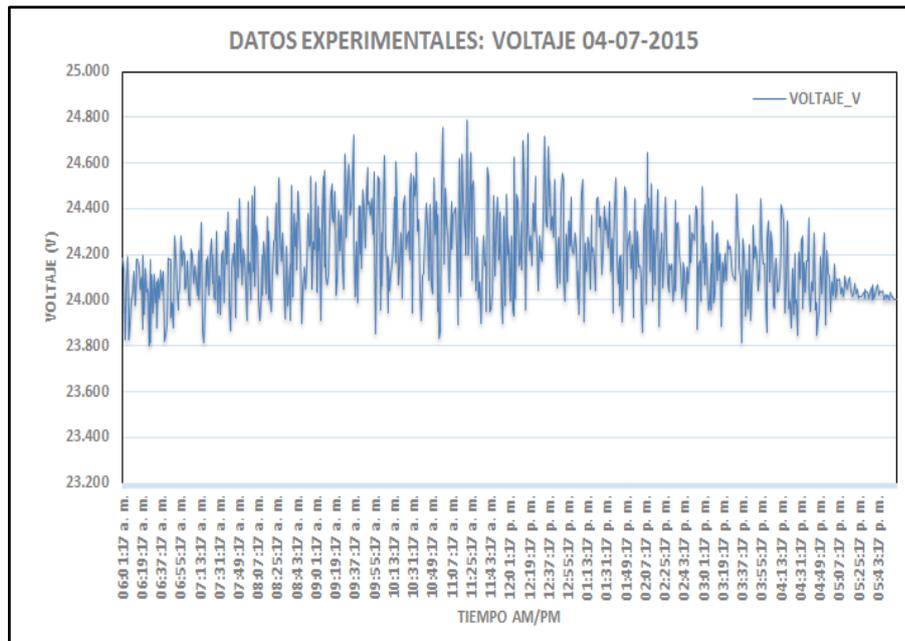
3.7.3 Representación

La representación de los datos experimentales se dio mediante los recursos siguientes:

- Cuadros estadísticos (tablas de frecuencia) para verificar el comportamiento de las variables, con ayuda del software iPANELV 1.0, SPSS 20.0 y Excel.

- Gráficas de tendencias (Histograma, polígono de frecuencia, y otros), gráficos históricos, con ayuda del software iPANELFV 1.0, SPSS 20.0 y Excel, un ejemplo se presenta en la figura siguiente:

Figura 79: Representación de datos procesados de voltaje en el día 04/07/2015



Fuente y elaboración: Propia del autor

3.7.4 Técnica de comprobación de la hipótesis

Para validar la hipótesis alternativa propuesta, una vez adquiridos los datos experimentales, se desarrolló una prueba de hipótesis tipo ***T-student unilateral del tipo $H_A: \mu > \mu_0$*** , ya que se desconoce la varianza poblacional de los datos experimentales de potencia generada por el sistema fotovoltaico, previamente se analizó si la muestra de datos ofrece distribución normal requerida para la propuesta de prueba de hipótesis.

CAPÍTULO IV

ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la presente investigación, tal como ya se había descrito nuestro instrumento de recolección de datos lo constituye el sistema automático de monitoreo (SAM) y el sistema fotovoltaico (FV) de generación de energía a partir de la radiación solar existente, ambos sistemas fueron instalados de acuerdo a los esquemas decretos en el capítulo anterior y de acuerdo a los objetivos específicos de la presente investigación, se procede a presentar los resultados obtenidos, esto se detalla a continuación:

4.1.1. Implementación y puesta en funcionamiento del sistema fotovoltaico para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo.

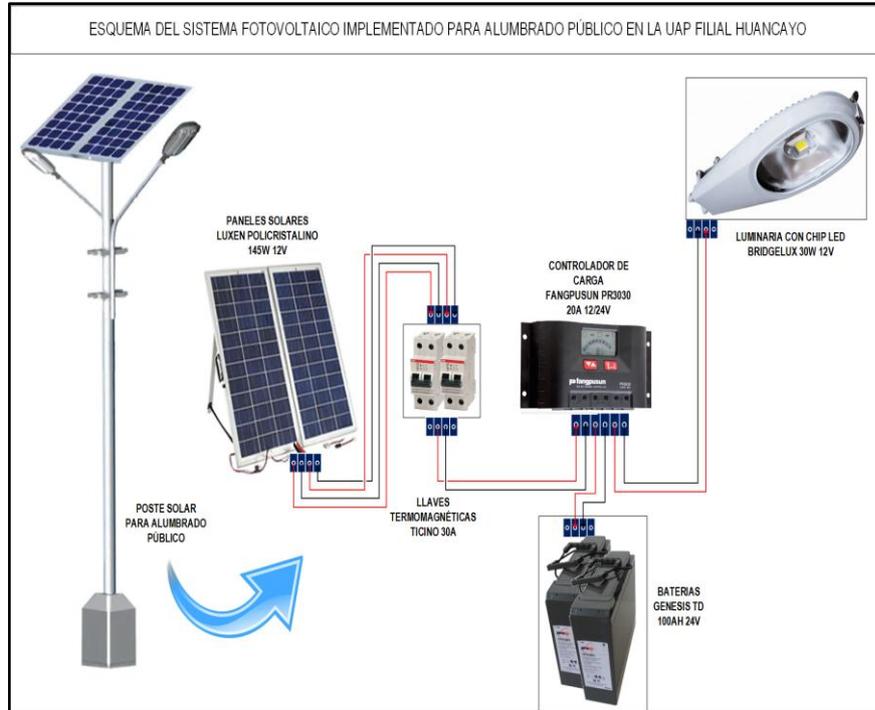
Para la instalación y puesta en marcha como ya se detalló en el capítulo III se utilizó el método empírico, la observación científica y finalmente el método experimental, basados en el esquema del sistema fotovoltaico, para este propósito se emplearon los elementos siguientes:

Tabla 19: Materiales y dispositivos del sistema fotovoltaico implementado en el poste solar

N° Item	Componente	Cantidad	Fabricante/Características
01	Panel solar	02	LUXEN POLICRISTALINO / 145W 12V
02	Batería gelificada	02	GENESIS TD BATERIA / 96-100AH 24V
03	Controlador de carga	01	FANGPUSUN / 20A -12V/24V
04	Llaves Termomagnéticas	02	TICINO / 30 A
05	Cable Bipolar multihilo	20m	TICINO VULCANIZADO/ 4 MM 50 A
06	Luminaria Led	02	BRIDGELUX / 30W 12V

Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 80: Esquema del sistema fotovoltaico (FV) implementado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo



Fuente y elaboración: Propia del autor

Los componentes fueron instalados sobre una estructura metálica la cual denominaremos poste solar, que sirvió de soporte y protección para los componentes del sistema fotovoltaico, la instalación del mismo se parecía en la figura:

Figura 81: Instalación de los componentes en el poste solar



Una vez instalados todos los componentes del sistema, se desarrollaron pruebas preliminares del funcionamiento de las luminarias y paneles solares, tal como se aprecia:

Figura 82: Paneles solares y luminarias LED instaladas en el poste solar



Fuente y elaboración: Propia del autor

Algunos de los componentes como son las dos baterías, llaves termomagnéticas y el controlador de carga se instalaron en un compartimiento (caja metálica) ubicada en la parte inferior del poste solar tal como se aprecia en la figura siguiente:

Figura 83: Baterías, controlador de carga y accesorios en la base del poste solar



Fuente y elaboración: Propia del autor

Asimismo es importante mencionar que los paneles solares fueron instalados con un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar, en este caso las instalaciones de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo ($12^{\circ}03'20.1''S$ $75^{\circ}15'33.9''W$) más 15° , lo cual hace una inclinación total de 27° , con respecto al norte magnético, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

4.1.2 Implementación y puesta en funcionamiento del sistema automático de monitoreo (SAM) de datos

Para la instalación y puesta en marcha del sistema como ya se detalló en el capítulo III se utilizó el método empírico, la observación científica y finalmente el método experimental, basados en el esquema del sistema de monitoreo de datos, para este propósito se emplearon los elementos siguientes:

Tabla 20: Dispositivos del sistema de monitoreo automático (SAM) de datos

N° Item	Componente	Cantidad	Fabricante/Características
01	Sensor de corriente	02	ALLEGRO MICROSYSTEMS/ 30A
02	Controlador de carga	01	PHOCOS CML / 30A -12V/24V
03	Medidor Remoto	01	PHOCOS CMM / 35A -12V/24V
04	Divisor de voltaje	01	TEXAS INSTRUMENTS LM2596 / 5A
05	Tarjeta de Adquisición de datos	01	NATIONAL INSTRUMENTS NI-USB 6008
06	Software de desarrollo	01	LABVIEW versión 12.0
	Software de Base de datos	01	Microsoft Access 2013

Fuente y elaboración: Propia del autor

Estos materiales fueron instalados cuidadosamente de acuerdo al esquema del sistema SAM, al término de este proceso medir la potencia generada por el panel solar del sistema fotovoltaico se utilizó el sensor de voltaje en voltios, un sensor de intensidad de corriente en amperios, los cuales envían la señal adquirida del panel solar hacia dos de los canales de entrada analógica de la Tarjeta de Adquisición de Datos TAD NI-USB 6008, esta tarjeta es la encargada de digitalizar la señal analógica de los sensores y permite la comunicación con el software iPANELFV 1.0 desarrollado en el entorno de programación LabVIEW, el cual cuenta con una base de datos en Access que permite almacenar la información en tiempo real, para la calibración de estos sensores se utilizó el medidor remoto Phocos CMM 35A, asimismo la carga o consumo que en este caso está dada por las dos luminarias con chip LED BRIDGELUX de 30 Watts de potencia, también es

monitoreada por otro de los canales de entrada analógica de la tarjeta de adquisición de datos.

Figura 84: Esquema del sistema de monitoreo automático (SAM) implementado en la investigación



Fuente y elaboración: Propia del autor

Los componentes fueron instalados en una caja de protección, después del desarrollo de pruebas de funcionamiento y cableado tal como se muestra en la figura:

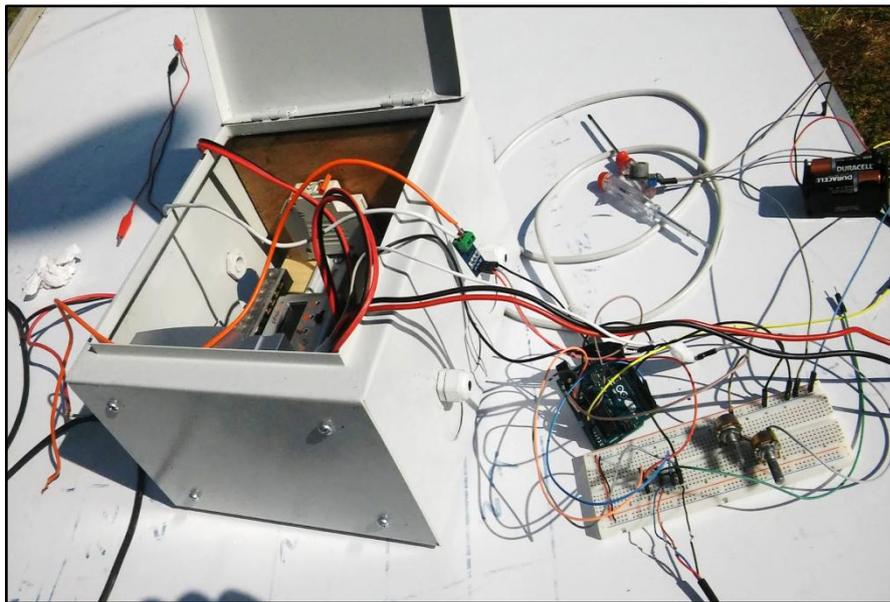
Figura 85: Componentes del sistema de monitoreo de potencia generada



Fuente y elaboración: Propia del autor

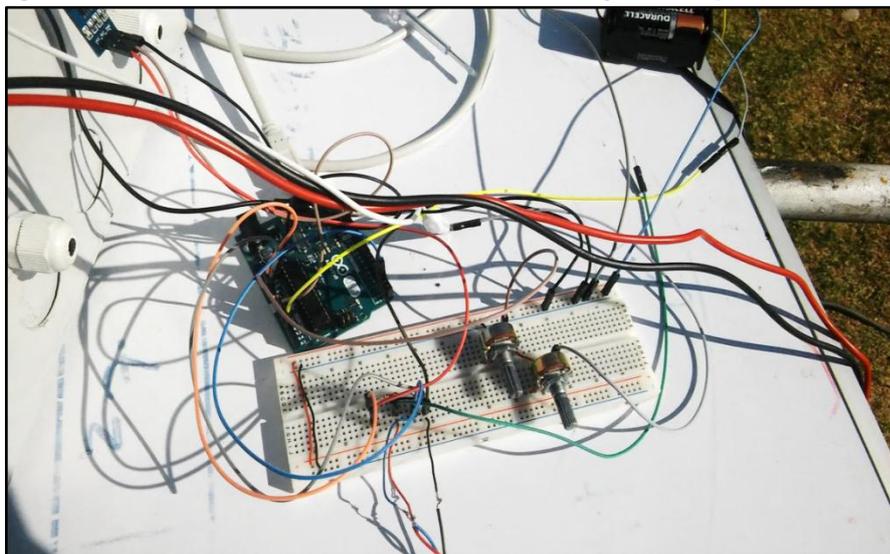
Para el correcto funcionamiento de los sensores fue preciso la calibración de los mismos, esto fue posible gracias al medidor remoto modelo CMM 35A de la marca PHOCOS que sirvió el papel de instrumento calibrado de referencia, esto permitió comparar las señales generadas por sensor de corriente modelo ACS712 el desarrollo pruebas de funcionamiento, para finalmente verificar estos valores en el software de adquisición de datos.

Figura 86: Componentes del sistema de monitoreo de potencia generada



Fuente y elaboración: Propia del autor

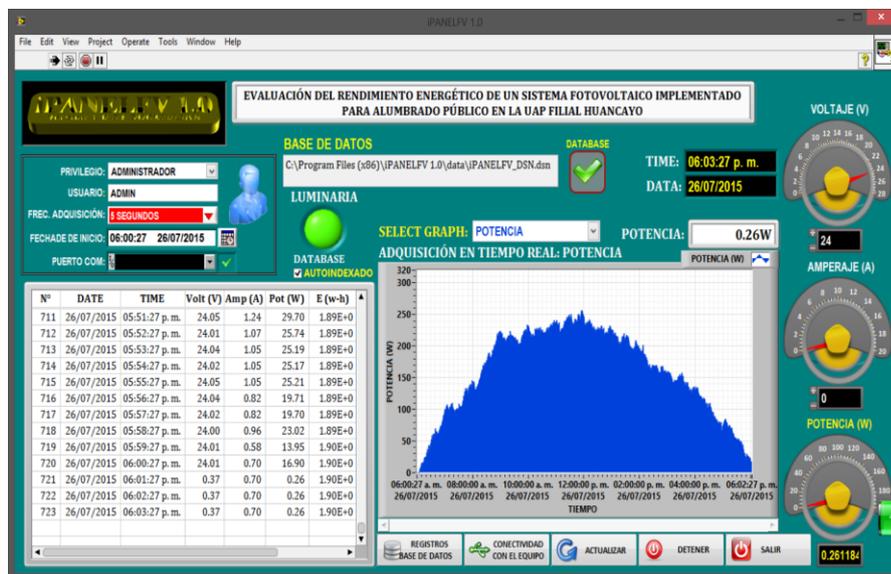
Figura 87: Pruebas de conectividad de sensores con la tarjeta de adquisición de datos



4.1.3. Conectividad y almacenamiento de datos con el software iPANELFV 1.0

Como ya se mencionó en el capítulo precedente la adquisición y almacenamiento de los datos procedente de los sensores instalados, se realizó empleando la herramienta software desarrollada en el entorno de programación grafico LabVIEW 12.0, dicha herramienta se denominó iPANELFV 1.0, esto herramienta permitió almacenar la información de manera segura y sencilla en la base de datos para su posterior análisis, la ventana principal del software en modo ejecución se muestran a continuación:

Figura 88: Adquisición en tiempo real de datos de potencia generada por el sistema fotovoltaico



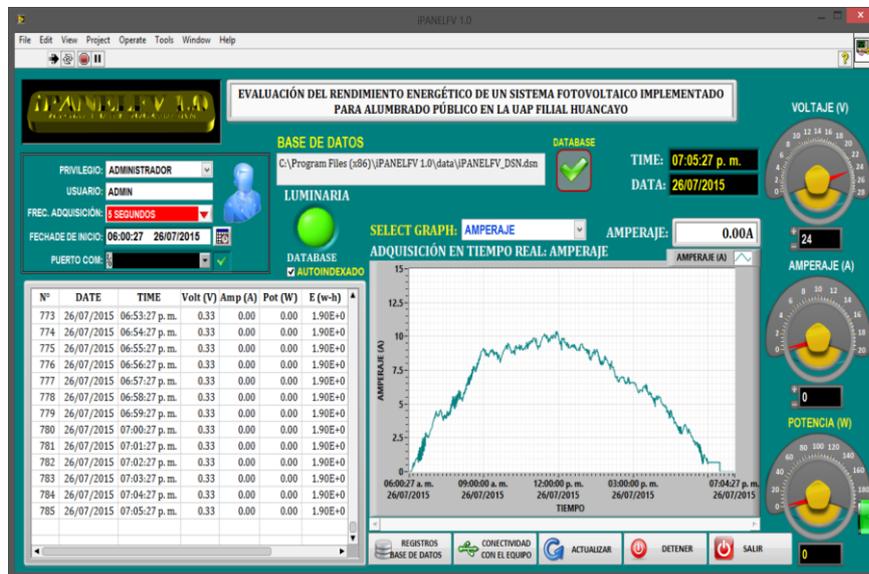
Fuente y elaboración: Propia del autor

La figura 96 corresponde a la potencia generada por el sistema fotovoltaico, para ser más explícito la potencia generada por el panel solar durante el día 26/07/2015, en el horario de 06:00:46 a.m. a 06:00:46 p.m., durante el día las luminarias del sistema se mantienen apagadas y se encienden a las 06:00:00 p.m. esto fue previamente programado en el controlador de carga del sistema, esto mismo se puede verificar en el indicador led colore verde de la pantalla mostrada con el rótulo de LUMINARIA.

La figura 97 corresponde al amperaje registrado por el software iPANELFV 1.0, el amperaje viene a ser la intensidad de corriente medida en Amperios detectada entre la salida del panel solar y la entrada a la batería por medio del sensor ACS712, esta señal es digitalizada por la tarjeta de Adquisición de datos modelo NI-USB 6008 Y finalmente es

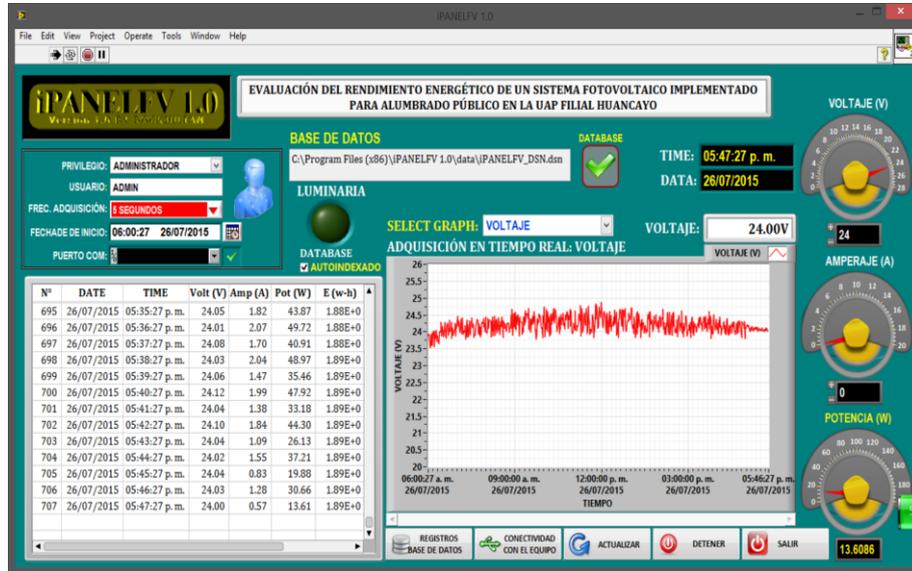
presentada en el registro grafico del software, asimismo la información es almacenada en un registro tipo tabla para luego ser enviada a la base de datos, la adquisición se dio durante el día 26/07/2015, en el horario de 06:00:46 a.m. a 06:00:46 p.m., durante el día las luminarias del sistema se mantienen apagadas y se encienden a las 06:00:00 p.m. esto se programó en el controlador de carga del sistema que ofrece esta posibilidad, esto mismo se puede verificar en el indicador led color verde del software con el rótulo de LUMINARIA.

Figura 89: Adquisición en tiempo real de datos de amperaje registrado del sistema fotovoltaico



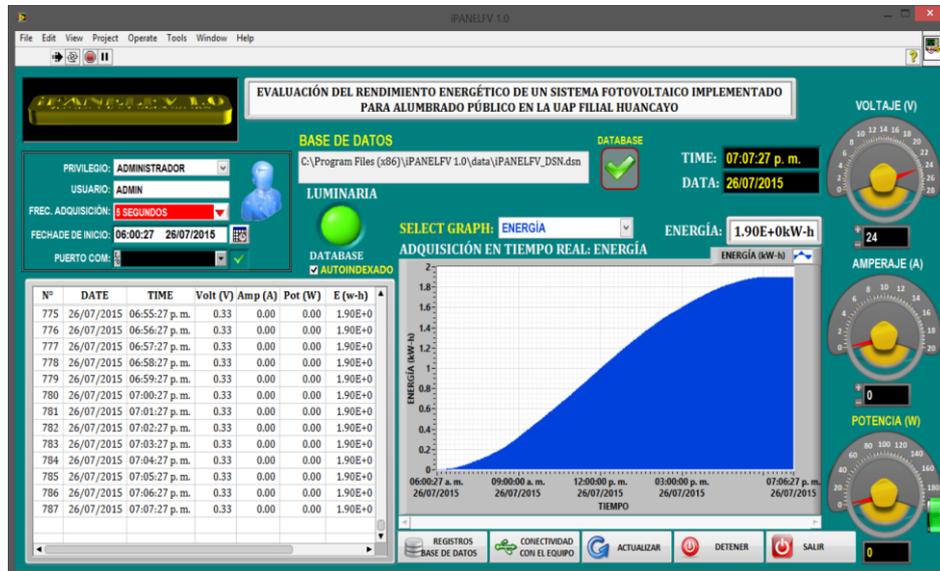
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 90: Adquisición en tiempo real de datos de voltaje registrado del sistema fotovoltaico



Fuente y elaboración: Propia del autor

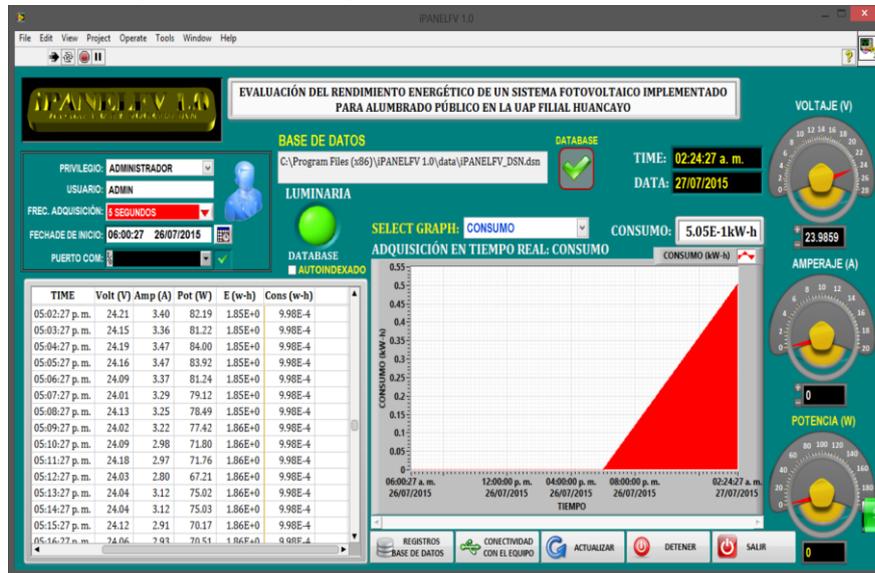
Figura 91: Adquisición en tiempo real de datos de energía generada por el sistema fotovoltaico



Fuente y elaboración: Propia del autor

La energía generada y acumulada durante el día 26/07/2015 se aprecia en la figura 99, asimismo la energía consumida por la luminarias se presenta en la figura 100.

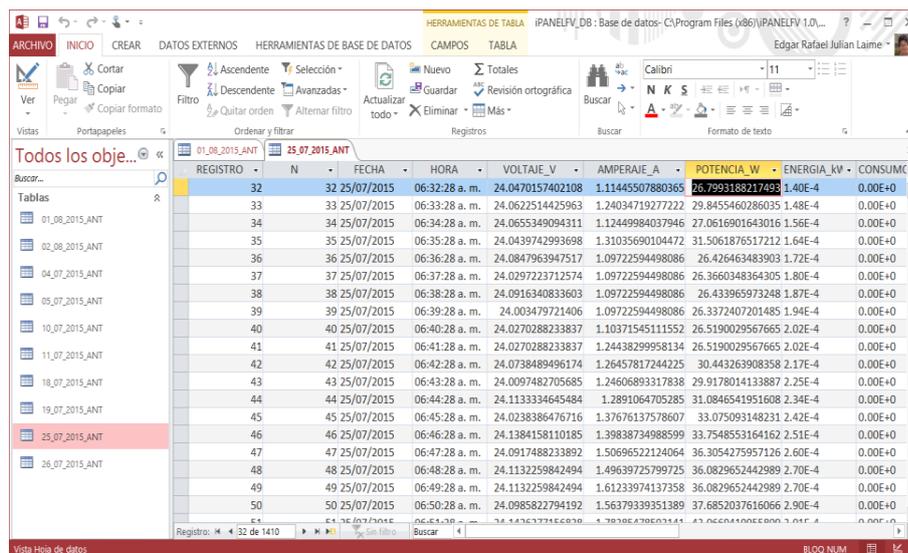
Figura 92: Adquisición en tiempo real de datos de consumo de las luminarias



Fuente y elaboración: Propia del autor

La base de datos del software fue diseñada en Access versión 2013, esto permitió almacenar los registros de una manera segura, para su posterior procesamiento estadístico, una de las ventajas de Access es que te permite exportar los datos a formatos más manejables como es el caso del Excel, en donde se pueden ordenar y construir graficas, esto se aprecia en la figura siguiente:

Figura 93: Base de datos de la investigación



Fuente y elaboración: Propia del autor

4.1.4. Evaluación de la cantidad de energía eléctrica generada y consumida diariamente por el sistema fotovoltaico

Luego de realizarse diversos experimentos se registró la producción energética sistema fotovoltaico (FV) mediante el sistema de monitoreo automatizado (SAM), para poder calcular la producción energética del panel en kW-h se utilizó el software iPANELFV 1.0, el mismo que utiliza las formulas detalladas a continuación:

4.1.4.1. Estimación de la energía ideal generada por el sistema fotovoltaico

La potencia se define como la tasa de generación de energía por unidad de tiempo, para poder comprender como se calculó esta potencia en la producción del sistema fotovoltaico consideramos la potencia máxima de diseño un panel solar instalado en el poste solar, , la energía generada entonces se calcula en:

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

Donde:

$$V_{max} = 17.8V = \text{Voltaje a la maxima potencia (V)}$$

$$I_{max} = 8.15A = \text{Intensidad de corriente a la maxima potencia (A)}$$

$$U_{max} = \text{Energia generada a las condiciones máximas (J)}$$

De tablas de conversión, se tiene que: $1 \text{ watt} = \frac{1 \text{ Joule}}{\text{segundo}}$

$$t = \text{tiempo(s)}$$

$$P_{max} = \text{Potencia maxima generada (W)}$$

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

$$P_{max} = 17.8V * 8.15A$$

$$P_{max} = 145 \text{ Watts}$$

$$U_{max} = P_{max} * t$$

$$U = 145 \text{ W} * 1 \text{ hora} = \left(\frac{145J}{s}\right) * \left(\frac{3600s}{1h}\right) = 522000 \text{ Joules}$$

$$U = 522000J * \left(\frac{2.773 \times 10^{-7} \text{ kW} - h}{1J}\right) = 0.145 \text{ kW} - h$$

También por simplicidad de los cálculos se puede utilizar la siguiente formula:

$$U = P * t = \left(\frac{V \times I}{1000}\right) \times t \quad (25)$$

U = Energía generada o consumida (kWatt – hora)

P = Potencia generada o consumida (kWatt)

V = Voltaje generado por el panel solar (Voltios)

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

t = Tiempo de operación (horas)

De donde la energía máxima obtenida en una hora es:

$$U_{max} = P_{max} * t = \left(\frac{V_{max} \times I_{max}}{1000} \right) \times t = \left(\frac{17.8 \times 8.15}{1000} \right) \times 1 = 0.145 \text{ kW} - h$$

Asimismo la energía máxima teórica obtenida por el sistema compuesto de dos paneles solares, durante un día desde las 06:00 a.m. a 06:00 p.m., que representa 12 horas de operación, la producción máxima total de energía se estima en:

$$U_{max,total} = (0.145 \text{ kW} - h) * 12 * 2 = 3.48 \text{ kW} - h/día \quad (26)$$

El valor de $3.48 \text{ kW} - h/día$, corresponde a la producción de panel solar para una radiación constante de $1000 \text{ W}/m^2$, lo cual sería un radiación ideal puesto que en la práctica esta radiación varía constantemente y depende de las condiciones ambientales, nubosidad, hora del día, ángulo de inclinación y ubicación.

4.1.4.2. Estimación de la energía real generada por el sistema fotovoltaico

Como ya se describió anteriormente, la potencia generada por los paneles solares del sistema fotovoltaico varía constantemente debido a las condiciones atmosféricas y la hora del día puesto que el ángulo de incidencia del sol varía conforme transcurre el día, esto se verifica en las gráficas obtenidas de la información reportada por los sensores, al término del día, la energía producida viene a ser el área bajo la curva de potencia generada, esto se calcula mediante la integral de la curva de potencia descrita mediante la fórmula siguiente:

$$U_{real} = F_c \cdot \int_0^t P_{real} \cdot dt \quad (27)$$

Donde:

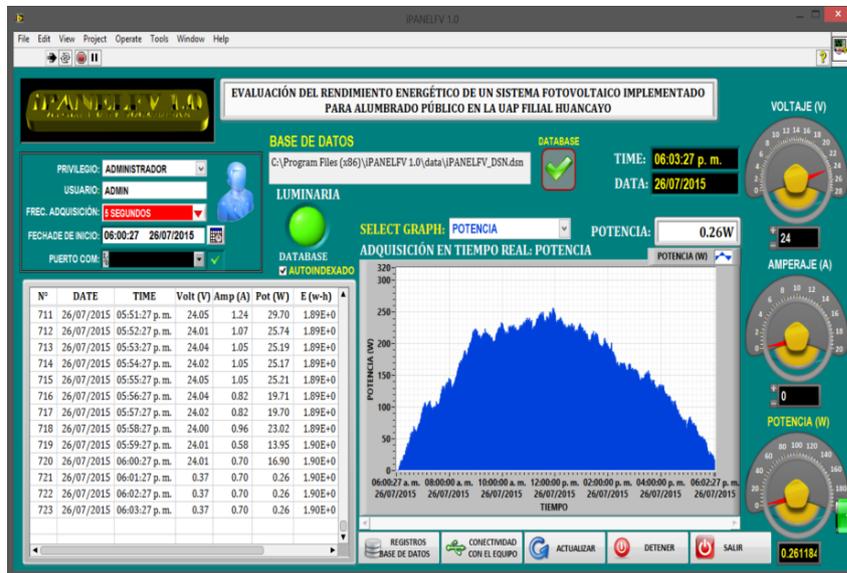
U_{real} = Energía real producida por el sistema fotovoltaico ($\text{kW} - h$)

P_{real} = Potencia real producida por el sistema fotovoltaico (W)

t = Tiempo en segundos de operación del sistema fotovoltaico (s)

$$F_c = 2.773 \times 10^{-7} = \text{Factor de corrección de unidades}$$

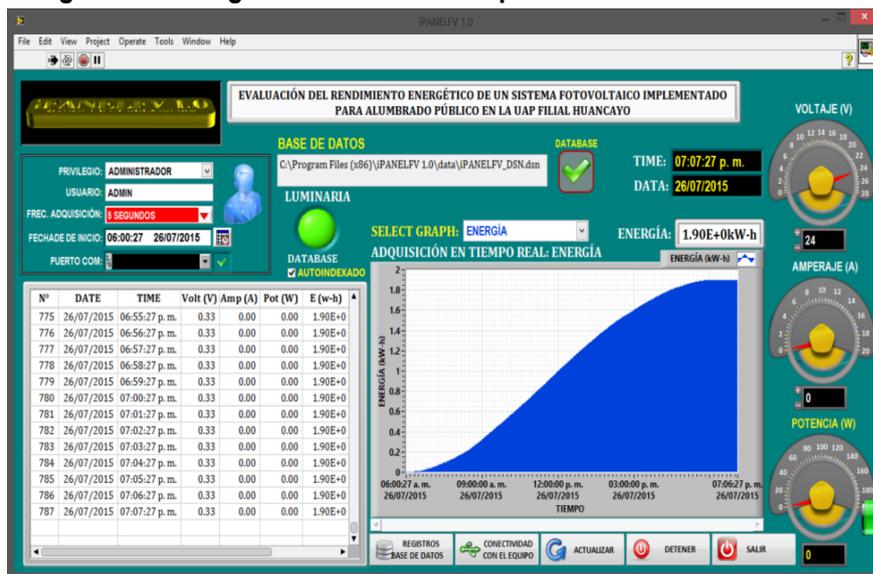
Figura 94: Curva de potencia para el cálculo de la energía generada



Fuente y elaboración: Propia del autor

Con ayuda del software al cual se le ha implementado la fórmula 27, fue posible estimar la cantidad de energía producida y acumulada en las baterías del sistema, para el caso del día 26/07/2015 fue de $U_{real} = 1.9kW - h$, tal como se puede apreciar en la figura siguiente:

Figura 95: Energía acumulada correspondiente al día 08/08/2015



Fuente y elaboración: Propia del autor

4.1.4.3. Resultados experimentales del monitoreo de variables de la producción energética del sistema fotovoltaico

El monitoreo de datos se desarrolló durante los meses de julio y agosto del 2015, específicamente durante los fines de semana como son sábados y domingos, de acuerdo a lo descrito en el cuadro siguiente:

Tabla 21: Condiciones de muestreo de datos experimentales por fechas

N°	FECHA INICIO	FECHA FIN	HORA INICIO	HORA FIN	Frecuencia de muestreo	Tiempo de muestreo
1	04/07/2015	05/07/2015	06:01:17 a. m.	08:37:17 a. m.	1dato/5seg	14:36:00
2	05/07/2015	06/07/2015	06:01:42 a. m.	05:16:42 a. m.	1dato/5seg	11:15:00
3	10/07/2015	11/07/2015	06:01:08 a. m.	05:06:08 a. m.	1dato/5seg	11:05:00
4	11/07/2015	04/07/2015	06:01:32 a. m.	06:40:32 a. m.	1dato/5seg	12:39:00
5	18/07/2015	19/07/2015	06:01:19 a. m.	05:00:19 a. m.	1dato/5seg	11:00:00
6	19/07/2015	20/07/2015	06:01:34 a. m.	05:25:34 a. m.	1dato/5seg	11:19:00
7	25/07/2015	26/07/2015	06:01:28 a. m.	05:30:28 a. m.	1dato/5seg	11:29:00
8	26/07/2015	27/07/2015	06:01:27 a. m.	05:17:27 a. m.	1dato/5seg	11:16:00
9	01/08/2015	02/08/2015	06:01:46 a. m.	05:14:46 a. m.	1dato/5seg	11:13:00
10	02/08/2015	03/08/2015	06:01:19 a. m.	05:28:19 a. m.	1dato/5seg	11:27:00

Fuente y elaboración: Propia del autor

La frecuencia de muestreo indica que se adquirió un dato en integrados de 5 segundos de tiempo, luego el software espera un minuto de tiempo para almacenar la información del promedio de 12 datos adquiridos durante ese minuto, finalmente registra y almacena la información en la base de datos, tal como se aprecia en la tabla siguiente:

Tabla 22: Extracto de la base de datos de la investigación correspondiente al día 04/07/2015

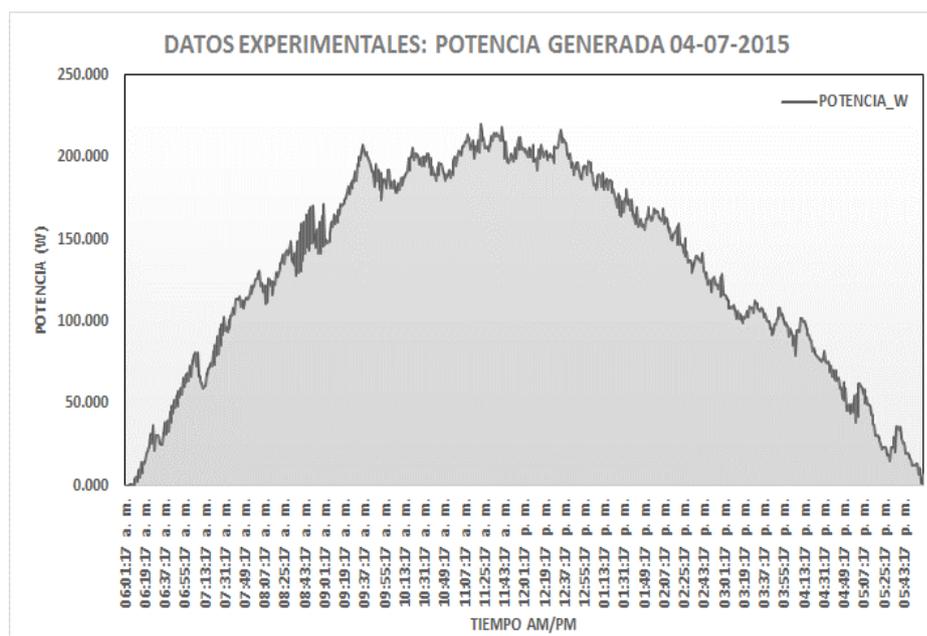
N	FECHA	HORA	VOLTAJE V	AMPERAJE A	POTENCIA W	ENERGIA kWh	CONSUMO kWh
1	04/07/2015	06:01:17 a. m.	24.186	0.000	0.000	0.00E+00	0.00E+00
2	04/07/2015	06:02:17 a. m.	24.134	0.000	0.000	0.00E+00	0.00E+00
3	04/07/2015	06:03:17 a. m.	23.828	0.000	0.000	0.00E+00	0.00E+00
4	04/07/2015	06:04:17 a. m.	24.058	0.000	0.000	0.00E+00	0.00E+00
5	04/07/2015	06:05:17 a. m.	24.189	0.021	0.510	2.11E-06	0.00E+00
6	04/07/2015	06:06:17 a. m.	23.955	0.035	0.830	7.66E-06	0.00E+00
7	04/07/2015	06:07:17 a. m.	23.829	0.035	0.826	1.46E-05	0.00E+00
8	04/07/2015	06:08:17 a. m.	23.899	0.035	0.828	2.15E-05	0.00E+00
9	04/07/2015	06:09:17 a. m.	24.003	0.035	0.832	2.84E-05	0.00E+00
10	04/07/2015	06:10:17 a. m.	24.038	0.196	4.722	5.13E-05	0.00E+00
11	04/07/2015	06:11:17 a. m.	24.126	0.200	4.815	9.09E-05	0.00E+00
12	04/07/2015	06:12:17 a. m.	23.980	0.118	2.829	1.23E-04	0.00E+00
13	04/07/2015	06:13:17 a.m.	24.111	0.402	9.700	1.75E-04	0.00E+00

14	04/07/2015	06:14:17 a. m.	24.176	0.204	4.936	2.35E-04	0.00E+00
15	04/07/2015	06:15:17 a. m.	24.176	0.601	14.529	3.16E-04	0.00E+00
16	04/07/2015	06:16:17 a. m.	24.143	0.319	7.707	4.08E-04	0.00E+00
17	04/07/2015	06:17:17 a. m.	24.048	0.607	14.609	5.00E-04	0.00E+00
18	04/07/2015	06:18:17 a. m.	24.102	0.538	12.966	6.13E-04	0.00E+00
19	04/07/2015	06:19:17 a. m.	23.872	0.625	14.930	7.31E-04	0.00E+00
20	04/07/2015	06:20:17 a. m.	24.195	0.805	19.474	8.74E-04	0.00E+00
21	04/07/2015	06:21:17 a. m.	23.936	0.891	21.319	1.04E-03	0.00E+00
22	04/07/2015	06:22:17 a. m.	24.142	1.008	24.330	1.23E-03	0.00E+00
23	04/07/2015	06:23:17 a. m.	24.033	0.986	23.694	1.43E-03	0.00E+00
24	04/07/2015	06:24:17 a. m.	24.047	1.293	31.087	1.66E-03	0.00E+00
25	04/07/2015	06:25:17 a. m.	23.804	1.108	26.384	1.90E-03	0.00E+00
26	04/07/2015	06:26:17 a. m.	24.176	1.521	36.780	2.16E-03	0.00E+00
27	04/07/2015	06:27:17 a. m.	23.816	0.888	21.139	2.40E-03	0.00E+00
28	04/07/2015	06:28:17 a. m.	24.112	1.284	30.964	2.62E-03	0.00E+00
29	04/07/2015	06:29:17 a. m.	23.945	1.284	30.749	2.88E-03	0.00E+00
30	04/07/2015	06:30:17 a. m.	24.113	1.284	30.965	3.14E-03	0.00E+00

Fuente y elaboración: Propia del autor

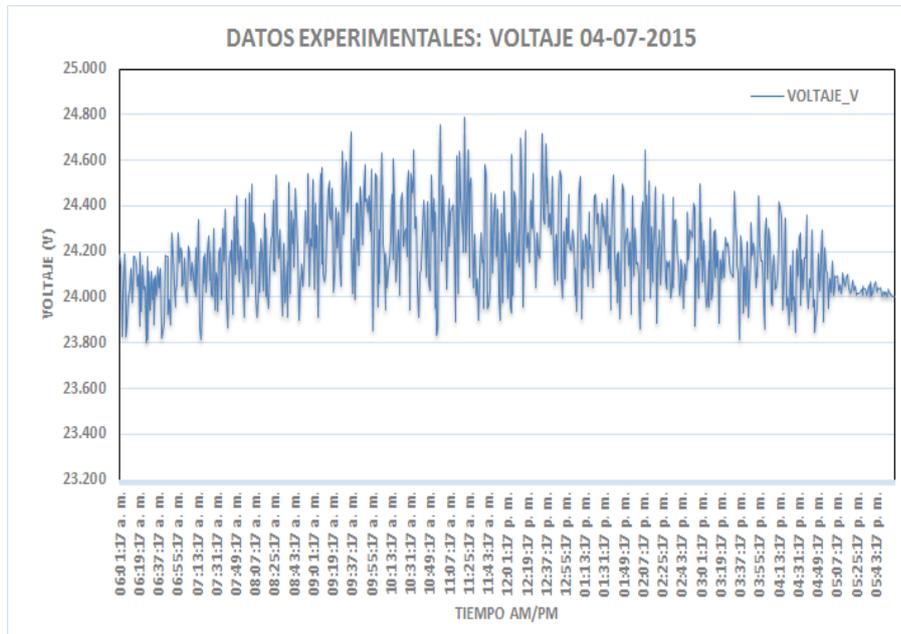
En la tabla anterior se puede apreciar un extracto de los registros almacenados en la base de datos del software, la base de datos completa del promedio de dichos los datos recopilados durante todo el periodo de muestreo que comprende el mes de julio y parte de agosto se puede apreciar en los anexos.

Figura 96: Datos procesados de potencia generada en el día 04/07/2015



Fuente y elaboración: Propia del autor

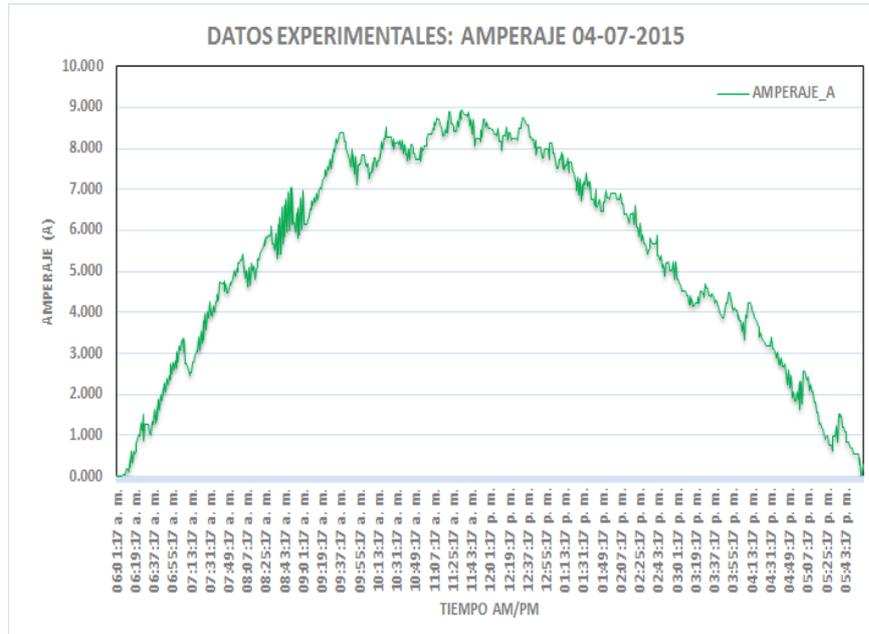
Figura 97: Datos procesados de voltaje registrado en el día 04/07/2015



Fuente y elaboración: Propia del autor

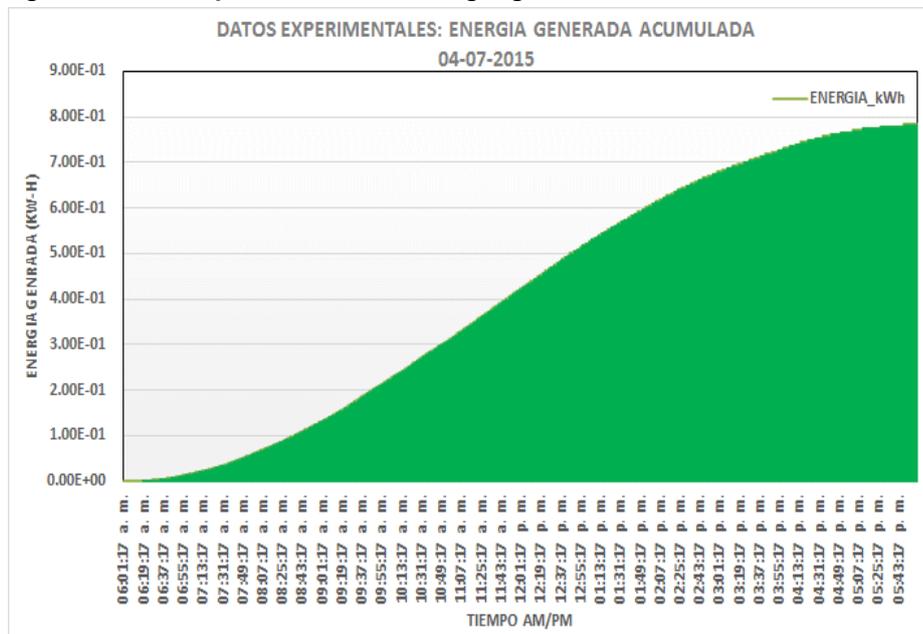
En la figura 104 se aprecia el comportamiento de la potencia generada por el panel solar del sistema fotovoltaico durante el día, nótese que la mayor potencia le corresponde al horario de entre 11:30 a.m. a 12:30 p.m., esto tiene explicación en que es en este horario cuando la radiación en la ciudad de Huancayo alcanza su máximo valor, en la figura 105 se precia que el voltaje sufre variaciones pequeñas y oscila alrededor de los 24V, que corresponde al tipo de arreglo en serie de las baterías.

Figura 98: Datos procesados de amperaje registrado en el día 04/07/2015



Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 99: Datos procesados de energía generada durante el día 04/07/2015

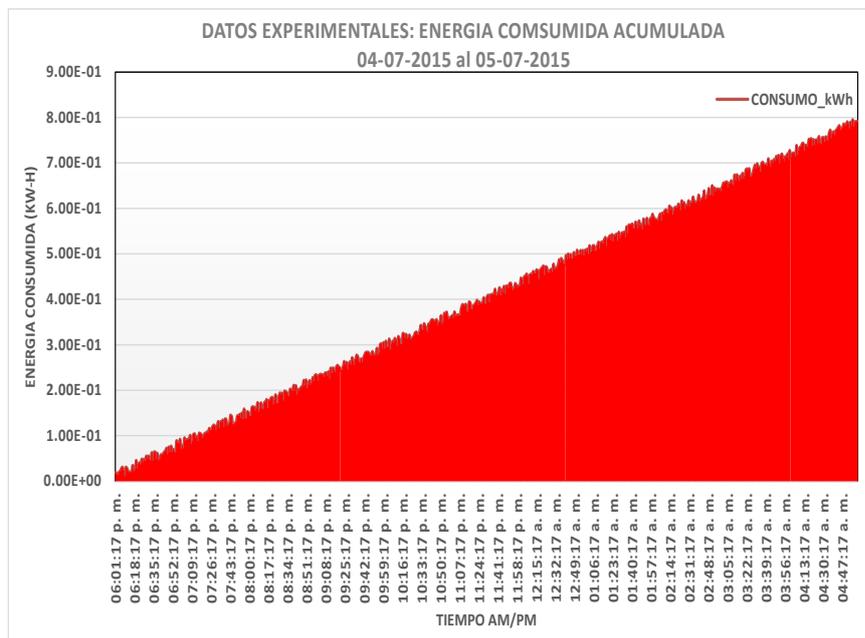


En la figura 106, se aprecia el comportamiento de la intensidad de corriente o amperaje, durante el transcurso del día esto demuestra que sigue el mismo patrón que para el caso de la potencia generada, es decir entre las 11:30 a.m. y 12:30 p.m. recordemos que la potencia es igual al voltaje por el amperaje, de donde se demuestra que la potencia es directamente proporcional al amperaje, la generación de energía para todos los experimentos inicia con los primeros rayos de

luz por la mañana a las 06 horas y finaliza por la tarde a las 18 horas, haciendo un total de 12 horas.

Asimismo en la figura 107, se tiene la energía generada y acumulada durante todo el día, en el horario descrito que dura 12 horas, esta energía es calculada mediante la ecuación 27, y corresponde al área bajo la curva de potencia generada por el sistema fotovoltaico, como se puede apreciar para el día 04/04/2015 se generó un total de 0.783kW-h, lo que aprecia en la gráfica de energía generada.

Figura 100: Datos procesados de energía consumida del día 04/07/2015 al 05/07/2015

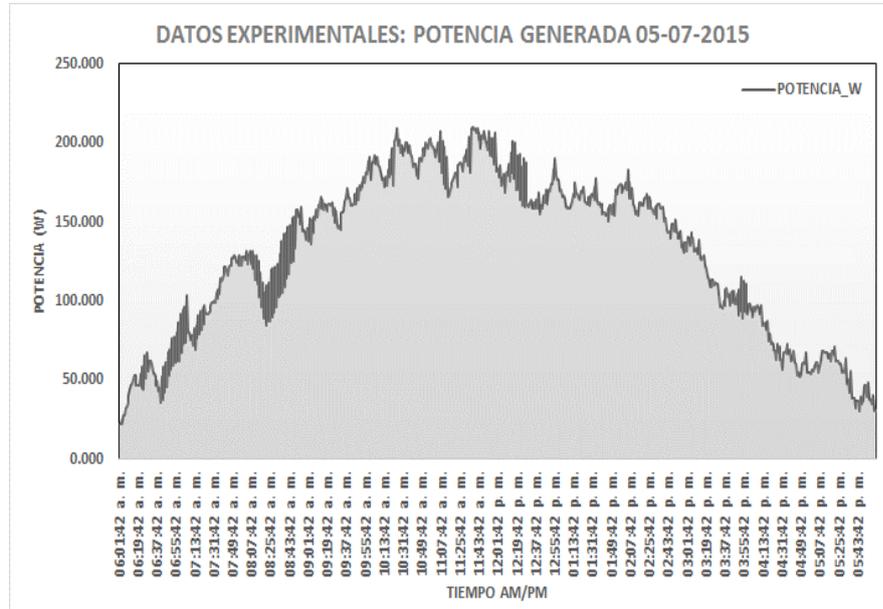


Fuente y elaboración: Propia del autor

En la figura 104 se aprecia la energía consumida por las dos luminarias led cada una de 30Watts, nótese un comportamiento lineal creciente casi constante, esto debido a que el consumo de las luminarias es prácticamente constante y se mantiene en 60Watts, se presentan pequeñas fluctuaciones debido a la sensibilidad de los sensores utilizados y algunas pérdidas de energía por el efecto joule (transferencia de calor) y caída de tensión en el cableado, finalmente el consumo de energía inicia alrededor de las 06:01:00 p.m. del 04/07/2015 y finaliza a las 05:00:01 a.m. del 05/07/2015, esto fue previamente programado en el controlador de carga del poste solar cuando se desarrolló la instalación, según lo reportado en la base de datos el consumo para el día 04/07/2015 es de 0.792 kW-h que corresponde al tiempo de operación de las luminarias de 11horas, es decir durante la noche, del mismo modo se procesaron los datos almacenados

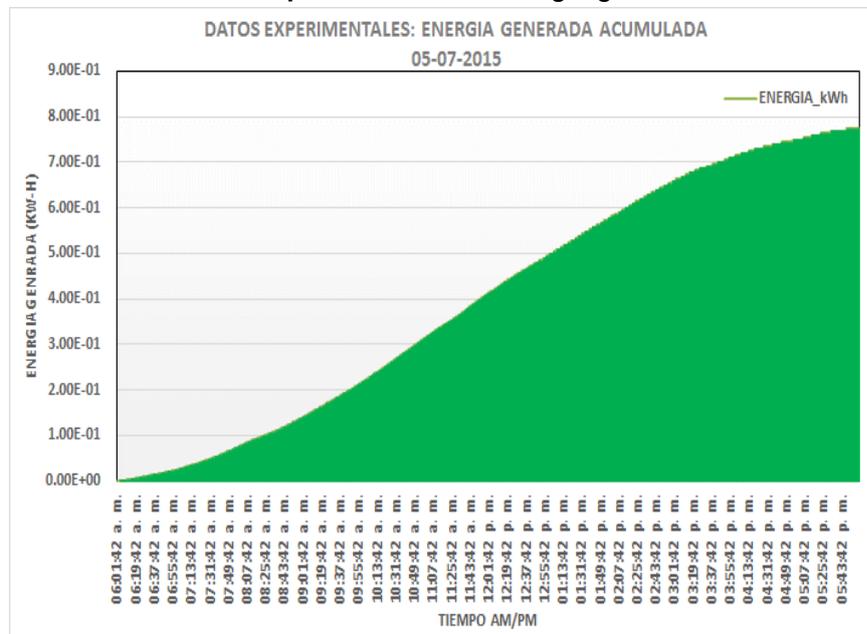
correspondientes a todas las corridas experimentales, estos resultados se presentan en la graficas siguientes, de acuerdo a las fechas considerada en la tabla 21, obteniéndose:

Figura 101: Resultados experimentales de potencia generada el día 05/07/2015



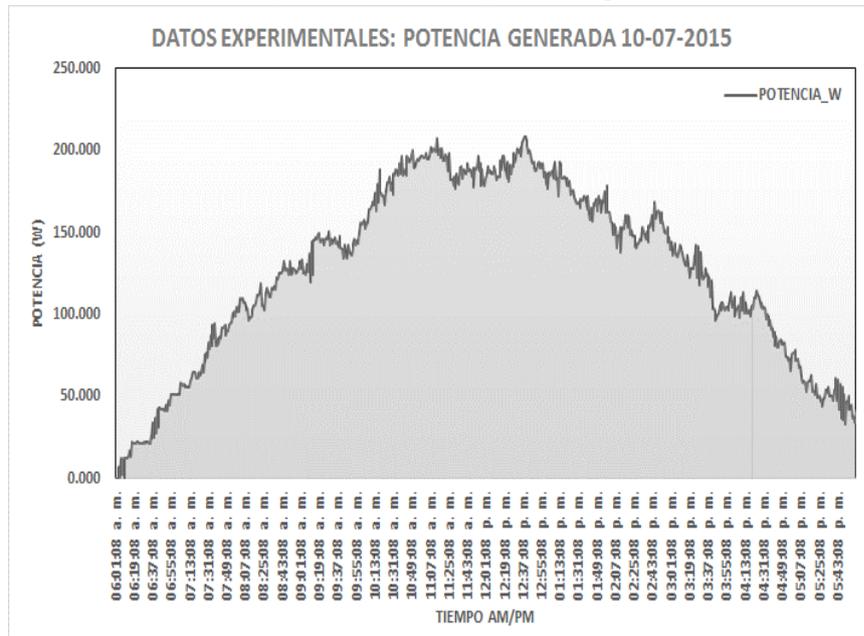
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 102: Resultados experimentales de energía generada el día 05/07/2015



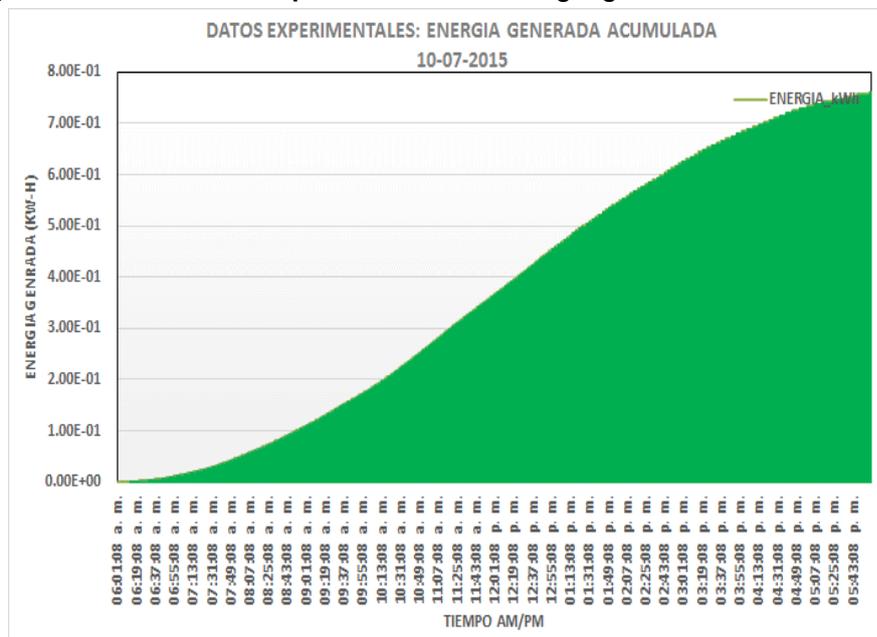
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 103: Resultados experimentales de potencia generada el día 10/07/2015



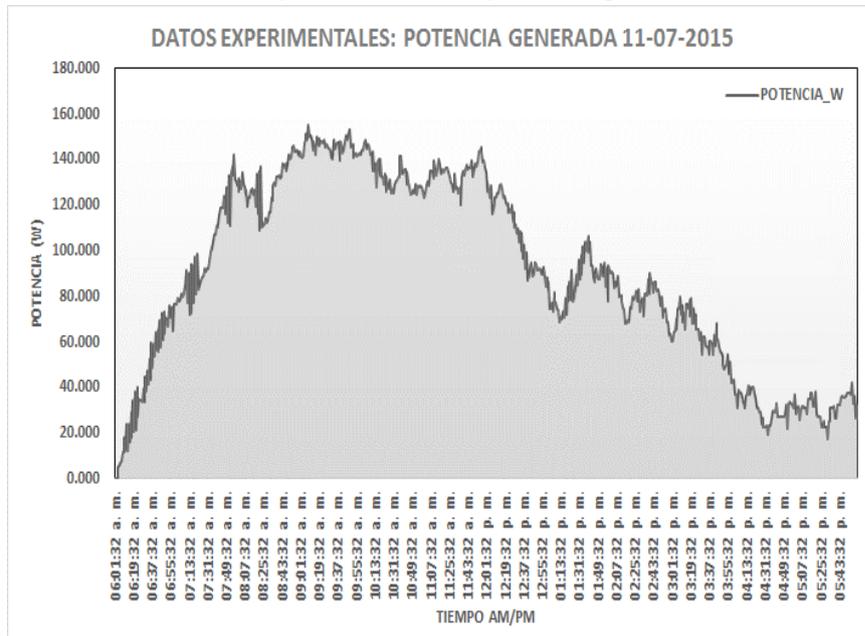
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 104: Resultados experimentales de energía generada el día 10/07/2015



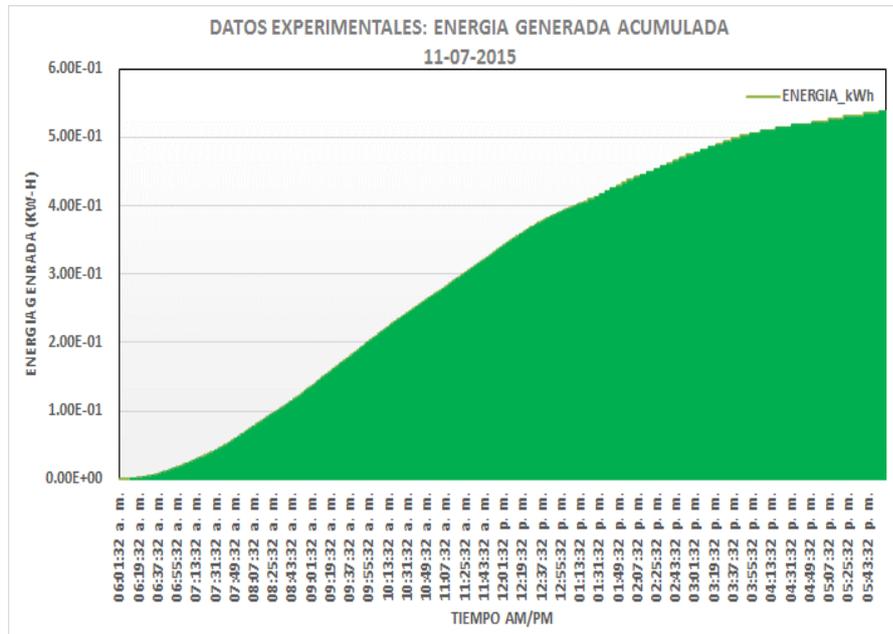
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 105: Resultados experimentales de potencia generada el día 11/07/2015



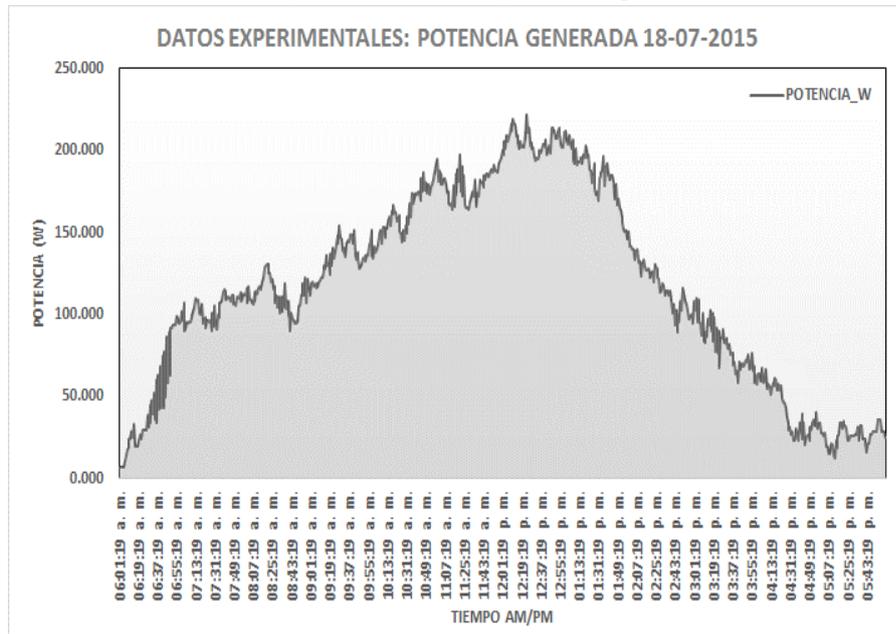
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 106: Resultados experimentales de energía generada el día 11/07/2015



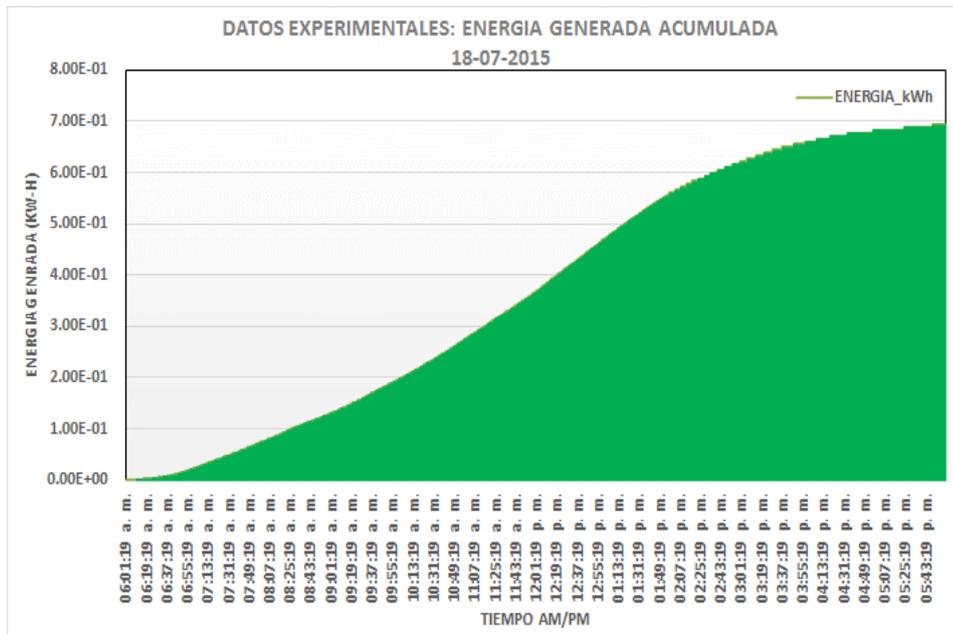
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 107: Resultados experimentales de potencia generada el día 18/07/2015



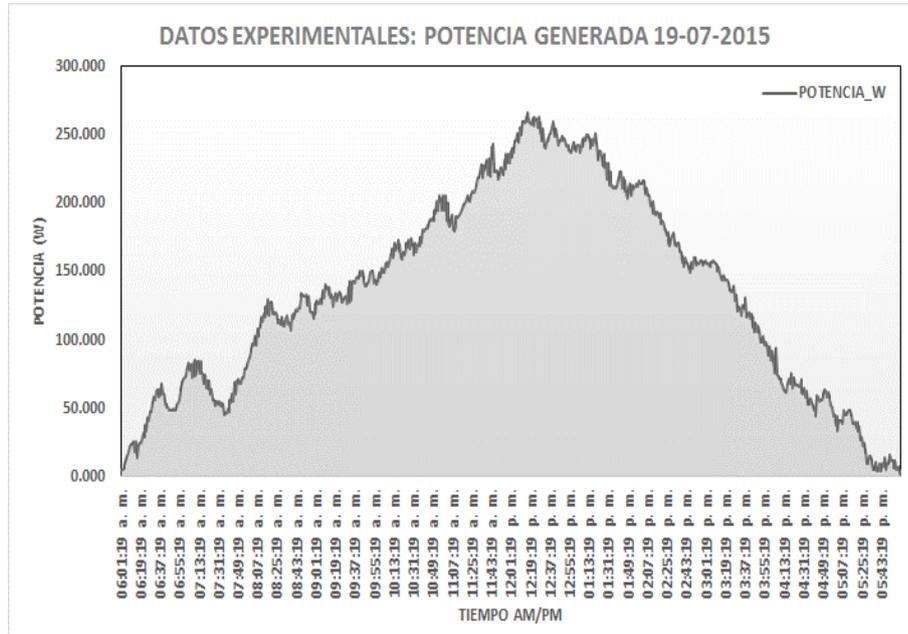
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 108: Resultados experimentales de energía generada el día 18/07/2015



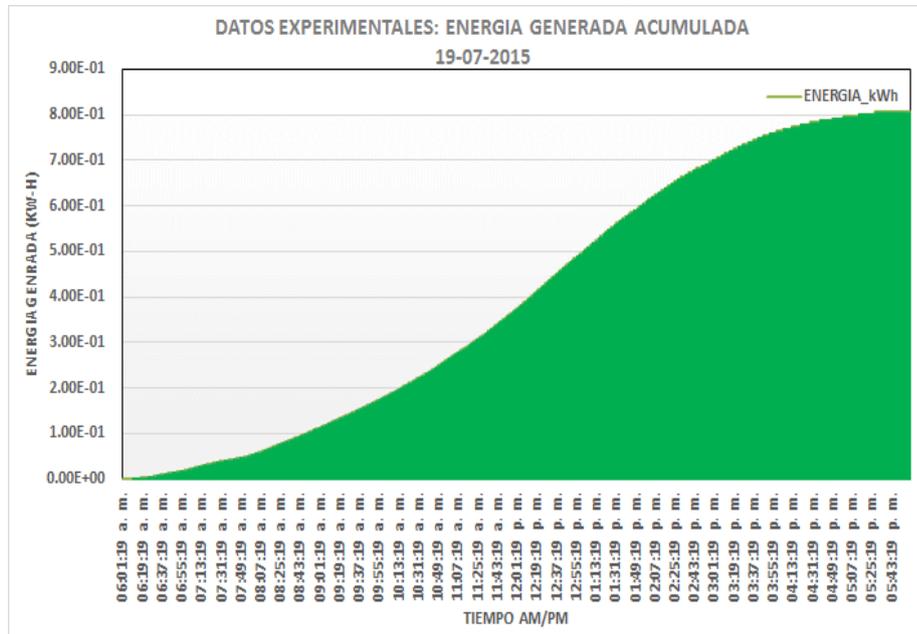
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 109: Resultados experimentales de potencia generada el día 19/07/2015



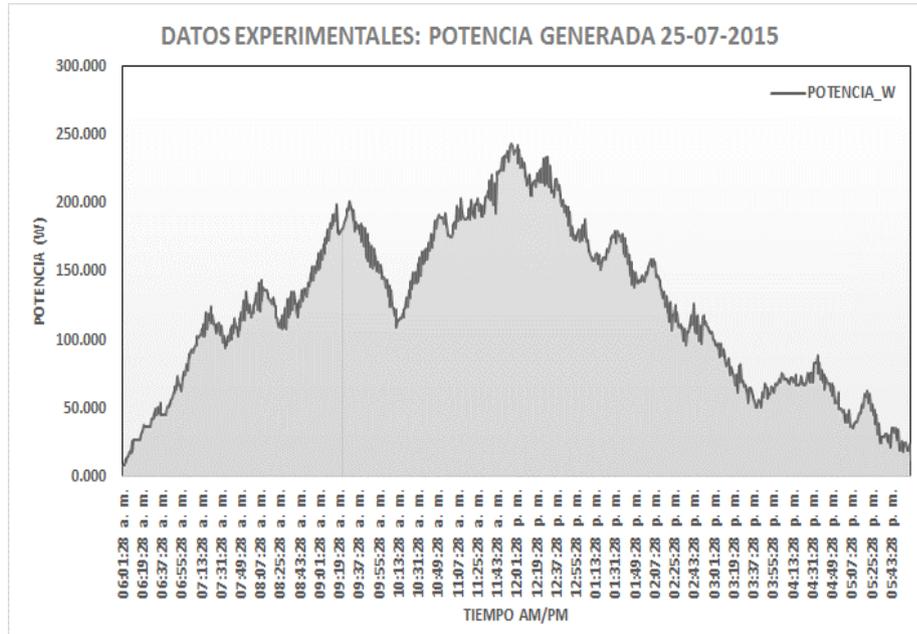
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 110: Resultados experimentales de energía generada el día 19/07/2015



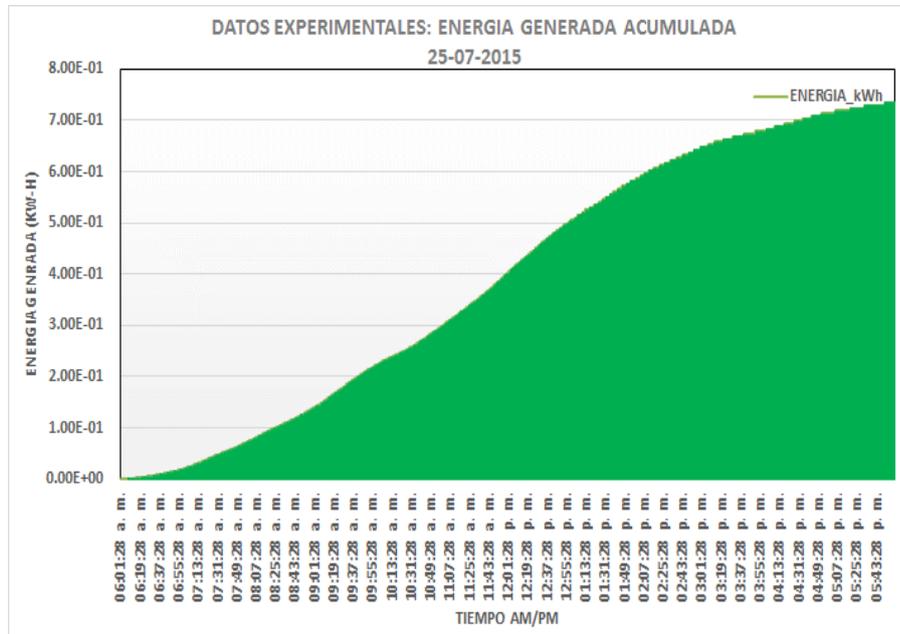
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 111: Resultados experimentales de potencia generada el día 25/07/2015



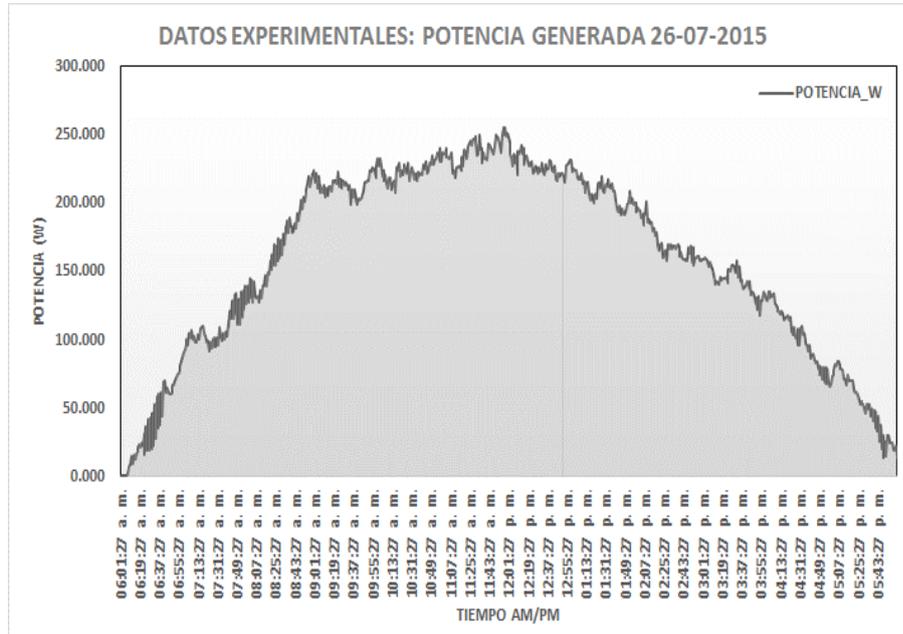
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 112: Resultados experimentales de energía generada el día 25/07/2015



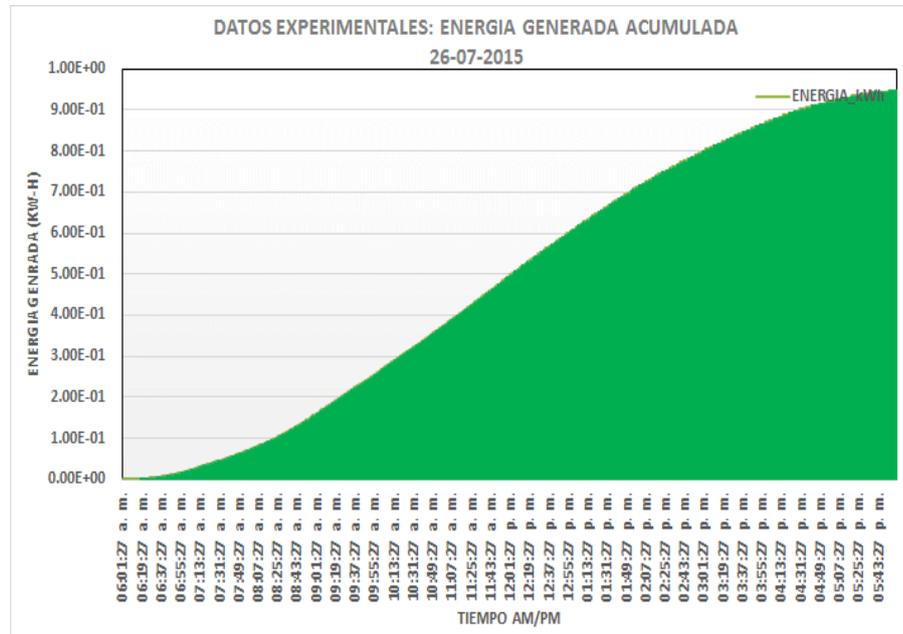
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 113: Resultados experimentales de potencia generada el día 26/07/2015



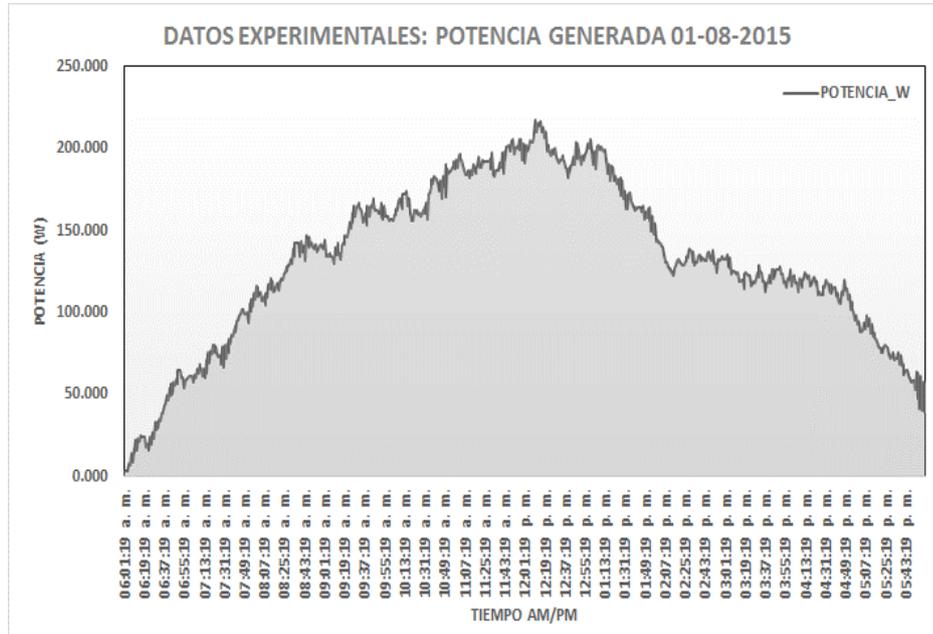
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 114: Resultados experimentales de energía generada el día 26/07/2015



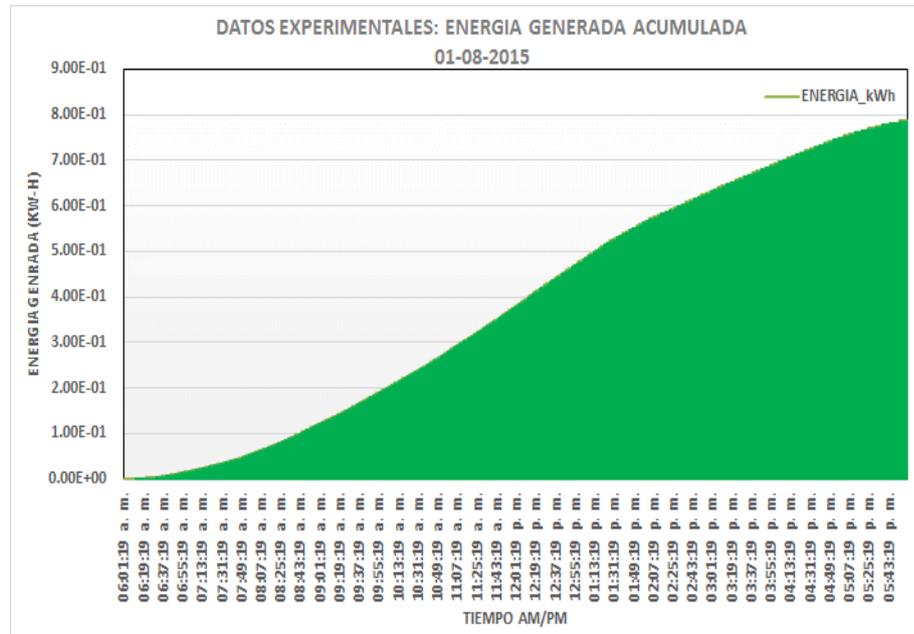
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 115: Resultados experimentales de potencia generada el día 01/08/2015



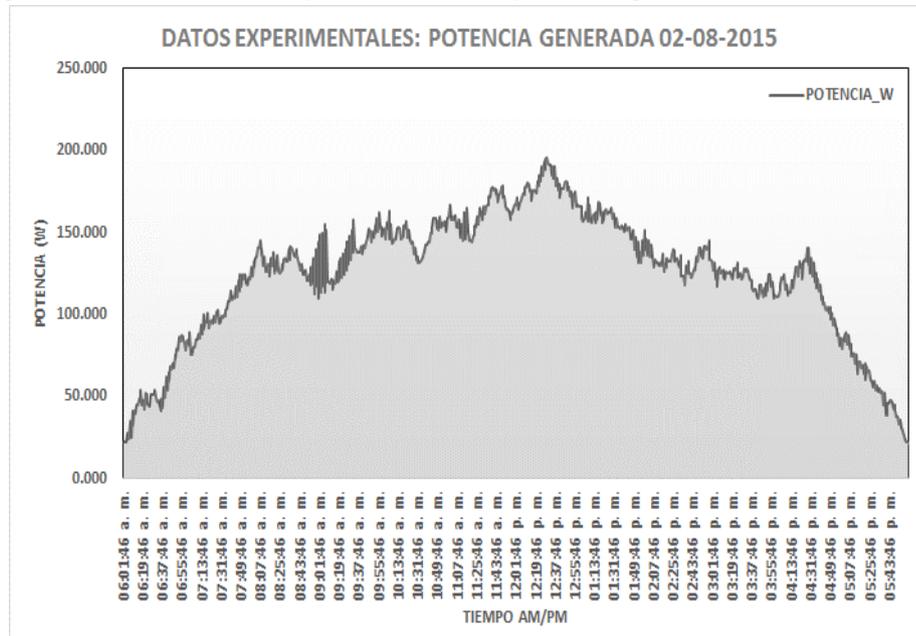
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 116: Resultados experimentales de energía generada el día 01/08/2015



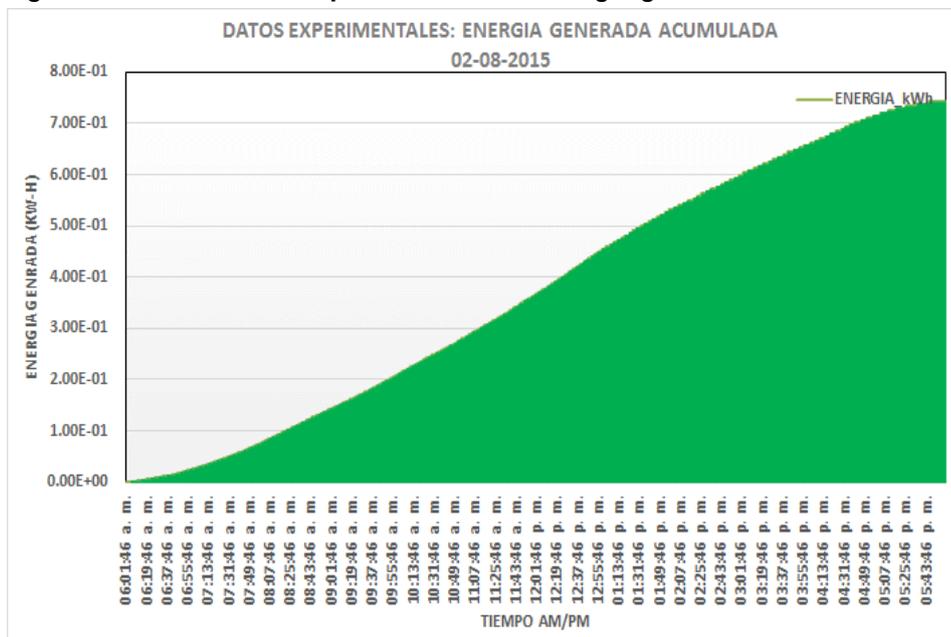
Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 117: Resultados experimentales de potencia generada el día 02/08/2015



Fuente y elaboración: Propia del autor

Figura 118: Resultados experimentales de energía generada el día 02/08/2015

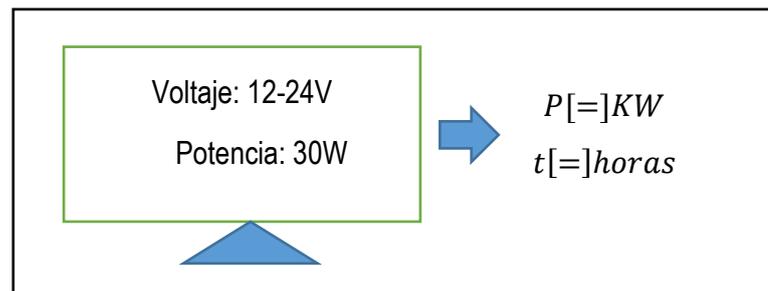


Fuente y elaboración: Propia del autor

4.1.4.4. Estimación de energía consumida por las luminarias led

Se calcula en función a la potencia de consumo, esta potencia se define como la tasa a la que se consume la energía por unidad de tiempo, para poder comprender como se calculó esta potencia en base a las luminarias led del poste solar cuyo consumo es de 30watts y pueden operar a 12 o 24 V, el consumo se estimó mediante:

Figura 119: Potencia consumida por la luminaria led



Fuente: Propia del autor

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

$$U_c = P_{lum} * t_{lum} \quad (28)$$

U_c = Energía consumida (kW – h)

P_{lum} = Potencia consumida por la luminaria led (kWatt)

$t_{operación}$ = Tiempo de operación de las luminarias (horas)

De manera rápida se puede calcular el consumo de energía de las luminarias por cada hora de funcionamiento, considerando que se tienen 2 luminarias cada una con una potencia de 30Watts, lo cual hace:

$$P_{lum} = 60W$$

$$t_{operación} = 1h$$

$$U_c = P_{lum} * t_{operación} = \frac{60J}{s} \times 3600s = 216000J$$

Además considerando el factor de conversión: $1J = 2.773 \times 10^{-7}kW - h$

Se estima el consumo de energía en kW-h de las luminarias por cada hora de funcionamiento,

$$U_c = 216000J \times \frac{2.773 \times 10^{-7}kW-h}{1J} = 0.059897kW - h$$

Teniendo en cuenta que el tiempo de operación de las luminarias según lo programado en el controlador de carga del poste solar, en el periodo 06:00:00pm hasta las 05:00:00am, lo cual hace un total de 11 horas de operación diaria, entonces el consumo total diario es de:

$$U_{C,diario} = (0.059897kW - h) \times 11 = 0.658867kW - h \quad (29)$$

4.1.4.5. Estimación de la energía consumida por luminarias convencionales para alumbrado público.

Se calcula en función a la potencia de consumo, de manera análoga al caso anterior, Normalmente un poste de alumbrado público con buena iluminación, utiliza dos luminarias convencionales o conocidas como de vapor de sodio o mercurio, estas luminarias, consumen en promedio 250Watts cada una, lo cual haría un total de 500Watts, de donde: Aplicando la fórmula 28:

$$U_{C,Convencional} = P_{convencional} * t_{operación} = \frac{500J}{s} \times 3600s = 1800000J$$

$$U_C = 1800000J \times \frac{2.773 \times 10^{-7} kW-h}{1J} = 0.49914kW - h$$

Para un tiempo de operación de 11 horas al igual que el caso de las luminarias led, tenemos:

$$U_{Convenc,diario} = (0.49914kW - h) \times 11 = 5.491kW - h \quad (30)$$

4.1.4.6. Costo de la energía generada o consumida (C_{EG})

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

$$C_{EG} = \text{Energía Activa} = \text{tasa de generación} + \text{impuestos}(18\%) \quad (31)$$

- CÁLCULO DE LA TASA DE GENERACIÓN

Aplicando la ecuación 25:

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

- CÁLCULO DEL IGV

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

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

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

El precio actual de la energía es de S/. 0.52 por cada $kW - h$, incluyendo los impuestos se traduce en:

$$C_E = C * 0.52 + \text{impuestos}$$

$$C_E = C * 0.52 + C * \left(\frac{\% IGV}{100+\% IGV}\right)$$

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

$$C_E = U * \left(0.52 + \frac{18}{100+18}\right) \quad (32)$$

Para el caso del costo de la energía consumida por luminarias convencionales, en base a lo que ya se calculó en la ecuación, se tendría:

$$U_{Convenc,diario} = 5.491kW - h \quad (33)$$

$$C_E = 5.491 * \left(0.52 + \frac{18}{100+18}\right) = 3.69 \quad (34)$$

El costo que representa para un solo poste de alumbrado público convencional, en un día, mes y año sería:

$$C_{E,diario} = S/. 3.69 \text{ (Tres con 69/100 nuevos soles por día)}$$

$$C_{E,mensual} = S/. 110.70 \text{ (Ciento diez con 70/100 nuevos soles por mes)}$$

$$C_{E,anual} = S/. 1328.40 \text{ (Mil trescientos veintiocho con 40/100 nuevos soles por año)}$$

Análogamente se pueden desarrollar los cálculos para el poste de alumbrado con luminarias led, los resultados se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 23: Comparación del costo de operación de poste de alumbrado público

COSTO (S/.)	Poste de alumbrado convencional con luminaria de vapor de Mercurio	Poste de alumbrado con luminaria LED
Costo Diario	S/. 3.69	S/. 0.44
Costo Mensual	S/. 110.70	S/. 13.29
Costo Anual	S/. 1328.40	S/. 159.52

Fuente y elaboración: Propia del autor

4.1.5. Evaluar el rendimiento energético del sistema fotovoltaico instalado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo.

Para evaluar el rendimiento energético del sistema fotovoltaico instalado (FV), se utilizó la información recopilada por el sistema de monitoreo automático (SAM), en el apartado (4.1.4.3.) donde se presentan los resultados experimentales de forma gráfica, en la tabla 24 se resumen los principales resultados por cada día de monitoreo.

Para el cálculo del porcentaje de rendimiento utilizamos la formula siguiente:

$$\%R_{exp} = \frac{U_{generada}}{U_{consumida}} \times 100\% \quad (35)$$

Donde:

$\%R_{exp}$ = Porcentaje de rendimiento experimental (%)

$U_{generada}$ = Energía generada por el Sistema fotovoltaico (kW – h)

$U_{consumida}$ = Energía consumida por el las luminarias led (kW – h)

Tabla 24: Consolidado de resultados de generación y consumo energético por día

N° Día	FECHA INICIO	FECHA FIN	Energía Generada kW-h	Energía Consumida kW-h	Tiempo de Generación Horas	Tiempo de Consumo Horas	%Rendimiento Energético %
1	04/07/2015	05/07/2015	0.783	0.792	12	11	98.86
2	05/07/2015	06/07/2015	0.778	0.801	12	11	97.13
3	10/07/2015	11/07/2015	0.774	0.802	12	11	96.51
4	11/07/2015	04/07/2015	0.826	0.784	12	11	105.36
5	18/07/2015	19/07/2015	0.710	0.809	12	11	87.76
6	19/07/2015	20/07/2015	0.806	0.799	12	11	100.88
7	25/07/2015	26/07/2015	0.740	0.784	12	11	94.39
8	26/07/2015	27/07/2015	0.949	0.803	12	11	118.19
9	01/08/2015	02/08/2015	0.752	0.810	12	11	92.84
10	02/08/2015	03/08/2015	0.798	0.813	12	11	98.16

Fuente y elaboración: Propia del autor

4.1.5.1. Calculo del rendimiento energético por día de monitoreo

Para la evaluación del rendimiento energético del sistema fotovoltaico por cada día de monitoreo, se utilizó la ecuación 35 y los datos de la tabla 24, los resultados se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 25: Consolidado de resultados de generación y consumo energético por día

N° Día	Energía Generada kW-h	Energía Consumida kW-h	Tiempo de Generación Horas	Tiempo de Consumo Horas	%Rendimiento Energético %
1	0.783	0.792	12	11	98.86
2	0.778	0.801	12	11	97.13
3	0.774	0.802	12	11	96.51
4	0.826	0.784	12	11	105.36
5	0.710	0.809	12	11	87.76
6	0.806	0.799	12	11	100.88
7	0.740	0.784	12	11	94.39
8	0.949	0.803	12	11	118.19
9	0.752	0.810	12	11	92.84
10	0.798	0.813	12	11	98.16

Fuente y elaboración: Propia del autor

Como se puede apreciar en la tabla anterior el rendimiento energético del sistema fotovoltaico implementado en la UAP Filial Huancayo, evaluado a las condiciones actuales de instalación en algunos casos supera el 100% lo cual indica que la energía eléctrica que se produce durante el día será suficiente para abastecer las luminarias led durante la noche, e incluso la energía excedente podría utilizarse para otros fines como algún sistema de alarma o para alimentar un pequeño sistema de monitoreo de otro tipo de variables.

Asimismo de los resultados obtenidos, identificamos que la radiación solar incidente en el día 4, 6 y 8 fue mayor en comparación con los demás días, estos resultados también indican que finalmente la instalación del sistema se desarrolló de manera correcta ya que el objetivo primordial de dicha instalación es precisamente dotar de iluminación al campus universitario de la Universidad Alas Peruanas a un costo bajo.

4.1.5.2. Cálculo del rendimiento energético promedio de la instalación

Para la evaluación del rendimiento energético promedio de la instalación fotovoltaica utilizamos la información de la tabla 25, de donde calculamos el promedio de todos los rendimientos encontrados en los días de monitoreo.

**Tabla 26: Rendimiento promedio de la instalación fotovoltaica instalada en la UAP
Filial Huancayo**

Energía Generada Promedio kW-h	Energía Consumida Promedio kW-h	Tiempo de Generación Horas	Tiempo de Consumo Horas	%Rendimiento Energético Promedio %
0.7916	0.7997	12	11	99.01

Fuente y elaboración: Propia del autor

La última tabla indica que en promedio la energía generada por el sistema fotovoltaico es de 0.7916kW-h operando a las condiciones de radiación la ciudad de Huancayo, asimismo estos resultados indican que la energía consumida en promedio por las luminarias led instaladas en el post solar para proveer iluminación durante 11 horas continuas considerando perdidas por otros factores es en promedio de 0.7997kW-h, lo cual evidencia que el poste solar fue correctamente instalado ya que opera con un rendimiento del 99.01%.

V. CONCLUSIONES

- Se consiguió implementar y poner en funcionamiento el sistema fotovoltaico para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo, utilizando los componentes descritos en la tabla 11 y el esquema de la figura 71, para verificar su correcto funcionamiento se desarrollaron pruebas de campo que permitió obtener información para su posterior procesamiento, dichos resultados fueron óptimos.
- Se implementó un sistema de monitoreo automatizado que permitió medir, almacenar y sistematizar los datos de potencia instantánea generada por el sistema fotovoltaico, este sistema está basado en los componentes de la tabla 12 y implementado de acuerdo al esquema de la figura 72, para la adquisición y almacenamiento de la información de los sensores se utilizó el software iPANELFV 1.0 desarrollado en LabVIEW, dicha herramienta almacena la información en una base de datos Access, para su posterior procesamiento.
- Fue posible evaluar la cantidad de energía eléctrica producida y consumida diariamente por el sistema fotovoltaico implementado para alumbrado público, los resultados se presentan en la tabla 25 para cada día de monitoreo, asimismo se determinaron los valores promedios correspondientes a toda la instalación fotovoltaica obteniéndose como resultado de energía generada diariamente el valor de 0.7916kW-h, asimismo se obtuvo el valor de 0.7997kW-h correspondiente a la energía consumida en promedio para un tiempo de operación de las luminarias led de 11 horas.
- Se evaluó el rendimiento energético del sistema fotovoltaico instalado para alumbrado público en la UAP Filial Huancayo, obteniéndose valores distintos para cada día de monitoreo, dichos valores se detallan en la tabla 25 y en general el valor promedio calculado del rendimiento energético de la instalación a las condiciones de radiación solar de la ciudad de Huancayo resultó ser de 99.01% lo cual indica que la instalación opera de manera eficiente para cubrir la demanda energética requerida para alumbrado público en la UAP-Filial Huancayo.

VI. RECOMENDACIONES

- Para la instalación del software se recomienda sistema operativo Windows XP o superior de 32 bits.
- Dentro de los requisitos de hardware se recomienda un procesador Core Duo o superior, con una resolución de pantalla de 1024 x 800 pixeles, tarjeta de video de 512Mb o superior.
- Para la generación de reportes por el software se recomienda tener instalado el Microsoft Office 2007 o superior.
- Se recomienda la instalación del equipo en una parte alta como la azotea de un edificio para poder evitar sombras de otras construcciones que alterarían el resultado durante el transcurso del día.
- Para un mejor control del ángulo de elevación del panel solar se recomienda una base de datos más completa, las cuales deben ser monitoreadas durante todos los meses del año, diariamente.
- Antes de la adquisición de datos es recomendable la calibración de los sensores para evitar un monitoreo errado, para esta calibración se recomienda el uso de dispositivos de precisión como multímetros de la marca FLUKER.
- La orientación azimutal del panel solar debe de ser respecto al norte magnético, para una buena adquisición e datos, por ello es preciso utilizar una brújula profesional.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

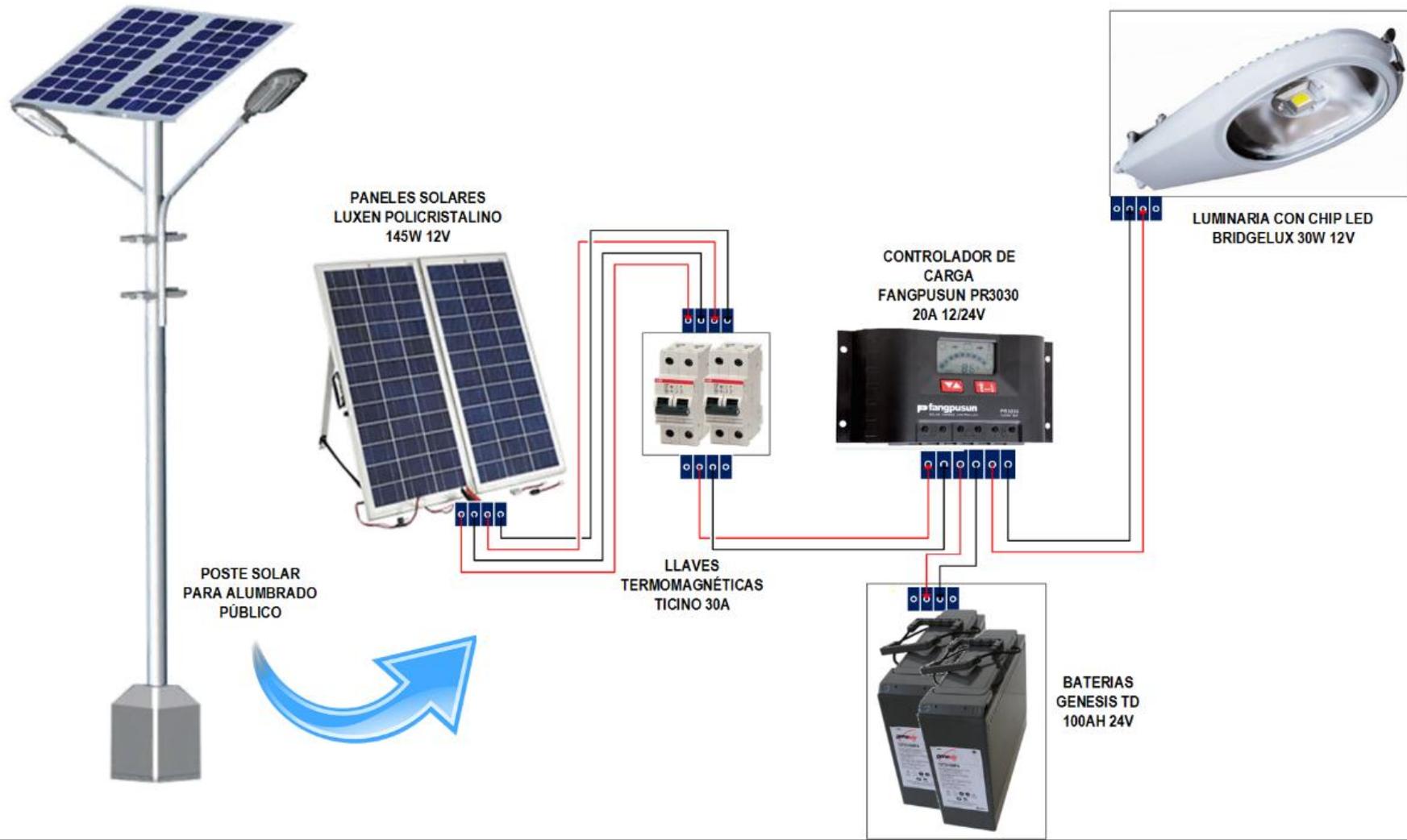
- Agencia Internacional de energía. (2011). *Electricity Information 2011*. Energy Balances of OECD Countries, Energy Balances of Non-OECD Countries.
- Anderson, E. (2011). *Solar Panel Peak Power Tracking System*. Worcester Polytechnic Institute.
- Assaf, L., Molina, M. O., & De Nobrega, M. (2009). *DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO DE CONTRASTACIÓN DE RADIÓMETRO BASADO EN LÁMPARAS ELÉCTRICAS*. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán.
- Beltrán, E. (2013). *Energía Renovable-Paneles fotovoltaicos*. Huancayo-Perú: FIQ-UNCP.
- Borrajero, I., Lavastida, L., & Pelaez, J. C. (2005). *DETERMINACION DE LA IRRADIACIÓN SOLAR SOBRE EL TERRITORIO DE CUBA A PARTIR DE IMÁGENES DE SATELITES*. Cuba: Instituto de Meteorología de Cuba.
- BP Statistical Review of World Energy. (2012). *Statistical Review of World Energy 2012*. Londres: BP Statistical Review of World Energy.
- Carrasco, D. (2010). *Procedimiento de Mantenimiento y Calibración de Estación Radiométrica*. Sevilla España: Universidad de Sevilla.
- Ccanto, G. (2014). *Metodología de la Investigación Científica en Ingeniería*. Huancayo: Cultura Peruana ISBN 978-968-532-22-14.
- Climate Change. (2014, Marzo 18). *Cambio Climático*. Retrieved from Cambio Climático: <http://www.cambio-climatico.com/protocolo-de-kyoto>
- Díaz, A., Velásquez, M., Perdiz, J., Echevarría, M., Carlos, A., & Palacios, C. (2008). *SISTEMA AUTOMÁTICO BASADO EN COMPUTADORA PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR EN LA CIUDAD DE IQUITOS*. Ecuador: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- EMS. (2010). *Photovoltaic system for supply public illumination in electrical energy demand peak*. Applied Power Electronics Conference and Exposition: IEEE.
- Fernández, G., & Herrero, S. (2010). *Energías renovables para el desarrollo*. Madrid-España: Thomson Paraninfo.
- Guevara, S. (2003). *ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR*. Perú: Unidad de apoyo técnico para el saneamiento básico del área rural (UNATSABAR).
- Horn, M. (2011). Pico PV in Peru, Laboratory tests of eleven different LED lamps for Pico PV Systems. *2nd Symposium "Small PV-Applications"*. Lima-Perú.
- INEI. (2010). *Encuesta Nacional de Hogares 2004-2010*. Lima-Perú: INEI.

- IPG, E. d. (2015). *Informe de Radiación solar en Hunacayo mayo del 2015*. Huancayo-Perú: Instituto Geofísico del Perú.
- Julián, E., & Valero, J. (2012). *Automatización de procesos industriales mediante LabVIEW*. Huancayo-Perú: Premier ISBN 978-612-00-0870-6.
- Jutglar, L. (2011). *Energía solar "Energías Alternativas y Medio Ambiente"*. Valencia-España: CEAC.
- KOPARAL, A. S. (2002). Removal of nitrate from water by electroreduction and electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials.*, p. 83–94.
- Lajara, V., & Pelegri, S. (2009). *Labview entorno gráfico de programación*. Barcelona: Marcombo.
- Méndez, M., & R., C. G. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid-España: ECA Instituto de Tecnología y Formación S.A.U. 3ra Edición.
- Merril, J. (2000). Solar thermal power system concepts for high power satellites. *Aerospace Conference Proceedings pp.* (pp. 69-74 Vol.4). IEEE.
- MINEM. (2011). *Memoria Institucional 2006-2011*. Lima: Ministerio de Energía y Minas.
- Ministerio de Energía y Minas-MINAM. (2014). *Plan Energético Nacional 2014-2025*. Lima-Perú: Dirección General de Eficiencia Energética.
- Monteiro, S., Monteiro, L., Cavalcanti, B., Ribeiro, & Aristides. (1999). *VARIACIÓN HORARIA DEL COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN DIFUSA MEDIDA POR UM PIRANÓMETRO FOTOVOLTAICO EN LA CIUDAD DE VIÇOSA-MG*. Brasil: Universidad Federal de Viçosa.
- Moro, M. (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. España: Paraninfo S. A.
- National Instruments Corporation. (2010). *LabVIEW user manual" Edition 2003*. National Instruments Corporation. Austin-Texas: NI.
- NREL. (2010). *Renewable Energy Data Book*. California: U.S. Department of Energy.
- Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica-Manual técnico para instalaciones domiciliarias*. Lima: Green Energy Consultoria y Servicios SRL.
- Pérez, R. (2012). *Diseño de un Sistema de Energía Solar Autónomo basado en Equipos y Dispositivos Electrónicos Modernos*. Universidad Católica de Santa María-Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales-Ingeniería Electrónica.
- Quezada, N. (2010). *Estadística para Ingenieros*. Lima: Macro E.I.R.L. ISBN N° 978-612-4034-55-8 1ra edición.
- QUIMINET. (2015). www.quiminet.com. Retrieved from www.quiminet.com: <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-silica-gel-6215.htm>

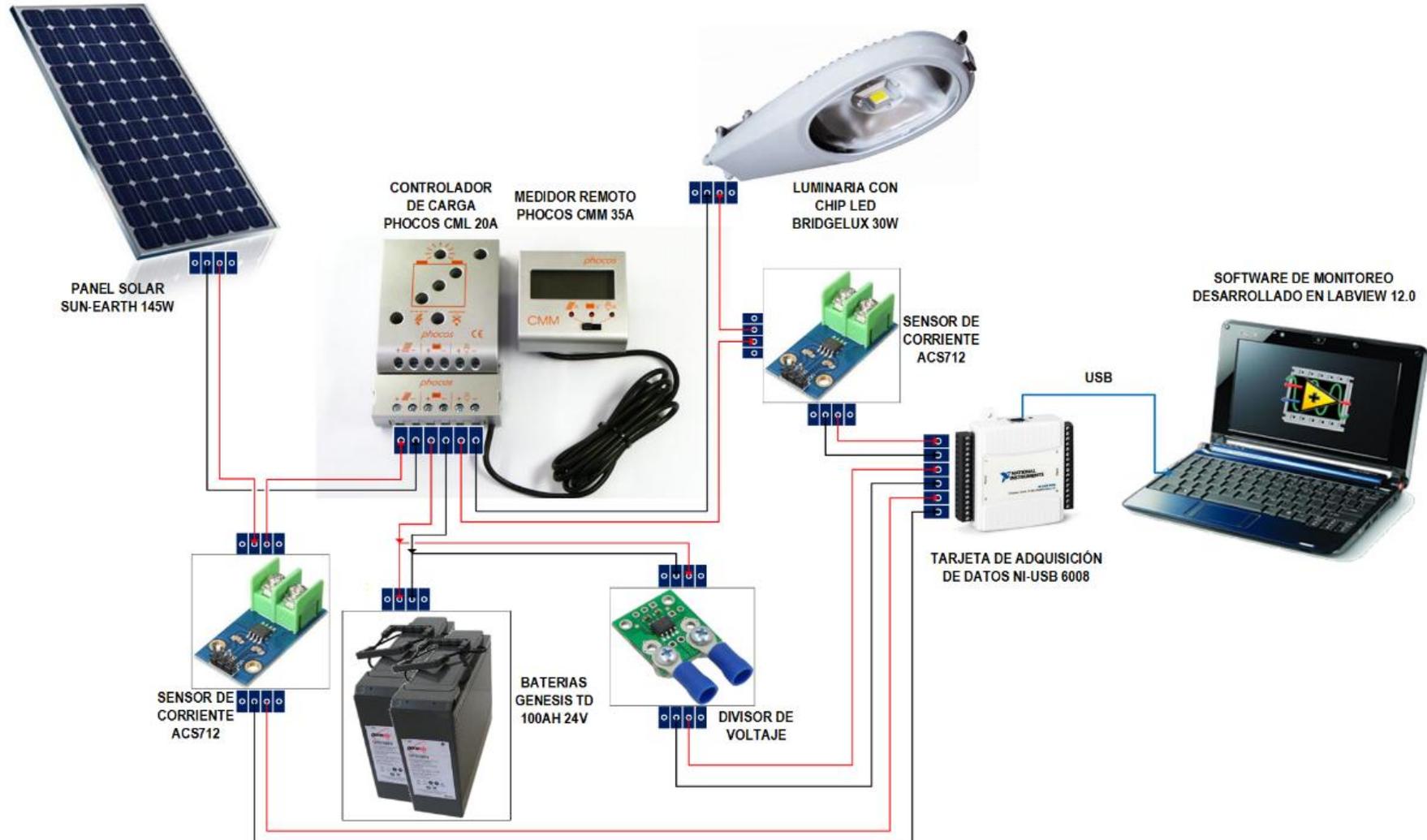
- Ramos, M. (2012). *Proceso de Electrificación Rural con sistemas Fotovoltaicos*. Lima: Seminario Taller: La energía Solar, Situación y Perspectivas.
- REN21. (2011). *Renewables 2011 Global Status Report*. París: REN21.
- Reyes, M., & Velasco, G. E. (2010). *Eficiencia Energética en edificios*. España: Thomson Editores.
- Rincón, A. (2013). "SISTEMA DE PRONÓSTICO DE RADIACIÓN SOLAR A CORTO PLAZO A PARTIR DE UN MODELO METEOROLÓGICO Y TÉCNICAS DE POST-PROCESO PARA ESPAÑA". España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Roldan, V. J. (2011). *Fuentes de energía "Instalaciones eólicas, instalaciones solares térmicas"*. España: Cengage Learning Paraninfo S. A.
- Sánchez, S. (2013). *Energías Renovables: Conceptos y Aplicaciones*. Quito-Ecuador: WWF-Fundación Natura.
- SYSTEMS., P. W. (2005). *Powell Electrocoagulation: Sustainable Technology For the Future*. Retrieved setiembre 2013, from Cuernavaca, México: Revista Cultural Binacional, : Disponible en: www.geocities.com/seofeo555/Q003.html
- Tejada, C., & Motoche, L. (2012). *Posicionamiento de paneles solares usando lógica difusa para prácticas de laboratorio de control automático*. Guayaquil-Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana-Facultad de Ingeniería Electrónica.
- Termokew. (2015, 06 02). www.termokew.mx. Retrieved from www.termokew.mx: www.termokew.mx/termopares.php
- Unesco. (n.d.). *WORLD WATER RESOURCES AT THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY*. Retrieved abril 30, 2009
- Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (2010). *Probabilidad y Estadística para ingenieros*. México: Mc Graw Hill.
- Webster, A. (2010). *Estadística Aplicada a los Negocios y la Economía*. Bogotá-Colombia: Mc Graw Hill.
- Weider, S. (1982). *An Introduction to Solar Energy for Scientists and Engineers*. New York-EUU: Wiley.

VIII. ANEXOS

ESQUEMA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO IMPLEMENTADO PARA ALUMBRADO PÚBLICO EN LA UAP FILIAL HUANCAYO



ESQUEMA DEL SISTEMA DE MONITOREO AUTOMÁTICO IMPLEMENTADO PARA LA INVESTIGACIÓN



PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 01: Instalación del poste solar en la UAP-Filial Huancayo



Foto 01: Fijación de la base del poste solar en la instalación fotovoltaica



Foto 01: pruebas de sujeción de las abrazaderas del poste solar en la instalación fotovoltaica



Foto 01: Control de calidad del soporte con el equipo instalado



Foto 01: instalación de los componentes acumuladores en la base de poste solar



Foto 01: Pruebas de testeo de la producción energética del sistema fotovoltaico

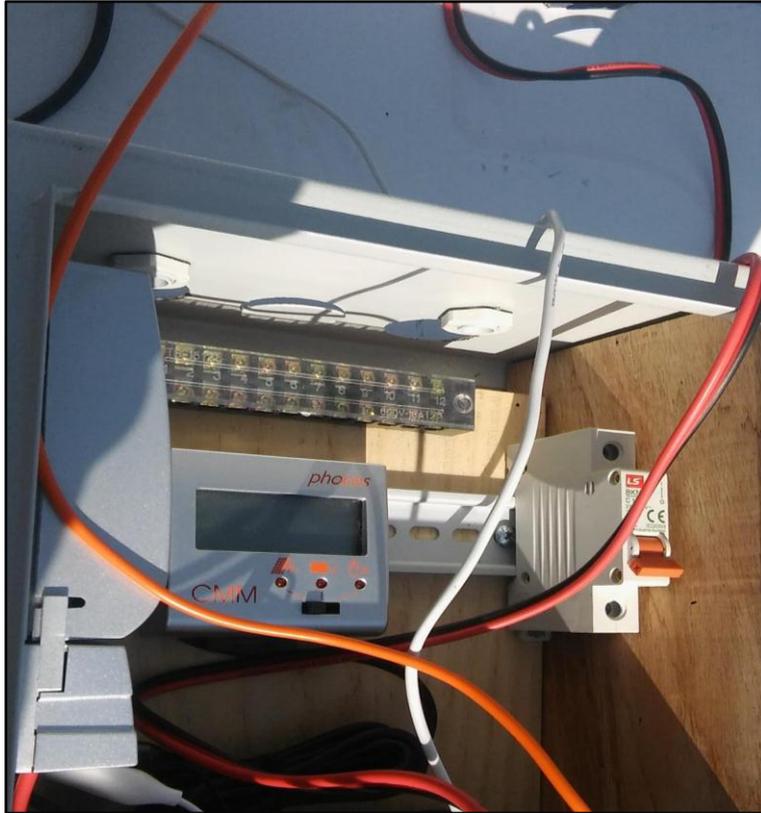


Foto 01: Pruebas de comunicación con los sensores del sistema de monitoreo

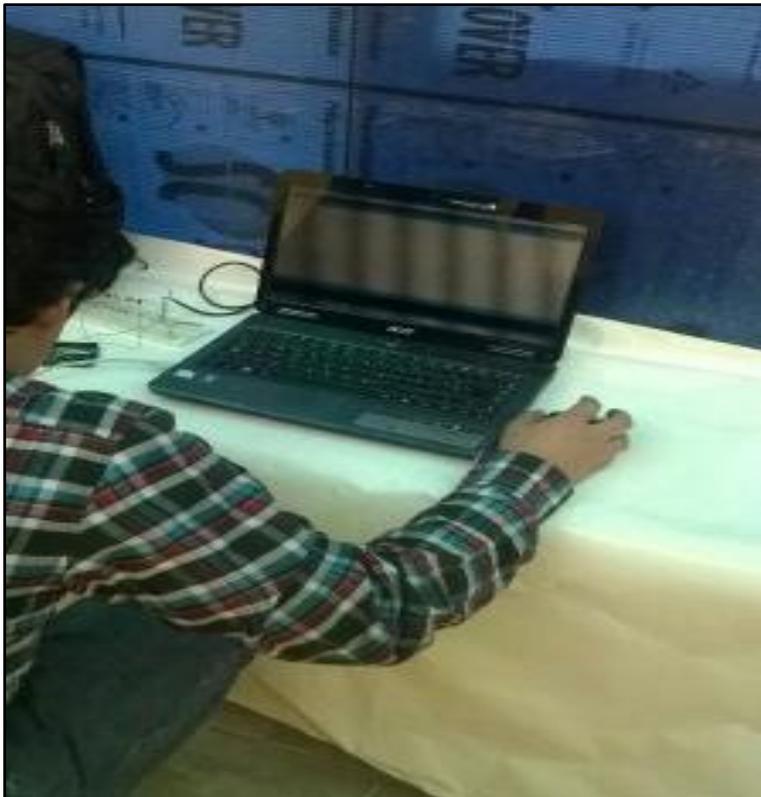


Foto 01: Pruebas de comunicación con el software del sistema de monitoreo

BASE DE DATOS EXPERIMENTALES: PRODUCCIÓN ENERGÉTICA

Resultados experimentales promediados de la producción energética del sistema fotovoltaico durante el periodo de muestreo comprendido entre julio del 2015 a agosto del 2015, en la ciudad de Huancayo.

HORA	VOLTAJE V	AMPERAJE A	POTENCIA W	ENERGÍA kWh	CONSUMO kWh
06:01:00 a. m.	23.934	0.287	6.872	0.000	0.000
06:02:00 a. m.	24.011	0.287	6.883	0.000	0.000
06:03:00 a. m.	23.985	0.319	7.667	0.000	0.000
06:04:00 a. m.	23.926	0.362	8.660	0.000	0.000
06:05:00 a. m.	23.870	0.438	10.472	0.000	0.000
06:06:00 a. m.	23.892	0.498	11.915	0.000	0.000
06:07:00 a. m.	23.969	0.605	14.492	0.000	0.000
06:08:00 a. m.	23.944	0.654	15.674	0.001	0.000
06:09:00 a. m.	23.953	0.766	18.369	0.001	0.000
06:10:00 a. m.	23.972	0.817	19.597	0.001	0.000
06:11:00 a. m.	23.991	0.947	22.708	0.001	0.000
06:12:00 a. m.	24.006	0.965	23.180	0.001	0.000
06:13:00 a. m.	24.006	0.991	23.802	0.001	0.000
06:14:00 a. m.	23.956	1.092	26.177	0.002	0.000
06:15:00 a. m.	24.015	1.037	24.925	0.002	0.000
06:16:00 a. m.	24.011	1.123	26.966	0.002	0.000
06:17:00 a. m.	24.023	1.126	27.052	0.002	0.000
06:18:00 a. m.	23.977	1.189	28.531	0.002	0.000
06:19:00 a. m.	23.908	1.160	27.763	0.003	0.000
06:20:00 a. m.	24.021	1.267	30.447	0.003	0.000
06:21:00 a. m.	24.001	1.270	30.506	0.003	0.000
06:22:00 a. m.	24.015	1.368	32.861	0.003	0.000
06:23:00 a. m.	24.018	1.303	31.312	0.004	0.000
06:24:00 a. m.	23.999	1.405	33.735	0.004	0.000
06:25:00 a. m.	23.970	1.411	33.854	0.004	0.000
06:26:00 a. m.	24.038	1.544	37.119	0.005	0.000
06:27:00 a. m.	23.984	1.519	36.452	0.005	0.000
06:28:00 a. m.	24.136	1.641	39.594	0.005	0.000
06:29:00 a. m.	23.990	1.627	39.060	0.005	0.000
06:30:00 a. m.	24.069	1.759	42.301	0.006	0.000
06:31:00 a. m.	24.063	1.701	40.908	0.006	0.000
06:32:00 a. m.	24.115	1.784	43.010	0.006	0.000
06:33:00 a. m.	23.985	1.747	41.916	0.007	0.000
06:34:00 a. m.	24.057	1.830	44.030	0.007	0.000
06:35:00 a. m.	24.020	1.845	44.315	0.007	0.000
06:36:00 a. m.	24.123	1.874	45.241	0.008	0.000
06:37:00 a. m.	24.100	1.923	46.354	0.008	0.000
06:38:00 a. m.	24.065	1.986	47.769	0.009	0.000
06:39:00 a. m.	24.034	2.050	49.254	0.009	0.000
06:40:00 a. m.	24.060	2.031	48.886	0.009	0.000
06:41:00 a. m.	24.153	2.290	55.361	0.010	0.000
06:42:00 a. m.	24.020	2.079	49.933	0.010	0.000
06:43:00 a. m.	24.048	2.353	56.555	0.011	0.000
06:44:00 a. m.	24.094	2.224	53.574	0.011	0.000
06:45:00 a. m.	24.117	2.444	58.966	0.012	0.000
06:46:00 a. m.	24.060	2.325	55.939	0.012	0.000
06:47:00 a. m.	24.035	2.550	61.330	0.013	0.000

06:48:00 a. m.	24.082	2.417	58.235	0.013	0.000
06:49:00 a. m.	24.119	2.669	64.392	0.014	0.000
06:50:00 a. m.	24.056	2.672	64.320	0.014	0.000
06:51:00 a. m.	24.086	2.809	67.690	0.015	0.000
06:52:00 a. m.	24.073	2.762	66.512	0.015	0.000
06:53:00 a. m.	24.042	2.904	69.836	0.016	0.000
06:54:00 a. m.	24.109	2.820	67.971	0.016	0.000
06:55:00 a. m.	24.148	3.002	72.480	0.017	0.000
06:56:00 a. m.	24.103	2.929	70.608	0.017	0.000
06:57:00 a. m.	24.175	3.054	73.839	0.018	0.000
06:58:00 a. m.	24.114	2.995	72.216	0.019	0.000
06:59:00 a. m.	24.072	3.263	78.562	0.019	0.000
07:00:00 a. m.	24.114	3.103	74.850	0.020	0.000
07:01:00 a. m.	24.143	3.382	81.707	0.021	0.000
07:02:00 a. m.	24.130	3.239	78.239	0.021	0.000
07:03:00 a. m.	24.077	3.316	79.903	0.022	0.000
07:04:00 a. m.	24.103	3.320	80.054	0.022	0.000
07:05:00 a. m.	24.211	3.412	82.605	0.023	0.000
07:06:00 a. m.	24.149	3.365	81.284	0.024	0.000
07:07:00 a. m.	24.159	3.347	80.883	0.025	0.000
07:08:00 a. m.	24.073	3.358	80.848	0.025	0.000
07:09:00 a. m.	24.202	3.373	81.658	0.026	0.000
07:10:00 a. m.	24.117	3.391	81.797	0.027	0.000
07:11:00 a. m.	24.132	3.319	80.089	0.027	0.000
07:12:00 a. m.	24.140	3.517	84.990	0.028	0.000
07:13:00 a. m.	24.110	3.328	80.223	0.029	0.000
07:14:00 a. m.	24.216	3.648	88.330	0.029	0.000
07:15:00 a. m.	24.101	3.463	83.526	0.030	0.000
07:16:00 a. m.	24.081	3.657	88.076	0.031	0.000
07:17:00 a. m.	24.161	3.541	85.546	0.031	0.000
07:18:00 a. m.	24.143	3.730	90.110	0.032	0.000
07:19:00 a. m.	24.028	3.518	84.512	0.033	0.000
07:20:00 a. m.	24.166	3.690	89.218	0.034	0.000
07:21:00 a. m.	24.154	3.593	86.858	0.034	0.000
07:22:00 a. m.	24.078	3.635	87.551	0.035	0.000
07:23:00 a. m.	24.092	3.564	85.926	0.036	0.000
07:24:00 a. m.	24.090	3.649	87.936	0.037	0.000
07:25:00 a. m.	24.147	3.548	85.690	0.037	0.000
07:26:00 a. m.	24.118	3.627	87.510	0.038	0.000
07:27:00 a. m.	24.167	3.596	86.930	0.039	0.000
07:28:00 a. m.	24.124	3.697	89.214	0.039	0.000
07:29:00 a. m.	24.115	3.676	88.661	0.040	0.000
07:30:00 a. m.	24.110	3.703	89.264	0.041	0.000
07:31:00 a. m.	24.203	3.740	90.501	0.042	0.000
07:32:00 a. m.	24.159	3.694	89.194	0.042	0.000
07:33:00 a. m.	24.203	3.829	92.624	0.043	0.000
07:34:00 a. m.	24.111	3.762	90.719	0.044	0.000
07:35:00 a. m.	24.116	3.890	93.795	0.045	0.000
07:36:00 a. m.	24.083	3.886	93.565	0.045	0.000
07:37:00 a. m.	24.131	4.028	97.186	0.046	0.000
07:38:00 a. m.	24.106	4.015	96.771	0.047	0.000
07:39:00 a. m.	24.142	4.099	99.019	0.048	0.000
07:40:00 a. m.	24.087	4.164	100.337	0.049	0.000
07:41:00 a. m.	24.103	4.194	101.099	0.049	0.000
07:42:00 a. m.	24.238	4.265	103.322	0.050	0.000
07:43:00 a. m.	24.207	4.315	104.504	0.051	0.000

07:44:00 a. m.	24.190	4.376	105.850	0.052	0.000
07:45:00 a. m.	24.135	4.364	105.340	0.053	0.000
07:46:00 a. m.	24.067	4.498	108.283	0.054	0.000
07:47:00 a. m.	24.217	4.470	108.186	0.055	0.000
07:48:00 a. m.	24.096	4.479	107.934	0.056	0.000
07:49:00 a. m.	24.153	4.492	108.503	0.057	0.000
07:50:00 a. m.	24.260	4.476	108.586	0.057	0.000
07:51:00 a. m.	24.204	4.579	110.853	0.058	0.000
07:52:00 a. m.	24.110	4.539	109.434	0.059	0.000
07:53:00 a. m.	24.146	4.690	113.246	0.060	0.000
07:54:00 a. m.	24.249	4.748	115.133	0.061	0.000
07:55:00 a. m.	24.206	4.719	114.204	0.062	0.000
07:56:00 a. m.	24.225	4.814	116.629	0.063	0.000
07:57:00 a. m.	24.166	4.776	115.461	0.064	0.000
07:58:00 a. m.	24.172	4.878	117.919	0.065	0.000
07:59:00 a. m.	24.180	4.841	117.057	0.066	0.000
08:00:00 a. m.	24.205	5.012	121.345	0.067	0.000
08:01:00 a. m.	24.144	4.876	117.751	0.068	0.000
08:02:00 a. m.	24.131	5.109	123.311	0.069	0.000
08:03:00 a. m.	24.225	4.940	119.667	0.070	0.000
08:04:00 a. m.	24.190	5.053	122.237	0.071	0.000
08:05:00 a. m.	24.241	4.998	121.154	0.072	0.000
08:06:00 a. m.	24.143	4.981	120.227	0.073	0.000
08:07:00 a. m.	24.181	4.978	120.374	0.074	0.000
08:08:00 a. m.	24.135	4.973	120.058	0.075	0.000
08:09:00 a. m.	24.140	4.937	119.206	0.076	0.000
08:10:00 a. m.	24.163	5.022	121.393	0.077	0.000
08:11:00 a. m.	24.178	5.019	121.381	0.078	0.000
08:12:00 a. m.	24.262	5.014	121.628	0.079	0.000
08:13:00 a. m.	24.166	5.063	122.417	0.080	0.000
08:14:00 a. m.	24.188	5.005	121.053	0.081	0.000
08:15:00 a. m.	24.197	5.057	122.410	0.082	0.000
08:16:00 a. m.	24.096	5.059	121.927	0.083	0.000
08:17:00 a. m.	24.166	5.118	123.705	0.084	0.000
08:18:00 a. m.	24.352	5.147	125.385	0.085	0.000
08:19:00 a. m.	24.258	5.122	124.272	0.086	0.000
08:20:00 a. m.	24.216	5.128	124.141	0.087	0.000
08:21:00 a. m.	24.229	5.104	123.694	0.088	0.000
08:22:00 a. m.	24.145	5.181	125.094	0.089	0.000
08:23:00 a. m.	24.210	5.096	123.446	0.090	0.000
08:24:00 a. m.	24.137	4.946	119.366	0.091	0.000
08:25:00 a. m.	24.175	5.119	123.725	0.092	0.000
08:26:00 a. m.	24.265	5.004	121.449	0.093	0.000
08:27:00 a. m.	24.319	5.170	125.738	0.094	0.000
08:28:00 a. m.	24.204	5.028	121.668	0.095	0.000
08:29:00 a. m.	24.287	5.242	127.307	0.096	0.000
08:30:00 a. m.	24.122	5.097	122.905	0.097	0.000
08:31:00 a. m.	24.148	5.254	126.915	0.098	0.000
08:32:00 a. m.	24.170	5.256	127.035	0.099	0.000
08:33:00 a. m.	24.173	5.379	130.020	0.100	0.000
08:34:00 a. m.	24.319	5.339	129.838	0.101	0.000
08:35:00 a. m.	24.293	5.494	133.405	0.103	0.000
08:36:00 a. m.	24.202	5.414	130.964	0.104	0.000
08:37:00 a. m.	24.225	5.528	133.962	0.105	0.000
08:38:00 a. m.	24.227	5.459	132.313	0.106	0.000
08:39:00 a. m.	24.257	5.535	134.207	0.107	0.000

08:40:00 a. m.	24.290	5.505	133.706	0.108	0.000
08:41:00 a. m.	24.191	5.441	131.662	0.109	0.000
08:42:00 a. m.	24.175	5.565	134.526	0.110	0.000
08:43:00 a. m.	24.263	5.525	133.948	0.111	0.000
08:44:00 a. m.	24.234	5.722	138.678	0.113	0.000
08:45:00 a. m.	24.124	5.654	136.467	0.114	0.000
08:46:00 a. m.	24.138	5.724	138.228	0.115	0.000
08:47:00 a. m.	24.188	5.731	138.608	0.116	0.000
08:48:00 a. m.	24.174	5.805	140.376	0.117	0.000
08:49:00 a. m.	24.220	5.784	140.033	0.118	0.000
08:50:00 a. m.	24.224	5.964	144.426	0.119	0.000
08:51:00 a. m.	24.187	5.858	141.646	0.121	0.000
08:52:00 a. m.	24.185	5.882	142.240	0.122	0.000
08:53:00 a. m.	24.270	5.927	143.904	0.123	0.000
08:54:00 a. m.	24.123	6.043	145.796	0.124	0.000
08:55:00 a. m.	24.298	5.901	143.534	0.125	0.000
08:56:00 a. m.	24.241	5.866	142.116	0.127	0.000
08:57:00 a. m.	24.235	5.962	144.509	0.128	0.000
08:58:00 a. m.	24.345	5.910	143.970	0.129	0.000
08:59:00 a. m.	24.227	6.032	146.111	0.130	0.000
09:00:00 a. m.	24.385	5.980	145.972	0.131	0.000
09:01:00 a. m.	24.196	6.053	146.434	0.133	0.000
09:02:00 a. m.	24.301	5.992	145.790	0.134	0.000
09:03:00 a. m.	24.170	6.002	145.009	0.135	0.000
09:04:00 a. m.	24.358	6.004	146.317	0.136	0.000
09:05:00 a. m.	24.251	6.087	147.608	0.137	0.000
09:06:00 a. m.	24.214	6.037	146.234	0.138	0.000
09:07:00 a. m.	24.364	6.201	151.142	0.140	0.000
09:08:00 a. m.	24.130	6.177	149.030	0.141	0.000
09:09:00 a. m.	24.339	6.181	150.499	0.142	0.000
09:10:00 a. m.	24.271	6.176	149.750	0.144	0.000
09:11:00 a. m.	24.399	6.269	152.982	0.145	0.000
09:12:00 a. m.	24.223	6.256	151.599	0.146	0.000
09:13:00 a. m.	24.308	6.287	152.889	0.147	0.000
09:14:00 a. m.	24.180	6.359	153.841	0.149	0.000
09:15:00 a. m.	24.396	6.309	153.927	0.150	0.000
09:16:00 a. m.	24.099	6.456	155.565	0.151	0.000
09:17:00 a. m.	24.280	6.361	154.417	0.153	0.000
09:18:00 a. m.	24.298	6.382	155.009	0.154	0.000
09:19:00 a. m.	24.235	6.440	156.132	0.155	0.000
09:20:00 a. m.	24.302	6.434	156.414	0.156	0.000
09:21:00 a. m.	24.248	6.475	157.015	0.158	0.000
09:22:00 a. m.	24.303	6.570	159.799	0.159	0.000
09:23:00 a. m.	24.284	6.498	157.820	0.160	0.000
09:24:00 a. m.	24.298	6.569	159.717	0.161	0.000
09:25:00 a. m.	24.383	6.561	159.979	0.163	0.000
09:26:00 a. m.	24.319	6.634	161.374	0.164	0.000
09:27:00 a. m.	24.333	6.670	162.439	0.165	0.000
09:28:00 a. m.	24.287	6.723	163.364	0.167	0.000
09:29:00 a. m.	24.279	6.589	160.148	0.168	0.000
09:30:00 a. m.	24.198	6.743	163.220	0.170	0.000
09:31:00 a. m.	24.252	6.587	159.811	0.171	0.000
09:32:00 a. m.	24.271	6.783	164.722	0.172	0.000
09:33:00 a. m.	24.256	6.634	160.945	0.174	0.000
09:34:00 a. m.	24.181	6.711	162.290	0.175	0.000
09:35:00 a. m.	24.334	6.710	163.422	0.176	0.000

09:36:00 a. m.	24.274	6.714	162.966	0.178	0.000
09:37:00 a. m.	24.242	6.766	163.996	0.179	0.000
09:38:00 a. m.	24.344	6.717	163.531	0.180	0.000
09:39:00 a. m.	24.259	6.726	163.117	0.182	0.000
09:40:00 a. m.	24.294	6.683	162.492	0.183	0.000
09:41:00 a. m.	24.202	6.677	161.642	0.185	0.000
09:42:00 a. m.	24.294	6.610	160.711	0.186	0.000
09:43:00 a. m.	24.089	6.637	159.902	0.187	0.000
09:44:00 a. m.	24.405	6.652	162.259	0.189	0.000
09:45:00 a. m.	24.086	6.623	159.511	0.190	0.000
09:46:00 a. m.	24.162	6.581	158.969	0.191	0.000
09:47:00 a. m.	24.257	6.630	160.922	0.192	0.000
09:48:00 a. m.	24.179	6.633	160.448	0.194	0.000
09:49:00 a. m.	24.256	6.622	160.690	0.195	0.000
09:50:00 a. m.	24.229	6.625	160.593	0.197	0.000
09:51:00 a. m.	24.434	6.701	163.770	0.198	0.000
09:52:00 a. m.	24.326	6.605	160.706	0.199	0.000
09:53:00 a. m.	24.285	6.699	162.709	0.201	0.000
09:54:00 a. m.	24.373	6.662	162.339	0.202	0.000
09:55:00 a. m.	24.288	6.735	163.537	0.203	0.000
09:56:00 a. m.	24.221	6.698	162.177	0.205	0.000
09:57:00 a. m.	24.330	6.773	164.684	0.206	0.000
09:58:00 a. m.	24.259	6.698	162.400	0.207	0.000
09:59:00 a. m.	24.241	6.803	165.011	0.209	0.000
10:00:00 a. m.	24.180	6.729	162.679	0.210	0.000
10:01:00 a. m.	24.266	6.741	163.686	0.211	0.000
10:02:00 a. m.	24.233	6.792	164.667	0.213	0.000
10:03:00 a. m.	24.161	6.766	163.387	0.214	0.000
10:04:00 a. m.	24.325	6.811	165.642	0.215	0.000
10:05:00 a. m.	24.130	6.709	161.887	0.217	0.000
10:06:00 a. m.	24.367	6.793	165.498	0.218	0.000
10:07:00 a. m.	24.200	6.720	162.626	0.219	0.000
10:08:00 a. m.	24.190	6.733	162.821	0.221	0.000
10:09:00 a. m.	24.345	6.739	164.020	0.222	0.000
10:10:00 a. m.	24.232	6.711	162.584	0.224	0.000
10:11:00 a. m.	24.353	6.722	163.646	0.225	0.000
10:12:00 a. m.	24.257	6.709	162.621	0.226	0.000
10:13:00 a. m.	24.439	6.772	165.440	0.228	0.000
10:14:00 a. m.	24.202	6.796	164.405	0.229	0.000
10:15:00 a. m.	24.177	6.781	163.912	0.230	0.000
10:16:00 a. m.	24.428	6.914	168.859	0.232	0.000
10:17:00 a. m.	24.218	6.878	166.552	0.233	0.000
10:18:00 a. m.	24.393	6.990	170.472	0.235	0.000
10:19:00 a. m.	24.354	6.860	167.065	0.236	0.000
10:20:00 a. m.	24.321	6.957	169.161	0.237	0.000
10:21:00 a. m.	24.404	6.774	165.278	0.239	0.000
10:22:00 a. m.	24.235	6.991	169.416	0.240	0.000
10:23:00 a. m.	24.324	6.971	169.623	0.242	0.000
10:24:00 a. m.	24.395	7.011	171.045	0.243	0.000
10:25:00 a. m.	24.389	6.971	170.008	0.244	0.000
10:26:00 a. m.	24.373	6.960	169.655	0.246	0.000
10:27:00 a. m.	24.209	7.026	170.112	0.247	0.000
10:28:00 a. m.	24.104	6.953	167.615	0.249	0.000
10:29:00 a. m.	24.291	6.948	168.793	0.250	0.000
10:30:00 a. m.	24.243	6.954	168.533	0.251	0.000
10:31:00 a. m.	24.227	6.973	169.055	0.253	0.000

10:32:00 a. m.	24.217	7.068	171.296	0.254	0.000
10:33:00 a. m.	24.288	7.033	170.742	0.256	0.000
10:34:00 a. m.	24.284	7.163	174.115	0.257	0.000
10:35:00 a. m.	24.169	7.160	173.078	0.259	0.000
10:36:00 a. m.	24.275	7.264	176.487	0.260	0.000
10:37:00 a. m.	24.307	7.245	176.087	0.261	0.000
10:38:00 a. m.	24.217	7.288	176.500	0.263	0.000
10:39:00 a. m.	24.317	7.285	177.241	0.264	0.000
10:40:00 a. m.	24.255	7.275	176.439	0.266	0.000
10:41:00 a. m.	24.396	7.253	176.962	0.267	0.000
10:42:00 a. m.	24.267	7.382	179.104	0.269	0.000
10:43:00 a. m.	24.299	7.216	175.346	0.270	0.000
10:44:00 a. m.	24.277	7.464	181.117	0.272	0.000
10:45:00 a. m.	24.324	7.374	179.327	0.273	0.000
10:46:00 a. m.	24.266	7.500	182.079	0.275	0.000
10:47:00 a. m.	24.305	7.476	181.713	0.276	0.000
10:48:00 a. m.	24.331	7.463	181.616	0.277	0.000
10:49:00 a. m.	24.442	7.524	183.949	0.279	0.000
10:50:00 a. m.	24.388	7.496	182.831	0.280	0.000
10:51:00 a. m.	24.243	7.550	183.018	0.282	0.000
10:52:00 a. m.	24.239	7.595	184.217	0.284	0.000
10:53:00 a. m.	24.311	7.590	184.451	0.285	0.000
10:54:00 a. m.	24.303	7.634	185.566	0.287	0.000
10:55:00 a. m.	24.380	7.676	187.170	0.288	0.000
10:56:00 a. m.	24.206	7.688	186.045	0.290	0.000
10:57:00 a. m.	24.322	7.698	187.312	0.291	0.000
10:58:00 a. m.	24.227	7.726	187.151	0.293	0.000
10:59:00 a. m.	24.341	7.692	187.079	0.295	0.000
11:00:00 a. m.	24.095	7.752	186.709	0.296	0.000
11:01:00 a. m.	24.180	7.682	185.646	0.298	0.000
11:02:00 a. m.	24.224	7.749	187.724	0.299	0.000
11:03:00 a. m.	24.354	7.677	186.883	0.301	0.000
11:04:00 a. m.	24.163	7.698	185.962	0.302	0.000
11:05:00 a. m.	24.154	7.671	185.229	0.304	0.000
11:06:00 a. m.	24.418	7.746	189.272	0.305	0.000
11:07:00 a. m.	24.191	7.637	184.777	0.307	0.000
11:08:00 a. m.	24.124	7.699	185.714	0.309	0.000
11:09:00 a. m.	24.189	7.527	182.177	0.310	0.000
11:10:00 a. m.	24.368	7.678	187.062	0.312	0.000
11:11:00 a. m.	24.328	7.494	182.297	0.313	0.000
11:12:00 a. m.	24.122	7.608	183.586	0.315	0.000
11:13:00 a. m.	24.312	7.529	183.035	0.316	0.000
11:14:00 a. m.	24.402	7.543	184.140	0.318	0.000
11:15:00 a. m.	24.231	7.584	183.865	0.319	0.000
11:16:00 a. m.	24.303	7.583	184.389	0.321	0.000
11:17:00 a. m.	24.294	7.610	185.058	0.322	0.000
11:18:00 a. m.	24.160	7.685	185.661	0.324	0.000
11:19:00 a. m.	24.419	7.705	188.206	0.325	0.000
11:20:00 a. m.	24.366	7.722	188.239	0.327	0.000
11:21:00 a. m.	24.302	7.705	187.258	0.328	0.000
11:22:00 a. m.	24.218	7.770	188.115	0.330	0.000
11:23:00 a. m.	24.292	7.774	188.870	0.332	0.000
11:24:00 a. m.	24.483	7.759	189.986	0.333	0.000
11:25:00 a. m.	24.363	7.798	190.059	0.335	0.000
11:26:00 a. m.	24.272	7.666	186.038	0.336	0.000
11:27:00 a. m.	24.295	7.735	187.853	0.338	0.000

11:28:00 a. m.	24.267	7.695	186.909	0.339	0.000
11:29:00 a. m.	24.285	7.775	188.954	0.341	0.000
11:30:00 a. m.	24.311	7.762	188.817	0.343	0.000
11:31:00 a. m.	24.252	7.824	189.621	0.344	0.000
11:32:00 a. m.	24.250	7.808	189.237	0.346	0.000
11:33:00 a. m.	24.353	7.908	192.821	0.347	0.000
11:34:00 a. m.	24.217	7.864	190.366	0.349	0.000
11:35:00 a. m.	24.378	7.923	193.113	0.350	0.000
11:36:00 a. m.	24.304	7.933	192.687	0.352	0.000
11:37:00 a. m.	24.235	8.024	194.442	0.354	0.000
11:38:00 a. m.	24.272	8.100	196.518	0.355	0.000
11:39:00 a. m.	24.221	8.023	194.266	0.357	0.000
11:40:00 a. m.	24.377	8.139	198.165	0.359	0.000
11:41:00 a. m.	24.186	8.016	193.979	0.360	0.000
11:42:00 a. m.	24.176	8.211	198.683	0.362	0.000
11:43:00 a. m.	24.441	8.121	198.535	0.363	0.000
11:44:00 a. m.	24.174	8.230	198.786	0.365	0.000
11:45:00 a. m.	24.266	8.127	197.154	0.367	0.000
11:46:00 a. m.	24.355	8.103	197.116	0.368	0.000
11:47:00 a. m.	24.202	8.182	198.090	0.370	0.000
11:48:00 a. m.	24.354	8.208	200.077	0.372	0.000
11:49:00 a. m.	24.269	8.101	196.689	0.373	0.000
11:50:00 a. m.	24.418	8.173	199.745	0.375	0.000
11:51:00 a. m.	24.287	8.120	197.481	0.376	0.000
11:52:00 a. m.	24.312	8.239	200.333	0.378	0.000
11:53:00 a. m.	24.168	8.169	197.383	0.380	0.000
11:54:00 a. m.	24.232	8.315	201.503	0.382	0.000
11:55:00 a. m.	24.409	8.251	201.553	0.383	0.000
11:56:00 a. m.	24.321	8.248	200.849	0.385	0.000
11:57:00 a. m.	24.375	8.245	201.121	0.386	0.000
11:58:00 a. m.	24.328	8.227	200.240	0.388	0.000
11:59:00 a. m.	24.477	8.117	198.733	0.390	0.000
12:00:00 p. m.	24.383	8.141	198.743	0.391	0.000
12:01:00 p. m.	24.284	8.171	198.694	0.393	0.000
12:02:00 p. m.	24.327	8.145	198.069	0.395	0.000
12:03:00 p. m.	24.202	8.177	197.975	0.397	0.000
12:04:00 p. m.	24.189	8.100	196.028	0.398	0.000
12:05:00 p. m.	24.452	8.145	199.210	0.400	0.000
12:06:00 p. m.	24.277	8.124	197.425	0.401	0.000
12:07:00 p. m.	24.280	8.127	197.365	0.403	0.000
12:08:00 p. m.	24.287	8.192	199.043	0.405	0.000
12:09:00 p. m.	24.269	8.263	200.533	0.406	0.000
12:10:00 p. m.	24.269	8.251	200.200	0.408	0.000
12:11:00 p. m.	24.424	8.252	201.581	0.410	0.000
12:12:00 p. m.	24.287	8.271	200.934	0.411	0.000
12:13:00 p. m.	24.208	8.295	200.851	0.413	0.000
12:14:00 p. m.	24.276	8.264	200.663	0.414	0.000
12:15:00 p. m.	24.242	8.316	201.416	0.416	0.000
12:16:00 p. m.	24.298	8.239	200.241	0.418	0.000
12:17:00 p. m.	24.504	8.281	202.945	0.420	0.000
12:18:00 p. m.	24.280	8.144	197.627	0.421	0.000
12:19:00 p. m.	24.347	8.221	200.141	0.423	0.000
12:20:00 p. m.	24.260	8.114	197.019	0.424	0.000
12:21:00 p. m.	24.253	8.233	199.478	0.426	0.000
12:22:00 p. m.	24.310	8.125	197.644	0.428	0.000
12:23:00 p. m.	24.196	8.238	199.394	0.430	0.000

12:24:00 p. m.	24.170	8.135	196.768	0.432	0.000
12:25:00 p. m.	24.280	8.278	200.945	0.433	0.000
12:26:00 p. m.	24.214	8.075	195.687	0.434	0.000
12:27:00 p. m.	24.290	8.194	199.003	0.436	0.000
12:28:00 p. m.	24.413	8.082	197.391	0.438	0.000
12:29:00 p. m.	24.305	8.080	196.411	0.440	0.000
12:30:00 p. m.	24.299	7.980	194.039	0.441	0.000
12:31:00 p. m.	24.289	8.042	195.462	0.443	0.000
12:32:00 p. m.	24.220	7.981	193.302	0.445	0.000
12:33:00 p. m.	24.157	7.979	192.830	0.446	0.000
12:34:00 p. m.	24.269	7.986	193.892	0.448	0.000
12:35:00 p. m.	24.284	7.949	192.749	0.449	0.000
12:36:00 p. m.	24.317	7.987	194.351	0.451	0.000
12:37:00 p. m.	24.376	7.967	194.298	0.453	0.000
12:38:00 p. m.	24.371	7.956	193.866	0.454	0.000
12:39:00 p. m.	24.345	7.973	194.290	0.456	0.000
12:40:00 p. m.	24.282	7.814	189.946	0.457	0.000
12:41:00 p. m.	24.248	7.790	188.746	0.459	0.000
12:42:00 p. m.	24.231	7.789	188.786	0.460	0.000
12:43:00 p. m.	24.397	7.745	189.083	0.462	0.000
12:44:00 p. m.	24.235	7.781	188.479	0.464	0.000
12:45:00 p. m.	24.252	7.679	186.265	0.465	0.000
12:46:00 p. m.	24.449	7.790	190.469	0.467	0.000
12:47:00 p. m.	24.378	7.777	189.760	0.468	0.000
12:48:00 p. m.	24.420	7.707	188.253	0.469	0.000
12:49:00 p. m.	24.539	7.744	190.056	0.472	0.000
12:50:00 p. m.	24.262	7.657	185.938	0.473	0.000
12:51:00 p. m.	24.124	7.717	186.235	0.474	0.000
12:52:00 p. m.	24.212	7.639	184.985	0.476	0.000
12:53:00 p. m.	24.352	7.739	188.336	0.477	0.000
12:54:00 p. m.	24.390	7.669	186.942	0.479	0.000
12:55:00 p. m.	24.323	7.725	187.832	0.481	0.000
12:56:00 p. m.	24.283	7.700	186.895	0.482	0.000
12:57:00 p. m.	24.301	7.658	186.297	0.484	0.000
12:58:00 p. m.	24.262	7.692	186.834	0.485	0.000
12:59:00 p. m.	24.368	7.635	186.079	0.487	0.000
01:00:00 p. m.	24.374	7.555	184.056	0.488	0.000
01:01:00 p. m.	24.280	7.564	183.811	0.490	0.000
01:02:00 p. m.	24.343	7.433	181.137	0.491	0.000
01:03:00 p. m.	24.398	7.497	183.087	0.493	0.000
01:04:00 p. m.	24.266	7.403	179.560	0.495	0.000
01:05:00 p. m.	24.260	7.390	179.315	0.496	0.000
01:06:00 p. m.	24.253	7.490	181.592	0.497	0.000
01:07:00 p. m.	24.285	7.385	179.156	0.499	0.000
01:08:00 p. m.	24.427	7.403	180.898	0.500	0.000
01:09:00 p. m.	24.306	7.337	178.255	0.502	0.000
01:10:00 p. m.	24.171	7.331	177.177	0.504	0.000
01:11:00 p. m.	24.248	7.271	176.194	0.505	0.000
01:12:00 p. m.	24.255	7.382	178.910	0.506	0.000
01:13:00 p. m.	24.397	7.277	177.501	0.508	0.000
01:14:00 p. m.	24.261	7.353	178.211	0.509	0.000
01:15:00 p. m.	24.208	7.241	175.478	0.511	0.000
01:16:00 p. m.	24.165	7.304	176.472	0.512	0.000
01:17:00 p. m.	24.184	7.295	176.374	0.514	0.000
01:18:00 p. m.	24.354	7.249	176.685	0.515	0.000
01:19:00 p. m.	24.243	7.285	176.608	0.516	0.000

01:20:00 p. m.	24.271	7.243	175.847	0.518	0.000
01:21:00 p. m.	24.260	7.208	174.754	0.520	0.000
01:22:00 p. m.	24.190	7.213	174.438	0.521	0.000
01:23:00 p. m.	24.339	7.189	175.093	0.522	0.000
01:24:00 p. m.	24.193	7.117	172.173	0.524	0.000
01:25:00 p. m.	24.241	7.113	172.283	0.526	0.000
01:26:00 p. m.	24.323	7.149	173.938	0.527	0.000
01:27:00 p. m.	24.343	7.087	172.486	0.528	0.000
01:28:00 p. m.	24.170	7.108	171.741	0.530	0.000
01:29:00 p. m.	24.222	7.008	169.593	0.531	0.000
01:30:00 p. m.	24.284	7.108	172.610	0.532	0.000
01:31:00 p. m.	24.216	7.005	169.553	0.533	0.000
01:32:00 p. m.	24.261	7.156	173.535	0.536	0.000
01:33:00 p. m.	24.280	7.112	172.590	0.537	0.000
01:34:00 p. m.	24.145	7.181	173.302	0.538	0.000
01:35:00 p. m.	24.232	7.116	172.365	0.539	0.000
01:36:00 p. m.	24.291	7.012	170.299	0.541	0.000
01:37:00 p. m.	24.277	7.060	171.378	0.543	0.000
01:38:00 p. m.	24.261	6.965	169.070	0.544	0.000
01:39:00 p. m.	24.314	6.946	168.921	0.545	0.000
01:40:00 p. m.	24.207	6.906	167.017	0.547	0.000
01:41:00 p. m.	24.364	6.845	166.916	0.548	0.000
01:42:00 p. m.	24.247	6.800	164.924	0.549	0.000
01:43:00 p. m.	24.260	6.773	164.277	0.551	0.000
01:44:00 p. m.	24.315	6.647	161.505	0.553	0.000
01:45:00 p. m.	24.208	6.653	161.142	0.554	0.000
01:46:00 p. m.	24.103	6.646	160.046	0.554	0.000
01:47:00 p. m.	24.349	6.660	162.044	0.557	0.000
01:48:00 p. m.	24.063	6.595	158.711	0.558	0.000
01:49:00 p. m.	24.215	6.561	158.919	0.558	0.000
01:50:00 p. m.	24.270	6.625	160.839	0.560	0.000
01:51:00 p. m.	24.193	6.562	158.657	0.562	0.000
01:52:00 p. m.	24.267	6.687	162.322	0.562	0.000
01:53:00 p. m.	24.275	6.599	160.133	0.565	0.000
01:54:00 p. m.	24.186	6.544	158.253	0.566	0.000
01:55:00 p. m.	24.192	6.628	160.296	0.567	0.000
01:56:00 p. m.	24.242	6.594	159.618	0.568	0.000
01:57:00 p. m.	24.235	6.561	158.975	0.570	0.000
01:58:00 p. m.	24.178	6.624	160.341	0.571	0.000
01:59:00 p. m.	24.227	6.537	158.320	0.572	0.000
02:00:00 p. m.	24.147	6.551	158.337	0.574	0.000
02:01:00 p. m.	24.249	6.495	157.468	0.575	0.000
02:02:00 p. m.	24.363	6.486	158.089	0.576	0.000
02:03:00 p. m.	24.232	6.431	155.878	0.578	0.000
02:04:00 p. m.	24.144	6.392	154.495	0.580	0.000
02:05:00 p. m.	24.184	6.317	152.894	0.580	0.000
02:06:00 p. m.	24.245	6.357	154.281	0.580	0.000
02:07:00 p. m.	24.218	6.256	151.616	0.583	0.000
02:08:00 p. m.	24.379	6.201	151.406	0.584	0.000
02:09:00 p. m.	24.200	6.098	147.515	0.584	0.000
02:10:00 p. m.	24.215	6.022	145.846	0.587	0.000
02:11:00 p. m.	24.134	6.016	145.055	0.588	0.000
02:12:00 p. m.	24.159	5.960	144.091	0.588	0.000
02:13:00 p. m.	24.219	5.949	143.962	0.590	0.000
02:14:00 p. m.	24.224	5.853	141.614	0.592	0.000
02:15:00 p. m.	24.166	5.954	143.971	0.592	0.000

02:16:00 p. m.	24.254	5.856	142.055	0.594	0.000
02:17:00 p. m.	24.308	5.885	143.052	0.595	0.000
02:18:00 p. m.	24.231	5.843	141.588	0.596	0.000
02:19:00 p. m.	24.104	5.811	140.025	0.597	0.000
02:20:00 p. m.	24.182	5.846	141.347	0.598	0.000
02:21:00 p. m.	24.284	5.796	140.794	0.599	0.000
02:22:00 p. m.	24.194	5.731	138.765	0.601	0.000
02:23:00 p. m.	24.117	5.739	138.393	0.602	0.000
02:24:00 p. m.	24.207	5.747	139.152	0.603	0.000
02:25:00 p. m.	24.255	5.812	141.078	0.604	0.000
02:26:00 p. m.	24.228	5.603	135.845	0.605	0.000
02:27:00 p. m.	24.091	5.624	135.455	0.606	0.000
02:28:00 p. m.	24.355	5.590	136.147	0.608	0.000
02:29:00 p. m.	24.222	5.547	134.356	0.609	0.000
02:30:00 p. m.	24.298	5.619	136.542	0.610	0.000
02:31:00 p. m.	24.126	5.538	133.672	0.611	0.000
02:32:00 p. m.	24.218	5.531	133.813	0.613	0.000
02:33:00 p. m.	24.133	5.471	132.026	0.613	0.000
02:34:00 p. m.	24.253	5.551	134.574	0.614	0.000
02:35:00 p. m.	24.148	5.489	132.508	0.616	0.000
02:36:00 p. m.	24.272	5.529	134.074	0.617	0.000
02:37:00 p. m.	24.359	5.544	135.053	0.617	0.000
02:38:00 p. m.	24.173	5.479	132.225	0.618	0.000
02:39:00 p. m.	24.172	5.502	132.983	0.620	0.000
02:40:00 p. m.	24.236	5.468	132.444	0.621	0.000
02:41:00 p. m.	24.271	5.443	132.157	0.622	0.000
02:42:00 p. m.	24.198	5.399	130.735	0.623	0.000
02:43:00 p. m.	24.299	5.329	129.382	0.625	0.000
02:44:00 p. m.	24.168	5.407	130.586	0.626	0.000
02:45:00 p. m.	24.229	5.369	130.116	0.626	0.000
02:46:00 p. m.	24.229	5.391	130.536	0.627	0.000
02:47:00 p. m.	24.364	5.399	131.553	0.629	0.000
02:48:00 p. m.	24.180	5.439	131.573	0.630	0.000
02:49:00 p. m.	24.186	5.500	132.962	0.631	0.000
02:50:00 p. m.	24.114	5.470	131.814	0.632	0.000
02:51:00 p. m.	24.194	5.451	131.947	0.633	0.000
02:52:00 p. m.	24.156	5.348	129.229	0.633	0.000
02:53:00 p. m.	24.129	5.346	129.071	0.636	0.000
02:54:00 p. m.	24.238	5.343	129.473	0.636	0.000
02:55:00 p. m.	24.213	5.247	127.027	0.638	0.000
02:56:00 p. m.	24.271	5.236	127.059	0.638	0.000
02:57:00 p. m.	24.115	5.275	127.228	0.639	0.000
02:58:00 p. m.	24.109	5.162	124.394	0.639	0.000
02:59:00 p. m.	24.178	5.198	125.699	0.641	0.000
03:00:00 p. m.	24.187	5.115	123.782	0.644	0.000
03:01:00 p. m.	24.139	5.126	123.700	0.644	0.000
03:02:00 p. m.	24.132	5.159	124.488	0.644	0.000
03:03:00 p. m.	24.206	4.994	120.791	0.646	0.000
03:04:00 p. m.	24.134	5.136	123.902	0.647	0.000
03:05:00 p. m.	24.273	4.990	121.117	0.647	0.000
03:06:00 p. m.	24.038	5.002	120.266	0.648	0.000
03:07:00 p. m.	24.199	4.970	120.322	0.650	0.000
03:08:00 p. m.	24.295	4.973	120.787	0.652	0.000
03:09:00 p. m.	24.261	4.907	119.068	0.652	0.000
03:10:00 p. m.	24.091	4.873	117.393	0.653	0.000
03:11:00 p. m.	24.184	4.818	116.555	0.653	0.000

03:12:00 p. m.	24.173	4.792	115.862	0.655	0.000
03:13:00 p. m.	24.260	4.731	114.810	0.655	0.000
03:14:00 p. m.	24.243	4.738	114.757	0.657	0.000
03:15:00 p. m.	24.180	4.741	114.552	0.658	0.000
03:16:00 p. m.	24.231	4.746	115.014	0.659	0.000
03:17:00 p. m.	24.115	4.698	113.283	0.659	0.000
03:18:00 p. m.	24.153	4.640	111.999	0.660	0.000
03:19:00 p. m.	24.232	4.671	113.156	0.661	0.000
03:20:00 p. m.	24.254	4.531	109.859	0.662	0.000
03:21:00 p. m.	24.215	4.653	112.639	0.664	0.000
03:22:00 p. m.	24.164	4.464	107.840	0.665	0.000
03:23:00 p. m.	24.211	4.655	112.697	0.666	0.000
03:24:00 p. m.	24.219	4.460	108.073	0.666	0.000
03:25:00 p. m.	24.216	4.640	112.404	0.666	0.000
03:26:00 p. m.	24.212	4.529	109.615	0.668	0.000
03:27:00 p. m.	24.219	4.559	110.421	0.668	0.000
03:28:00 p. m.	24.269	4.474	108.537	0.670	0.000
03:29:00 p. m.	24.135	4.524	109.103	0.671	0.000
03:30:00 p. m.	24.141	4.434	106.982	0.672	0.000
03:31:00 p. m.	24.243	4.418	107.047	0.672	0.000
03:32:00 p. m.	24.269	4.349	105.550	0.673	0.000
03:33:00 p. m.	24.268	4.300	104.334	0.675	0.000
03:34:00 p. m.	24.152	4.347	105.036	0.675	0.000
03:35:00 p. m.	24.144	4.283	103.426	0.675	0.000
03:36:00 p. m.	24.207	4.188	101.431	0.676	0.000
03:37:00 p. m.	24.258	4.195	101.728	0.677	0.000
03:38:00 p. m.	24.154	4.177	100.839	0.679	0.000
03:39:00 p. m.	24.088	4.060	97.782	0.679	0.000
03:40:00 p. m.	24.129	4.120	99.343	0.680	0.000
03:41:00 p. m.	24.160	3.998	96.595	0.681	0.000
03:42:00 p. m.	24.116	4.084	98.497	0.682	0.000
03:43:00 p. m.	24.141	4.059	98.007	0.683	0.000
03:44:00 p. m.	24.251	3.978	96.547	0.683	0.000
03:45:00 p. m.	24.237	4.008	97.030	0.684	0.000
03:46:00 p. m.	24.224	3.995	96.867	0.685	0.000
03:47:00 p. m.	24.246	3.991	96.744	0.686	0.000
03:48:00 p. m.	24.134	4.094	98.759	0.686	0.000
03:49:00 p. m.	24.142	3.956	95.523	0.687	0.000
03:50:00 p. m.	24.236	4.071	98.568	0.688	0.000
03:51:00 p. m.	24.115	3.948	95.136	0.688	0.000
03:52:00 p. m.	24.159	4.040	97.647	0.690	0.000
03:53:00 p. m.	24.268	3.883	94.197	0.691	0.000
03:54:00 p. m.	24.281	4.019	97.494	0.692	0.000
03:55:00 p. m.	24.239	3.847	93.217	0.692	0.000
03:56:00 p. m.	24.248	3.950	95.683	0.692	0.000
03:57:00 p. m.	24.167	3.868	93.448	0.693	0.000
03:58:00 p. m.	24.208	3.816	92.376	0.695	0.000
03:59:00 p. m.	24.258	3.854	93.382	0.695	0.000
04:00:00 p. m.	24.178	3.807	91.962	0.696	0.000
04:01:00 p. m.	24.212	3.805	92.088	0.697	0.000
04:02:00 p. m.	24.271	3.810	92.427	0.698	0.000
04:03:00 p. m.	24.153	3.740	90.328	0.698	0.000
04:04:00 p. m.	24.236	3.773	91.419	0.699	0.000
04:05:00 p. m.	24.172	3.776	91.229	0.699	0.000
04:06:00 p. m.	24.241	3.763	91.173	0.701	0.000
04:07:00 p. m.	24.157	3.733	90.187	0.702	0.000

04:08:00 p. m.	24.162	3.694	89.204	0.702	0.000
04:09:00 p. m.	24.184	3.659	88.416	0.703	0.000
04:10:00 p. m.	24.229	3.631	87.865	0.704	0.000
04:11:00 p. m.	24.127	3.708	89.374	0.704	0.000
04:12:00 p. m.	24.161	3.582	86.545	0.705	0.000
04:13:00 p. m.	24.175	3.639	87.941	0.706	0.000
04:14:00 p. m.	24.231	3.597	87.208	0.706	0.000
04:15:00 p. m.	24.151	3.635	87.816	0.708	0.000
04:16:00 p. m.	24.160	3.593	86.748	0.708	0.000
04:17:00 p. m.	24.170	3.642	88.070	0.708	0.000
04:18:00 p. m.	24.169	3.537	85.479	0.709	0.000
04:19:00 p. m.	24.115	3.634	87.605	0.711	0.000
04:20:00 p. m.	24.279	3.527	85.577	0.712	0.000
04:21:00 p. m.	24.168	3.571	86.318	0.712	0.000
04:22:00 p. m.	24.155	3.445	83.169	0.713	0.000
04:23:00 p. m.	24.150	3.411	82.324	0.713	0.000
04:24:00 p. m.	24.105	3.408	82.047	0.714	0.000
04:25:00 p. m.	24.133	3.394	81.941	0.714	0.000
04:26:00 p. m.	24.184	3.396	82.010	0.714	0.000
04:27:00 p. m.	24.117	3.328	80.413	0.715	0.000
04:28:00 p. m.	24.109	3.274	78.956	0.716	0.000
04:29:00 p. m.	24.245	3.309	80.250	0.717	0.000
04:30:00 p. m.	24.080	3.201	77.134	0.718	0.000
04:31:00 p. m.	24.155	3.274	79.077	0.718	0.000
04:32:00 p. m.	24.259	3.268	79.202	0.719	0.000
04:33:00 p. m.	24.099	3.236	78.023	0.719	0.000
04:34:00 p. m.	24.221	3.150	76.243	0.720	0.000
04:35:00 p. m.	24.166	3.207	77.488	0.721	0.000
04:36:00 p. m.	24.073	3.067	73.931	0.723	0.000
04:37:00 p. m.	24.062	3.164	76.104	0.723	0.000
04:38:00 p. m.	24.131	3.014	72.701	0.723	0.000
04:39:00 p. m.	24.124	3.099	74.773	0.724	0.000
04:40:00 p. m.	24.144	2.874	69.406	0.724	0.000
04:41:00 p. m.	24.074	3.054	73.527	0.725	0.000
04:42:00 p. m.	24.132	2.831	68.345	0.725	0.000
04:43:00 p. m.	24.190	2.931	70.871	0.726	0.000
04:44:00 p. m.	24.072	2.810	67.658	0.726	0.000
04:45:00 p. m.	24.060	2.775	66.748	0.727	0.000
04:46:00 p. m.	24.129	2.800	67.599	0.728	0.000
04:47:00 p. m.	24.133	2.740	66.149	0.728	0.000
04:48:00 p. m.	24.102	2.802	67.556	0.729	0.000
04:49:00 p. m.	24.174	2.700	65.247	0.729	0.000
04:50:00 p. m.	24.111	2.838	68.422	0.729	0.000
04:51:00 p. m.	24.112	2.680	64.624	0.730	0.000
04:52:00 p. m.	24.212	2.646	64.069	0.732	0.000
04:53:00 p. m.	24.144	2.637	63.666	0.732	0.000
04:54:00 p. m.	24.138	2.634	63.591	0.732	0.000
04:55:00 p. m.	24.198	2.512	60.756	0.732	0.000
04:56:00 p. m.	24.105	2.531	61.011	0.733	0.000
04:57:00 p. m.	24.094	2.389	57.577	0.734	0.000
04:58:00 p. m.	24.010	2.469	59.271	0.734	0.000
04:59:00 p. m.	24.102	2.372	57.181	0.735	0.000
05:00:00 p. m.	24.160	2.380	57.537	0.735	0.000
05:01:00 p. m.	24.041	2.367	56.920	0.735	0.000
05:02:00 p. m.	24.114	2.415	58.297	0.736	0.000
05:03:00 p. m.	24.091	2.471	59.568	0.737	0.000

05:04:00 p. m.	24.076	2.412	58.100	0.737	0.000
05:05:00 p. m.	24.076	2.381	57.366	0.737	0.000
05:06:00 p. m.	24.099	2.318	55.905	0.738	0.000
05:07:00 p. m.	24.089	2.392	57.650	0.739	0.000
05:08:00 p. m.	24.040	2.309	55.516	0.739	0.000
05:09:00 p. m.	24.067	2.337	56.265	0.739	0.000
05:10:00 p. m.	24.085	2.339	56.375	0.740	0.000
05:11:00 p. m.	24.085	2.225	53.617	0.740	0.000
05:12:00 p. m.	24.065	2.286	55.030	0.741	0.000
05:13:00 p. m.	24.042	2.242	53.908	0.741	0.000
05:14:00 p. m.	24.058	2.264	54.490	0.742	0.000
05:15:00 p. m.	24.064	2.264	54.497	0.742	0.000
05:16:00 p. m.	24.069	2.263	54.467	0.742	0.000
05:17:00 p. m.	24.069	2.208	53.159	0.743	0.000
05:18:00 p. m.	24.075	2.234	53.800	0.743	0.000
05:19:00 p. m.	24.052	2.193	52.747	0.744	0.000
05:20:00 p. m.	24.081	2.173	52.357	0.744	0.000
05:21:00 p. m.	24.082	2.100	50.586	0.744	0.000
05:22:00 p. m.	24.067	2.084	50.181	0.744	0.000
05:23:00 p. m.	24.063	2.018	48.583	0.745	0.000
05:24:00 p. m.	24.045	1.952	46.940	0.746	0.000
05:25:00 p. m.	24.069	1.880	45.288	0.747	0.000
05:26:00 p. m.	24.069	1.834	44.160	0.747	0.000
05:27:00 p. m.	24.063	1.765	42.489	0.748	0.000
05:28:00 p. m.	24.053	1.696	40.816	0.748	0.000
05:29:00 p. m.	24.035	1.718	41.297	0.748	0.000
05:30:00 p. m.	24.053	1.605	38.646	0.748	0.000
05:31:00 p. m.	24.066	1.734	41.763	0.748	0.000
05:32:00 p. m.	24.054	1.641	39.493	0.749	0.000
05:33:00 p. m.	24.068	1.643	39.570	0.749	0.000
05:34:00 p. m.	24.064	1.713	41.238	0.749	0.000
05:35:00 p. m.	24.048	1.572	37.817	0.750	0.000
05:36:00 p. m.	24.063	1.712	41.224	0.750	0.000
05:37:00 p. m.	24.052	1.636	39.359	0.751	0.000
05:38:00 p. m.	24.048	1.555	37.390	0.751	0.000
05:39:00 p. m.	24.049	1.510	36.333	0.751	0.000
05:40:00 p. m.	24.048	1.450	34.876	0.752	0.000
05:41:00 p. m.	24.064	1.559	37.527	0.752	0.000
05:42:00 p. m.	24.030	1.362	32.725	0.752	0.000
05:43:00 p. m.	24.048	1.578	37.956	0.752	0.000
05:44:00 p. m.	24.043	1.381	33.207	0.752	0.000
05:45:00 p. m.	24.060	1.542	37.129	0.752	0.000
05:46:00 p. m.	24.047	1.321	31.783	0.752	0.000
05:47:00 p. m.	24.039	1.447	34.781	0.753	0.000
05:48:00 p. m.	24.038	1.258	30.264	0.754	0.000
05:49:00 p. m.	24.052	1.434	34.509	0.754	0.000
05:50:00 p. m.	24.047	1.272	30.612	0.754	0.000
05:51:00 p. m.	24.053	1.302	31.338	0.755	0.000
05:52:00 p. m.	24.042	1.452	34.899	0.755	0.000
05:53:00 p. m.	24.043	1.279	30.757	0.756	0.000
05:54:00 p. m.	24.029	1.304	31.350	0.756	0.000
05:55:00 p. m.	24.048	1.259	30.290	0.756	0.000
05:56:00 p. m.	24.050	1.212	29.162	0.756	0.000
05:57:00 p. m.	24.047	1.082	26.020	0.756	0.000
05:58:00 p. m.	24.013	1.051	25.231	0.756	0.000
05:59:00 p. m.	24.035	0.974	23.430	0.757	0.000

06:00:00 p. m.	24.026	1.002	24.081	0.757	0.000
06:01:00 p. m.	24.026	0.877	21.077	0.757	0.014
06:02:00 p. m.	17.046	0.927	17.096	0.757	0.013
06:03:00 p. m.	21.660	0.837	18.456	0.758	0.015
06:04:00 p. m.	17.039	0.888	16.145	0.758	0.017
06:05:00 p. m.	21.655	0.885	19.591	0.758	0.016
06:06:00 p. m.	17.029	0.888	16.136	0.758	0.020
06:07:00 p. m.	21.653	0.866	19.131	0.758	0.018
06:08:00 p. m.	19.258	0.897	19.882	0.758	0.018
06:09:00 p. m.	21.651	0.872	19.286	0.758	0.016
06:10:00 p. m.	19.263	0.875	19.353	0.758	0.019
06:11:00 p. m.	21.648	0.854	18.836	0.758	0.025
06:12:00 p. m.	19.259	0.811	17.821	0.758	0.023
06:13:00 p. m.	21.645	0.873	19.301	0.759	0.026
06:14:00 p. m.	19.259	0.822	18.092	0.759	0.029
06:15:00 p. m.	21.646	0.844	18.596	0.759	0.028
06:16:00 p. m.	19.252	0.804	17.642	0.759	0.027
06:17:00 p. m.	21.635	0.830	18.258	0.760	0.030
06:18:00 p. m.	19.256	0.793	17.394	0.760	0.027
06:19:00 p. m.	21.641	0.785	17.194	0.760	0.034
06:20:00 p. m.	19.252	0.738	16.062	0.760	0.037
06:21:00 p. m.	21.633	0.732	15.897	0.760	0.035
06:22:00 p. m.	19.249	0.708	15.341	0.760	0.038
06:23:00 p. m.	21.640	0.684	14.748	0.760	0.037
06:24:00 p. m.	19.249	0.685	14.789	0.760	0.042
06:25:00 p. m.	21.635	0.645	13.811	0.760	0.042
06:26:00 p. m.	21.633	0.665	14.295	0.760	0.040
06:27:00 p. m.	21.635	0.589	12.463	0.760	0.042
06:28:00 p. m.	21.630	0.649	13.917	0.760	0.044
06:29:00 p. m.	21.634	0.593	12.577	0.760	0.047
06:30:00 p. m.	21.632	0.529	12.701	0.761	0.047
06:31:00 p. m.	21.629	0.530	12.724	0.761	0.048
06:32:00 p. m.	21.632	0.488	11.713	0.761	0.046
06:33:00 p. m.	21.629	0.463	11.104	0.762	0.051
06:34:00 p. m.	21.633	0.471	11.313	0.762	0.047
06:35:00 p. m.	21.629	0.342	8.212	0.762	0.049
06:36:00 p. m.	21.629	0.378	9.065	0.762	0.048
06:37:00 p. m.	21.627	0.303	7.257	0.762	0.052
06:38:00 p. m.	21.626	0.376	9.015	0.762	0.058
06:39:00 p. m.	21.623	0.264	6.322	0.762	0.054
06:40:00 p. m.	21.622	0.304	7.295	0.763	0.056
06:41:00 p. m.	21.626	0.290	6.969	0.763	0.060
06:42:00 p. m.	21.622	0.293	7.030	0.763	0.063
06:43:00 p. m.	21.621	0.268	6.434	0.763	0.066
06:44:00 p. m.	21.620	0.289	6.925	0.763	0.058
06:45:00 p. m.	21.623	0.262	6.281	0.763	0.064
06:46:00 p. m.	21.620	0.216	5.176	0.763	0.062
06:47:00 p. m.	21.621	0.200	4.784	0.763	0.064
06:48:00 p. m.	21.619	0.188	4.502	0.763	0.064
06:49:00 p. m.	21.623	0.208	4.978	0.763	0.068
06:50:00 p. m.	21.619	0.234	5.601	0.763	0.067
06:51:00 p. m.	21.622	0.196	4.703	0.763	0.070
06:52:00 p. m.	21.619	0.222	5.328	0.763	0.069
06:53:00 p. m.	21.619	0.168	4.016	0.763	0.069
06:54:00 p. m.	21.620	0.220	5.285	0.763	0.074
06:55:00 p. m.	21.618	0.220	5.283	0.763	0.073

06:56:00 p. m.	21.619	0.203	4.876	0.763	0.078
06:57:00 p. m.	21.615	0.209	5.003	0.763	0.080
06:58:00 p. m.	21.617	0.228	5.472	0.763	0.082
06:59:00 p. m.	21.621	0.228	5.476	0.763	0.077
07:00:00 p. m.	21.619	0.215	5.157	0.763	0.084
07:01:00 p. m.	21.617	0.206	4.944	0.763	0.083
07:02:00 p. m.	21.617	0.184	4.419	0.763	0.087
07:03:00 p. m.	21.614	0.205	4.910	0.763	0.083
07:04:00 p. m.	21.614	0.165	3.943	0.763	0.086
07:05:00 p. m.	21.613	0.205	4.902	0.763	0.088
07:06:00 p. m.	21.612	0.142	3.399	0.764	0.089
07:07:00 p. m.	21.610	0.178	4.253	0.764	0.089
07:08:00 p. m.	21.609	0.120	2.880	0.764	0.093
07:09:00 p. m.	21.610	0.165	3.951	0.764	0.093
07:10:00 p. m.	21.608	0.120	2.880	0.764	0.093
07:11:00 p. m.	21.608	0.152	3.631	0.764	0.096
07:12:00 p. m.	21.607	0.120	2.879	0.764	0.094
07:13:00 p. m.	21.607	0.145	3.460	0.764	0.097
07:14:00 p. m.	21.605	0.120	2.879	0.764	0.097
07:15:00 p. m.	21.606	0.161	3.845	0.764	0.098
07:16:00 p. m.	21.605	0.137	3.273	0.764	0.101
07:17:00 p. m.	21.606	0.144	3.444	0.764	0.102
07:18:00 p. m.	21.605	0.129	3.095	0.764	0.100
07:19:00 p. m.	21.605	0.120	2.879	0.764	0.104
07:20:00 p. m.	21.604	0.120	2.879	0.764	0.107
07:21:00 p. m.	21.604	0.120	2.878	0.764	0.105
07:22:00 p. m.	21.603	0.120	2.879	0.764	0.106
07:23:00 p. m.	21.604	0.120	2.878	0.764	0.108
07:24:00 p. m.	21.602	0.102	2.436	0.764	0.110
07:25:00 p. m.	21.603	0.102	2.436	0.764	0.111
07:26:00 p. m.	21.601	0.083	1.994	0.764	0.112
07:27:00 p. m.	21.602	0.065	1.552	0.764	0.113
07:28:00 p. m.	21.600	0.046	1.110	0.764	0.115
07:29:00 p. m.	21.601	0.028	0.668	0.764	0.118
07:30:00 p. m.	21.599	0.026	0.624	0.764	0.119
07:31:00 p. m.	21.600	0.011	0.264	0.764	0.121
07:32:00 p. m.	21.598	0.009	0.219	0.764	0.122
07:33:00 p. m.	21.599	0.007	0.175	0.764	0.122
07:34:00 p. m.	21.597	0.005	0.131	0.764	0.123
07:35:00 p. m.	21.598	0.004	0.087	0.764	0.127
07:36:00 p. m.	21.596	0.002	0.043	0.764	0.125
07:37:00 p. m.	21.597	0.002	0.038	0.764	0.124
07:38:00 p. m.	21.595	0.001	0.034	0.764	0.129
07:39:00 p. m.	21.595	0.001	0.034	0.764	0.129
07:40:00 p. m.	21.595	0.001	0.034	0.764	0.131
07:41:00 p. m.	21.594	0.001	0.029	0.764	0.129
07:42:00 p. m.	21.593	0.001	0.025	0.764	0.130
07:43:00 p. m.	21.593	0.001	0.021	0.764	0.137
07:44:00 p. m.	21.592	0.001	0.021	0.764	0.133
07:45:00 p. m.	21.592	0.001	0.021	0.764	0.135
07:46:00 p. m.	21.591	0.001	0.021	0.764	0.134
07:47:00 p. m.	21.590	0.001	0.021	0.764	0.134
07:48:00 p. m.	21.590	0.001	0.016	0.764	0.140
07:49:00 p. m.	21.589	0.000	0.003	0.764	0.140
07:50:00 p. m.	21.588	0.000	0.003	0.764	0.142
07:51:00 p. m.	21.588	0.000	0.002	0.764	0.142

07:52:00 p. m.	21.587	0.000	0.002	0.764	0.144
07:53:00 p. m.	21.587	0.000	0.000	0.764	0.146
07:54:00 p. m.	21.586	0.000	0.000	0.764	0.146
07:55:00 p. m.	21.586	0.000	0.000	0.764	0.149
07:56:00 p. m.	21.584	0.000	0.000	0.764	0.146
07:57:00 p. m.	21.585	0.000	0.000	0.764	0.148
07:58:00 p. m.	21.582	0.000	0.000	0.764	0.146
07:59:00 p. m.	21.584	0.000	0.000	0.764	0.153
08:00:00 p. m.	21.582	0.000	0.000	0.764	0.153
08:01:00 p. m.	21.582	0.000	0.000	0.764	0.154
08:02:00 p. m.	21.580	0.000	0.000	0.764	0.153
08:03:00 p. m.	21.581	0.000	0.000	0.764	0.156
08:04:00 p. m.	21.579	0.000	0.000	0.764	0.160
08:05:00 p. m.	21.580	0.000	0.000	0.764	0.155
08:06:00 p. m.	21.577	0.000	0.000	0.764	0.161
08:07:00 p. m.	21.579	0.000	0.000	0.764	0.163
08:08:00 p. m.	21.575	0.000	0.000	0.764	0.161
08:09:00 p. m.	21.578	0.000	0.000	0.764	0.164
08:10:00 p. m.	21.574	0.000	0.000	0.764	0.165
08:11:00 p. m.	21.577	0.000	0.000	0.764	0.165
08:12:00 p. m.	21.573	0.000	0.000	0.764	0.165
08:13:00 p. m.	21.575	0.000	0.000	0.764	0.168
08:14:00 p. m.	21.572	0.000	0.000	0.764	0.168
08:15:00 p. m.	21.574	0.000	0.000	0.764	0.167
08:16:00 p. m.	21.570	0.000	0.000	0.764	0.171
08:17:00 p. m.	21.572	0.000	0.000	0.764	0.171
08:18:00 p. m.	21.569	0.000	0.000	0.764	0.167
08:19:00 p. m.	21.571	0.000	0.000	0.764	0.175
08:20:00 p. m.	21.568	0.000	0.000	0.764	0.175
08:21:00 p. m.	21.569	0.000	0.000	0.764	0.172
08:22:00 p. m.	21.565	0.000	0.000	0.764	0.180
08:23:00 p. m.	21.568	0.000	0.000	0.764	0.182
08:24:00 p. m.	21.564	0.000	0.000	0.764	0.179
08:25:00 p. m.	21.565	0.000	0.000	0.764	0.182
08:26:00 p. m.	21.564	0.000	0.000	0.764	0.181
08:27:00 p. m.	21.563	0.000	0.000	0.764	0.189
08:28:00 p. m.	21.563	0.000	0.000	0.764	0.188
08:29:00 p. m.	21.562	0.000	0.000	0.764	0.191
08:30:00 p. m.	21.563	0.000	0.000	0.764	0.190
08:31:00 p. m.	21.563	0.000	0.000	0.764	0.187
08:32:00 p. m.	21.563	0.000	0.000	0.764	0.191
08:33:00 p. m.	23.930	0.000	0.000	0.764	0.187
08:34:00 p. m.	23.930	0.000	0.000	0.764	0.193
08:35:00 p. m.	23.930	0.000	0.000	0.764	0.196
08:36:00 p. m.	23.930	0.000	0.000	0.764	0.198
08:37:00 p. m.	23.929	0.000	0.000	0.764	0.196
08:38:00 p. m.	23.929	0.000	0.000	0.764	0.196
08:39:00 p. m.	23.928	0.000	0.000	0.764	0.199
08:40:00 p. m.	23.928	0.000	0.000	0.764	0.204
08:41:00 p. m.	23.928	0.000	0.000	0.764	0.203
08:42:00 p. m.	23.928	0.000	0.000	0.764	0.200
08:43:00 p. m.	23.927	0.000	0.000	0.764	0.207
08:44:00 p. m.	23.928	0.000	0.000	0.764	0.201
08:45:00 p. m.	23.926	0.000	0.000	0.764	0.210
08:46:00 p. m.	23.927	0.000	0.000	0.764	0.206
08:47:00 p. m.	23.925	0.000	0.000	0.764	0.210

08:48:00 p. m.	23.926	0.000	0.000	0.764	0.210
08:49:00 p. m.	23.925	0.000	0.000	0.764	0.214
08:50:00 p. m.	23.925	0.000	0.000	0.764	0.212
08:51:00 p. m.	23.924	0.000	0.000	0.764	0.213
08:52:00 p. m.	23.924	0.000	0.000	0.764	0.213
08:53:00 p. m.	23.923	0.000	0.000	0.764	0.217
08:54:00 p. m.	23.923	0.000	0.000	0.764	0.218
08:55:00 p. m.	23.922	0.000	0.000	0.764	0.217
08:56:00 p. m.	23.922	0.000	0.000	0.764	0.220
08:57:00 p. m.	23.921	0.000	0.000	0.764	0.222
08:58:00 p. m.	23.921	0.000	0.000	0.764	0.229
08:59:00 p. m.	23.920	0.000	0.000	0.764	0.223
09:00:00 p. m.	23.921	0.000	0.000	0.764	0.225
09:01:00 p. m.	23.921	0.000	0.000	0.764	0.223
09:02:00 p. m.	23.920	0.000	0.000	0.764	0.229
09:03:00 p. m.	23.920	0.000	0.000	0.764	0.223
09:04:00 p. m.	23.919	0.000	0.000	0.764	0.230
09:05:00 p. m.	23.920	0.000	0.000	0.764	0.231
09:06:00 p. m.	23.919	0.000	0.000	0.764	0.229
09:07:00 p. m.	23.919	0.000	0.000	0.764	0.231
09:08:00 p. m.	23.919	0.000	0.000	0.764	0.235
09:09:00 p. m.	23.919	0.000	0.000	0.764	0.235
09:10:00 p. m.	23.919	0.000	0.000	0.764	0.239
09:11:00 p. m.	23.919	0.000	0.000	0.764	0.240
09:12:00 p. m.	23.918	0.000	0.000	0.764	0.240
09:13:00 p. m.	23.918	0.000	0.000	0.764	0.237
09:14:00 p. m.	23.918	0.000	0.000	0.764	0.239
09:15:00 p. m.	23.918	0.000	0.000	0.764	0.242
09:16:00 p. m.	23.918	0.000	0.000	0.764	0.245
09:17:00 p. m.	23.918	0.000	0.000	0.764	0.242
09:18:00 p. m.	23.917	0.000	0.000	0.764	0.250
09:19:00 p. m.	23.917	0.000	0.000	0.764	0.246
09:20:00 p. m.	23.917	0.000	0.000	0.764	0.248
09:21:00 p. m.	23.916	0.000	0.000	0.764	0.249
09:22:00 p. m.	23.916	0.000	0.000	0.764	0.249
09:23:00 p. m.	23.916	0.000	0.000	0.764	0.248
09:24:00 p. m.	23.915	0.000	0.000	0.764	0.254
09:25:00 p. m.	23.915	0.000	0.000	0.764	0.256
09:26:00 p. m.	23.914	0.000	0.000	0.764	0.253
09:27:00 p. m.	23.914	0.000	0.000	0.764	0.256
09:28:00 p. m.	23.913	0.000	0.000	0.764	0.255
09:29:00 p. m.	23.913	0.000	0.000	0.764	0.258
09:30:00 p. m.	23.912	0.000	0.000	0.764	0.258
09:31:00 p. m.	23.913	0.000	0.000	0.764	0.262
09:32:00 p. m.	23.911	0.000	0.000	0.764	0.261
09:33:00 p. m.	23.911	0.000	0.000	0.764	0.262
09:34:00 p. m.	23.911	0.000	0.000	0.764	0.266
09:35:00 p. m.	23.910	0.000	0.000	0.764	0.265
09:36:00 p. m.	23.910	0.000	0.000	0.764	0.269
09:37:00 p. m.	23.908	0.000	0.000	0.764	0.267
09:38:00 p. m.	23.908	0.000	0.000	0.764	0.271
09:39:00 p. m.	23.908	0.000	0.000	0.764	0.272
09:40:00 p. m.	23.907	0.000	0.000	0.764	0.276
09:41:00 p. m.	23.906	0.000	0.000	0.764	0.272
09:42:00 p. m.	23.906	0.000	0.000	0.764	0.273
09:43:00 p. m.	23.906	0.000	0.000	0.764	0.274

09:44:00 p. m.	23.905	0.000	0.000	0.764	0.279
09:45:00 p. m.	23.905	0.000	0.000	0.764	0.280
09:46:00 p. m.	23.904	0.000	0.000	0.764	0.278
09:47:00 p. m.	23.904	0.000	0.000	0.764	0.278
09:48:00 p. m.	23.903	0.000	0.000	0.764	0.281
09:49:00 p. m.	23.903	0.000	0.000	0.764	0.285
09:50:00 p. m.	23.902	0.000	0.000	0.764	0.281
09:51:00 p. m.	23.903	0.000	0.000	0.764	0.284
09:52:00 p. m.	23.901	0.000	0.000	0.764	0.286
09:53:00 p. m.	23.902	0.000	0.000	0.764	0.289
09:54:00 p. m.	23.901	0.000	0.000	0.764	0.287
09:55:00 p. m.	23.902	0.000	0.000	0.764	0.290
09:56:00 p. m.	23.901	0.000	0.000	0.764	0.290
09:57:00 p. m.	23.901	0.000	0.000	0.764	0.294
09:58:00 p. m.	23.900	0.000	0.000	0.764	0.294
09:59:00 p. m.	23.900	0.000	0.000	0.764	0.298
10:00:00 p. m.	23.898	0.000	0.000	0.764	0.295
10:01:00 p. m.	23.898	0.000	0.000	0.764	0.297
10:02:00 p. m.	23.898	0.000	0.000	0.764	0.294
10:03:00 p. m.	23.898	0.000	0.000	0.764	0.300
10:04:00 p. m.	23.898	0.000	0.000	0.764	0.303
10:05:00 p. m.	23.897	0.000	0.000	0.764	0.302
10:06:00 p. m.	23.896	0.000	0.000	0.764	0.299
10:07:00 p. m.	23.896	0.000	0.000	0.764	0.306
10:08:00 p. m.	23.896	0.000	0.000	0.764	0.303
10:09:00 p. m.	23.895	0.000	0.000	0.764	0.308
10:10:00 p. m.	23.895	0.000	0.000	0.764	0.309
10:11:00 p. m.	23.895	0.000	0.000	0.764	0.312
10:12:00 p. m.	23.895	0.000	0.000	0.764	0.307
10:13:00 p. m.	23.895	0.000	0.000	0.764	0.307
10:14:00 p. m.	23.895	0.000	0.000	0.764	0.310
10:15:00 p. m.	23.894	0.000	0.000	0.764	0.311
10:16:00 p. m.	23.894	0.000	0.000	0.764	0.319
10:17:00 p. m.	23.893	0.000	0.000	0.764	0.315
10:18:00 p. m.	23.893	0.000	0.000	0.764	0.319
10:19:00 p. m.	23.892	0.000	0.000	0.764	0.315
10:20:00 p. m.	23.891	0.000	0.000	0.764	0.323
10:21:00 p. m.	23.890	0.000	0.000	0.764	0.320
10:22:00 p. m.	23.890	0.000	0.000	0.764	0.324
10:23:00 p. m.	23.890	0.000	0.000	0.764	0.325
10:24:00 p. m.	23.888	0.000	0.000	0.764	0.323
10:25:00 p. m.	23.888	0.000	0.000	0.764	0.325
10:26:00 p. m.	23.886	0.000	0.000	0.764	0.328
10:27:00 p. m.	23.886	0.000	0.000	0.764	0.325
10:28:00 p. m.	23.885	0.000	0.000	0.764	0.329
10:29:00 p. m.	23.885	0.000	0.000	0.764	0.328
10:30:00 p. m.	23.884	0.000	0.000	0.764	0.330
10:31:00 p. m.	23.885	0.000	0.000	0.764	0.332
10:32:00 p. m.	23.882	0.000	0.000	0.764	0.334
10:33:00 p. m.	23.884	0.000	0.000	0.764	0.331
10:34:00 p. m.	23.881	0.000	0.000	0.764	0.336
10:35:00 p. m.	23.883	0.000	0.000	0.764	0.340
10:36:00 p. m.	23.880	0.000	0.000	0.764	0.334
10:37:00 p. m.	23.882	0.000	0.000	0.764	0.338
10:38:00 p. m.	23.880	0.000	0.000	0.764	0.340
10:39:00 p. m.	23.881	0.000	0.000	0.764	0.344

10:40:00 p. m.	23.879	0.000	0.000	0.764	0.342
10:41:00 p. m.	23.880	0.000	0.000	0.764	0.346
10:42:00 p. m.	23.877	0.000	0.000	0.764	0.348
10:43:00 p. m.	23.879	0.000	0.000	0.764	0.349
10:44:00 p. m.	23.876	0.000	0.000	0.764	0.343
10:45:00 p. m.	23.877	0.000	0.000	0.764	0.352
10:46:00 p. m.	23.875	0.000	0.000	0.764	0.355
10:47:00 p. m.	23.875	0.000	0.000	0.764	0.349
10:48:00 p. m.	23.874	0.000	0.000	0.764	0.355
10:49:00 p. m.	23.875	0.000	0.000	0.764	0.350
10:50:00 p. m.	23.874	0.000	0.000	0.764	0.355
10:51:00 p. m.	23.873	0.000	0.000	0.764	0.361
10:52:00 p. m.	23.873	0.000	0.000	0.764	0.353
10:53:00 p. m.	23.873	0.000	0.000	0.764	0.361
10:54:00 p. m.	23.872	0.000	0.000	0.764	0.356
10:55:00 p. m.	23.872	0.000	0.000	0.764	0.360
10:56:00 p. m.	23.871	0.000	0.000	0.764	0.359
10:57:00 p. m.	23.872	0.000	0.000	0.764	0.364
10:58:00 p. m.	23.870	0.000	0.000	0.764	0.361
10:59:00 p. m.	23.871	0.000	0.000	0.764	0.363
11:00:00 p. m.	23.869	0.000	0.000	0.764	0.364
11:01:00 p. m.	23.870	0.000	0.000	0.764	0.369
11:02:00 p. m.	23.868	0.000	0.000	0.764	0.369
11:03:00 p. m.	23.869	0.000	0.000	0.764	0.369
11:04:00 p. m.	23.867	0.000	0.000	0.764	0.372
11:05:00 p. m.	23.868	0.000	0.000	0.764	0.375
11:06:00 p. m.	23.866	0.000	0.000	0.764	0.373
11:07:00 p. m.	23.868	0.000	0.000	0.764	0.378
11:08:00 p. m.	23.866	0.000	0.000	0.764	0.379
11:09:00 p. m.	23.867	0.000	0.000	0.764	0.379
11:10:00 p. m.	23.864	0.000	0.000	0.764	0.376
11:11:00 p. m.	23.865	0.000	0.000	0.764	0.378
11:12:00 p. m.	23.862	0.000	0.000	0.764	0.382
11:13:00 p. m.	23.865	0.000	0.000	0.764	0.382
11:14:00 p. m.	23.861	0.000	0.000	0.764	0.382
11:15:00 p. m.	23.864	0.000	0.000	0.764	0.383
11:16:00 p. m.	23.860	0.000	0.000	0.764	0.387
11:17:00 p. m.	23.863	0.000	0.000	0.764	0.387
11:18:00 p. m.	23.860	0.000	0.000	0.764	0.385
11:19:00 p. m.	23.862	0.000	0.000	0.764	0.384
11:20:00 p. m.	23.859	0.000	0.000	0.764	0.392
11:21:00 p. m.	23.860	0.000	0.000	0.764	0.387
11:22:00 p. m.	23.858	0.004	0.090	0.764	0.393
11:23:00 p. m.	23.860	0.004	0.090	0.764	0.387
11:24:00 p. m.	23.857	0.004	0.090	0.764	0.390
11:25:00 p. m.	23.858	0.004	0.090	0.764	0.399
11:26:00 p. m.	23.856	0.004	0.090	0.764	0.397
11:27:00 p. m.	23.857	0.004	0.090	0.764	0.398
11:28:00 p. m.	23.855	0.004	0.090	0.764	0.398
11:29:00 p. m.	23.856	0.004	0.090	0.764	0.396
11:30:00 p. m.	23.854	0.004	0.090	0.764	0.401
11:31:00 p. m.	23.856	0.004	0.090	0.764	0.403
11:32:00 p. m.	23.854	0.004	0.090	0.764	0.405
11:33:00 p. m.	23.855	0.004	0.090	0.764	0.401
11:34:00 p. m.	23.853	0.004	0.090	0.764	0.407
11:35:00 p. m.	23.854	0.004	0.090	0.764	0.408

11:36:00 p. m.	23.852	0.004	0.090	0.764	0.410
11:37:00 p. m.	23.853	0.004	0.090	0.764	0.412
11:38:00 p. m.	23.851	0.004	0.090	0.764	0.416
11:39:00 p. m.	23.852	0.004	0.090	0.764	0.413
11:40:00 p. m.	23.850	0.004	0.090	0.764	0.417
11:41:00 p. m.	23.850	0.004	0.090	0.764	0.418
11:42:00 p. m.	23.848	0.004	0.090	0.764	0.416
11:43:00 p. m.	23.850	0.004	0.090	0.764	0.420
11:44:00 p. m.	23.848	0.004	0.090	0.764	0.419
11:45:00 p. m.	23.848	0.004	0.090	0.764	0.418
11:46:00 p. m.	23.847	0.004	0.090	0.764	0.422
11:47:00 p. m.	23.847	0.004	0.090	0.764	0.423
11:48:00 p. m.	23.845	0.004	0.090	0.764	0.427
11:49:00 p. m.	23.847	0.004	0.090	0.764	0.425
11:50:00 p. m.	23.844	0.004	0.090	0.764	0.424
11:51:00 p. m.	23.845	0.004	0.090	0.764	0.429
11:52:00 p. m.	23.842	0.004	0.090	0.764	0.424
11:53:00 p. m.	23.845	0.004	0.090	0.764	0.432
11:54:00 p. m.	23.840	0.004	0.090	0.764	0.429
11:55:00 p. m.	23.844	0.004	0.090	0.764	0.431
11:56:00 p. m.	23.839	0.004	0.090	0.764	0.432
11:57:00 p. m.	23.842	0.004	0.090	0.764	0.439
11:58:00 p. m.	23.837	0.004	0.090	0.764	0.439
11:59:00 p. m.	23.841	0.004	0.090	0.764	0.436
12:00:00 a. m.	23.835	0.004	0.090	0.764	0.436
12:01:00 a. m.	23.839	0.004	0.090	0.764	0.438
12:02:00 a. m.	23.833	0.004	0.090	0.764	0.442
12:03:00 a. m.	23.837	0.004	0.090	0.764	0.442
12:04:00 a. m.	23.831	0.004	0.090	0.764	0.443
12:05:00 a. m.	23.836	0.004	0.090	0.764	0.447
12:06:00 a. m.	23.830	0.004	0.090	0.764	0.448
12:07:00 a. m.	23.834	0.004	0.090	0.764	0.449
12:08:00 a. m.	23.828	0.004	0.090	0.764	0.442
12:09:00 a. m.	23.833	0.004	0.090	0.764	0.450
12:10:00 a. m.	23.827	0.004	0.090	0.764	0.453
12:11:00 a. m.	23.832	0.004	0.090	0.764	0.451
12:12:00 a. m.	23.826	0.004	0.090	0.764	0.453
12:13:00 a. m.	23.830	0.004	0.090	0.764	0.451
12:14:00 a. m.	23.825	0.004	0.090	0.764	0.451
12:15:00 a. m.	23.828	0.004	0.090	0.764	0.454
12:16:00 a. m.	23.823	0.004	0.090	0.764	0.455
12:17:00 a. m.	23.827	0.004	0.090	0.764	0.455
12:18:00 a. m.	23.821	0.004	0.090	0.764	0.462
12:19:00 a. m.	23.826	0.004	0.090	0.764	0.461
12:20:00 a. m.	23.820	0.004	0.090	0.764	0.462
12:21:00 a. m.	23.825	0.004	0.090	0.764	0.463
12:22:00 a. m.	23.819	0.004	0.090	0.764	0.460
12:23:00 a. m.	23.824	0.004	0.090	0.764	0.461
12:24:00 a. m.	23.818	0.004	0.090	0.764	0.465
12:25:00 a. m.	23.821	0.004	0.090	0.764	0.468
12:26:00 a. m.	23.818	0.004	0.090	0.764	0.468
12:27:00 a. m.	23.820	0.004	0.090	0.764	0.470
12:28:00 a. m.	23.817	0.004	0.090	0.764	0.473
12:29:00 a. m.	23.818	0.004	0.090	0.764	0.470
12:30:00 a. m.	23.816	0.004	0.090	0.764	0.471
12:31:00 a. m.	23.817	0.004	0.090	0.764	0.473

12:32:00 a. m.	23.774	0.000	0.000	0.792	0.474
12:33:00 a. m.	23.775	0.000	0.000	0.792	0.475
12:34:00 a. m.	23.772	0.000	0.000	0.792	0.475
12:35:00 a. m.	23.772	0.000	0.000	0.792	0.478
12:36:00 a. m.	23.769	0.000	0.000	0.792	0.481
12:37:00 a. m.	23.770	0.000	0.000	0.792	0.483
12:38:00 a. m.	23.767	0.000	0.000	0.792	0.485
12:39:00 a. m.	23.767	0.000	0.000	0.792	0.479
12:40:00 a. m.	23.764	0.000	0.000	0.792	0.481
12:41:00 a. m.	23.765	0.000	0.000	0.792	0.488
12:42:00 a. m.	23.762	0.000	0.000	0.792	0.490
12:43:00 a. m.	23.763	0.000	0.000	0.792	0.487
12:44:00 a. m.	23.758	0.000	0.000	0.792	0.490
12:45:00 a. m.	23.761	0.000	0.000	0.792	0.490
12:46:00 a. m.	23.755	0.000	0.000	0.792	0.494
12:47:00 a. m.	23.758	0.000	0.000	0.792	0.493
12:48:00 a. m.	23.753	0.000	0.000	0.792	0.494
12:49:00 a. m.	23.756	0.000	0.000	0.792	0.500
12:50:00 a. m.	23.750	0.000	0.000	0.792	0.497
12:51:00 a. m.	23.754	0.000	0.000	0.792	0.500
12:52:00 a. m.	23.749	0.000	0.000	0.792	0.495
12:53:00 a. m.	23.751	0.000	0.000	0.792	0.501
12:54:00 a. m.	23.748	0.000	0.000	0.792	0.505
12:55:00 a. m.	23.749	0.000	0.000	0.792	0.500
12:56:00 a. m.	23.745	0.000	0.000	0.792	0.504
12:57:00 a. m.	23.747	0.000	0.000	0.792	0.503
12:58:00 a. m.	23.744	0.000	0.000	0.792	0.507
12:59:00 a. m.	23.746	0.000	0.000	0.792	0.506
01:00:00 a. m.	23.740	0.000	0.000	0.792	0.507
01:01:00 a. m.	23.744	0.000	0.000	0.792	0.510
01:02:00 a. m.	23.738	0.000	0.000	0.792	0.509
01:03:00 a. m.	23.741	0.000	0.000	0.792	0.512
01:04:00 a. m.	23.736	0.000	0.000	0.792	0.511
01:05:00 a. m.	23.738	0.000	0.000	0.792	0.512
01:06:00 a. m.	23.733	0.000	0.000	0.792	0.513
01:07:00 a. m.	23.736	0.000	0.000	0.792	0.518
01:08:00 a. m.	23.732	0.000	0.000	0.792	0.520
01:09:00 a. m.	23.735	0.000	0.000	0.792	0.519
01:10:00 a. m.	23.729	0.000	0.000	0.792	0.525
01:11:00 a. m.	23.732	0.000	0.000	0.792	0.519
01:12:00 a. m.	23.726	0.000	0.000	0.792	0.522
01:13:00 a. m.	23.729	0.000	0.000	0.792	0.522
01:14:00 a. m.	23.724	0.000	0.000	0.792	0.527
01:15:00 a. m.	23.727	0.000	0.000	0.792	0.527
01:16:00 a. m.	23.723	0.000	0.000	0.792	0.530
01:17:00 a. m.	23.724	0.000	0.000	0.792	0.526
01:18:00 a. m.	23.720	0.000	0.000	0.792	0.530
01:19:00 a. m.	23.721	0.000	0.000	0.792	0.531
01:20:00 a. m.	23.718	0.000	0.000	0.792	0.534
01:21:00 a. m.	23.719	0.000	0.000	0.792	0.535
01:22:00 a. m.	23.717	0.000	0.000	0.792	0.535
01:23:00 a. m.	23.718	0.000	0.000	0.792	0.535
01:24:00 a. m.	23.715	0.000	0.000	0.792	0.539
01:25:00 a. m.	23.715	0.000	0.000	0.792	0.541
01:26:00 a. m.	23.714	0.000	0.000	0.792	0.537
01:27:00 a. m.	23.713	0.000	0.000	0.792	0.541

01:28:00 a. m.	23.712	0.000	0.000	0.792	0.543
01:29:00 a. m.	23.710	0.000	0.000	0.792	0.546
01:30:00 a. m.	23.709	0.000	0.000	0.792	0.546
01:31:00 a. m.	23.708	0.000	0.000	0.792	0.543
01:32:00 a. m.	23.707	0.000	0.000	0.792	0.544
01:33:00 a. m.	23.705	0.000	0.000	0.792	0.545
01:34:00 a. m.	23.704	0.000	0.000	0.792	0.547
01:35:00 a. m.	23.703	0.000	0.000	0.792	0.552
01:36:00 a. m.	23.702	0.000	0.000	0.792	0.552
01:37:00 a. m.	23.699	0.000	0.000	0.792	0.550
01:38:00 a. m.	23.699	0.000	0.000	0.792	0.558
01:39:00 a. m.	23.696	0.000	0.000	0.792	0.553
01:40:00 a. m.	23.696	0.000	0.000	0.792	0.558
01:41:00 a. m.	23.694	0.000	0.000	0.792	0.558
01:42:00 a. m.	23.693	0.000	0.000	0.792	0.559
01:43:00 a. m.	23.693	0.000	0.000	0.792	0.563
01:44:00 a. m.	23.691	0.000	0.000	0.792	0.561
01:45:00 a. m.	23.689	0.000	0.000	0.792	0.565
01:46:00 a. m.	23.689	0.000	0.000	0.792	0.567
01:47:00 a. m.	23.687	0.000	0.000	0.792	0.564
01:48:00 a. m.	23.687	0.000	0.000	0.792	0.565
01:49:00 a. m.	23.683	0.000	0.000	0.792	0.569
01:50:00 a. m.	23.683	0.000	0.000	0.792	0.571
01:51:00 a. m.	23.681	0.000	0.000	0.792	0.567
01:52:00 a. m.	23.680	0.000	0.000	0.792	0.569
01:53:00 a. m.	23.678	0.000	0.000	0.792	0.566
01:54:00 a. m.	23.676	0.000	0.000	0.792	0.570
01:55:00 a. m.	23.676	0.000	0.000	0.792	0.573
01:56:00 a. m.	23.674	0.000	0.000	0.792	0.579
01:57:00 a. m.	23.673	0.000	0.000	0.792	0.577
01:58:00 a. m.	23.671	0.000	0.000	0.792	0.577
01:59:00 a. m.	23.670	0.000	0.000	0.792	0.578
02:00:00 a. m.	23.669	0.000	0.000	0.792	0.578
02:01:00 a. m.	23.667	0.000	0.000	0.792	0.579
02:02:00 a. m.	23.668	0.000	0.000	0.792	0.579
02:03:00 a. m.	23.664	0.000	0.000	0.792	0.582
02:04:00 a. m.	23.666	0.000	0.000	0.792	0.583
02:05:00 a. m.	23.661	0.000	0.000	0.792	0.587
02:06:00 a. m.	23.666	0.000	0.000	0.792	0.588
02:07:00 a. m.	23.660	0.000	0.000	0.792	0.591
02:08:00 a. m.	23.663	0.000	0.000	0.792	0.589
02:09:00 a. m.	23.658	0.000	0.000	0.792	0.591
02:10:00 a. m.	23.660	0.000	0.000	0.792	0.590
02:11:00 a. m.	23.656	0.000	0.000	0.792	0.595
02:12:00 a. m.	23.660	0.000	0.000	0.792	0.595
02:13:00 a. m.	23.654	0.000	0.000	0.792	0.601
02:14:00 a. m.	23.658	0.000	0.000	0.792	0.595
02:15:00 a. m.	23.651	0.000	0.000	0.792	0.602
02:16:00 a. m.	23.657	0.000	0.000	0.792	0.594
02:17:00 a. m.	23.648	0.000	0.000	0.792	0.602
02:18:00 a. m.	23.655	0.000	0.000	0.792	0.601
02:19:00 a. m.	23.647	0.000	0.000	0.792	0.602
02:20:00 a. m.	23.652	0.000	0.000	0.792	0.602
02:21:00 a. m.	23.644	0.000	0.000	0.792	0.605
02:22:00 a. m.	23.650	0.000	0.000	0.792	0.605
02:23:00 a. m.	23.640	0.000	0.000	0.792	0.604

02:24:00 a. m.	23.648	0.000	0.000	0.792	0.608
02:25:00 a. m.	23.639	0.000	0.000	0.792	0.610
02:26:00 a. m.	23.645	0.000	0.000	0.792	0.610
02:27:00 a. m.	23.637	0.000	0.000	0.792	0.609
02:28:00 a. m.	23.642	0.000	0.000	0.792	0.615
02:29:00 a. m.	23.633	0.000	0.000	0.792	0.616
02:30:00 a. m.	23.640	0.000	0.000	0.792	0.617
02:31:00 a. m.	23.630	0.000	0.000	0.792	0.620
02:32:00 a. m.	23.638	0.000	0.000	0.792	0.620
02:33:00 a. m.	23.628	0.000	0.000	0.792	0.622
02:34:00 a. m.	23.636	0.000	0.000	0.792	0.621
02:35:00 a. m.	23.624	0.000	0.000	0.792	0.622
02:36:00 a. m.	23.634	0.000	0.000	0.792	0.624
02:37:00 a. m.	23.621	0.000	0.000	0.792	0.624
02:38:00 a. m.	23.631	0.000	0.000	0.792	0.627
02:39:00 a. m.	23.620	0.000	0.000	0.792	0.627
02:40:00 a. m.	23.629	0.000	0.000	0.792	0.623
02:41:00 a. m.	23.617	0.000	0.000	0.792	0.625
02:42:00 a. m.	23.626	0.000	0.000	0.792	0.630
02:43:00 a. m.	23.615	0.000	0.000	0.792	0.630
02:44:00 a. m.	23.623	0.000	0.000	0.792	0.630
02:45:00 a. m.	23.612	0.000	0.000	0.792	0.631
02:46:00 a. m.	23.620	0.000	0.000	0.792	0.635
02:47:00 a. m.	23.609	0.000	0.000	0.792	0.638
02:48:00 a. m.	23.617	0.000	0.000	0.792	0.637
02:49:00 a. m.	23.607	0.000	0.000	0.792	0.638
02:50:00 a. m.	23.617	0.000	0.000	0.792	0.634
02:51:00 a. m.	23.604	0.000	0.000	0.792	0.640
02:52:00 a. m.	23.615	0.000	0.000	0.792	0.640
02:53:00 a. m.	23.601	0.000	0.000	0.792	0.641
02:54:00 a. m.	23.612	0.000	0.000	0.792	0.646
02:55:00 a. m.	23.599	0.000	0.000	0.792	0.644
02:56:00 a. m.	23.610	0.000	0.000	0.792	0.647
02:57:00 a. m.	23.597	0.000	0.000	0.792	0.644
02:58:00 a. m.	23.607	0.000	0.000	0.792	0.650
02:59:00 a. m.	23.594	0.000	0.000	0.792	0.645
03:00:00 a. m.	23.604	0.000	0.000	0.792	0.651
03:01:00 a. m.	23.591	0.000	0.000	0.792	0.653
03:02:00 a. m.	23.602	0.000	0.000	0.792	0.652
03:03:00 a. m.	23.588	0.000	0.000	0.792	0.657
03:04:00 a. m.	23.600	0.000	0.000	0.792	0.657
03:05:00 a. m.	23.585	0.000	0.000	0.792	0.654
03:06:00 a. m.	23.597	0.000	0.000	0.792	0.656
03:07:00 a. m.	23.583	0.000	0.000	0.792	0.659
03:08:00 a. m.	23.594	0.000	0.000	0.792	0.659
03:09:00 a. m.	23.581	0.000	0.000	0.792	0.660
03:10:00 a. m.	23.591	0.000	0.000	0.792	0.666
03:11:00 a. m.	23.578	0.000	0.000	0.792	0.665
03:12:00 a. m.	23.589	0.000	0.000	0.792	0.665
03:13:00 a. m.	23.575	0.000	0.000	0.792	0.669
03:14:00 a. m.	23.587	0.000	0.000	0.792	0.663
03:15:00 a. m.	23.572	0.000	0.000	0.792	0.669
03:16:00 a. m.	23.584	0.000	0.000	0.792	0.673
03:17:00 a. m.	23.570	0.000	0.000	0.792	0.674
03:18:00 a. m.	23.582	0.000	0.000	0.792	0.676
03:19:00 a. m.	23.567	0.000	0.000	0.792	0.670

03:20:00 a. m.	23.578	0.000	0.000	0.792	0.676
03:21:00 a. m.	23.564	0.000	0.000	0.792	0.675
03:22:00 a. m.	23.575	0.000	0.000	0.792	0.683
03:23:00 a. m.	23.561	0.000	0.000	0.792	0.680
03:24:00 a. m.	23.571	0.000	0.000	0.792	0.681
03:25:00 a. m.	23.559	0.000	0.000	0.792	0.682
03:26:00 a. m.	23.569	0.000	0.000	0.792	0.681
03:27:00 a. m.	23.556	0.000	0.000	0.792	0.684
03:28:00 a. m.	23.567	0.000	0.000	0.792	0.683
03:29:00 a. m.	23.553	0.000	0.000	0.792	0.688
03:30:00 a. m.	23.564	0.000	0.000	0.792	0.688
03:31:00 a. m.	23.551	0.000	0.000	0.792	0.689
03:32:00 a. m.	23.563	0.000	0.000	0.792	0.690
03:33:00 a. m.	23.549	0.000	0.000	0.792	0.692
03:34:00 a. m.	23.561	0.000	0.000	0.792	0.691
03:35:00 a. m.	23.547	0.000	0.000	0.792	0.696
03:36:00 a. m.	23.559	0.000	0.000	0.792	0.694
03:37:00 a. m.	23.545	0.000	0.000	0.792	0.699
03:38:00 a. m.	23.557	0.000	0.000	0.792	0.699
03:39:00 a. m.	23.542	0.000	0.000	0.792	0.695
03:40:00 a. m.	23.554	0.000	0.000	0.792	0.695
03:41:00 a. m.	23.539	0.000	0.000	0.792	0.704
03:42:00 a. m.	23.552	0.000	0.000	0.792	0.701
03:43:00 a. m.	23.537	0.000	0.000	0.792	0.701
03:44:00 a. m.	23.550	0.000	0.000	0.792	0.700
03:45:00 a. m.	23.534	0.000	0.000	0.792	0.701
03:46:00 a. m.	23.548	0.000	0.000	0.792	0.704
03:47:00 a. m.	23.532	0.000	0.000	0.792	0.708
03:48:00 a. m.	23.546	0.000	0.000	0.792	0.710
03:49:00 a. m.	23.530	0.000	0.000	0.792	0.709
03:50:00 a. m.	23.543	0.000	0.000	0.792	0.711
03:51:00 a. m.	23.527	0.000	0.000	0.792	0.710
03:52:00 a. m.	23.541	0.000	0.000	0.792	0.712
03:53:00 a. m.	23.523	0.000	0.000	0.792	0.716
03:54:00 a. m.	23.539	0.000	0.000	0.792	0.715
03:55:00 a. m.	23.521	0.000	0.000	0.792	0.716
03:56:00 a. m.	23.538	0.000	0.000	0.792	0.715
03:57:00 a. m.	23.518	0.000	0.000	0.792	0.722
03:58:00 a. m.	23.534	0.000	0.000	0.792	0.719
03:59:00 a. m.	23.516	0.000	0.000	0.792	0.718
04:00:00 a. m.	23.531	0.000	0.000	0.792	0.722
04:01:00 a. m.	23.514	0.000	0.000	0.792	0.723
04:02:00 a. m.	23.527	0.000	0.000	0.792	0.723
04:03:00 a. m.	23.512	0.000	0.000	0.792	0.726
04:04:00 a. m.	23.525	0.000	0.000	0.792	0.728
04:05:00 a. m.	23.509	0.000	0.000	0.792	0.729
04:06:00 a. m.	23.522	0.000	0.000	0.792	0.734
04:07:00 a. m.	23.506	0.000	0.000	0.792	0.733
04:08:00 a. m.	23.516	0.000	0.000	0.792	0.732
04:09:00 a. m.	23.505	0.000	0.000	0.792	0.731
04:10:00 a. m.	23.515	0.000	0.000	0.792	0.736
04:11:00 a. m.	23.502	0.000	0.000	0.792	0.737
04:12:00 a. m.	23.513	0.000	0.000	0.792	0.740
04:13:00 a. m.	23.500	0.000	0.000	0.792	0.735
04:14:00 a. m.	23.510	0.000	0.000	0.792	0.739
04:15:00 a. m.	23.497	0.000	0.000	0.792	0.740

04:16:00 a. m.	23.508	0.000	0.000	0.792	0.739
04:17:00 a. m.	23.495	0.000	0.000	0.792	0.744
04:18:00 a. m.	23.507	0.000	0.000	0.792	0.745
04:19:00 a. m.	23.495	0.000	0.000	0.792	0.748
04:20:00 a. m.	23.505	0.000	0.000	0.792	0.747
04:21:00 a. m.	23.494	0.000	0.000	0.792	0.748
04:22:00 a. m.	23.502	0.000	0.000	0.792	0.746
04:23:00 a. m.	23.491	0.000	0.000	0.792	0.753
04:24:00 a. m.	23.501	0.000	0.000	0.792	0.746
04:25:00 a. m.	23.489	0.000	0.000	0.792	0.754
04:26:00 a. m.	23.498	0.000	0.000	0.792	0.751
04:27:00 a. m.	23.487	0.000	0.000	0.792	0.753
04:28:00 a. m.	23.495	0.000	0.000	0.792	0.752
04:29:00 a. m.	23.484	0.000	0.000	0.792	0.756
04:30:00 a. m.	23.492	0.000	0.000	0.792	0.762
04:31:00 a. m.	23.481	0.000	0.000	0.792	0.757
04:32:00 a. m.	23.491	0.000	0.000	0.792	0.760
04:33:00 a. m.	23.477	0.000	0.000	0.792	0.762
04:34:00 a. m.	23.488	0.000	0.000	0.792	0.761
04:35:00 a. m.	23.472	0.000	0.000	0.792	0.766
04:36:00 a. m.	23.485	0.000	0.000	0.792	0.767
04:37:00 a. m.	23.472	0.000	0.000	0.792	0.766
04:38:00 a. m.	23.482	0.000	0.000	0.792	0.770
04:39:00 a. m.	23.470	0.000	0.000	0.792	0.768
04:40:00 a. m.	23.481	0.000	0.000	0.792	0.769
04:41:00 a. m.	23.469	0.000	0.000	0.792	0.771
04:42:00 a. m.	23.479	0.000	0.000	0.792	0.776
04:43:00 a. m.	23.466	0.000	0.000	0.792	0.777
04:44:00 a. m.	23.477	0.000	0.000	0.792	0.769
04:45:00 a. m.	23.463	0.000	0.000	0.792	0.773
04:46:00 a. m.	23.474	0.000	0.000	0.792	0.778
04:47:00 a. m.	23.460	0.000	0.000	0.792	0.775
04:48:00 a. m.	23.473	0.000	0.000	0.792	0.784
04:49:00 a. m.	23.457	0.000	0.000	0.792	0.779
04:50:00 a. m.	23.471	0.000	0.000	0.792	0.781
04:51:00 a. m.	23.455	0.000	0.000	0.792	0.783
04:52:00 a. m.	23.468	0.000	0.000	0.792	0.784
04:53:00 a. m.	23.453	0.000	0.000	0.792	0.786
04:54:00 a. m.	23.466	0.000	0.000	0.792	0.789
04:55:00 a. m.	23.450	0.000	0.000	0.792	0.791
04:56:00 a. m.	23.464	0.000	0.000	0.792	0.792
04:57:00 a. m.	23.448	0.000	0.000	0.792	0.789
04:58:00 a. m.	23.461	0.000	0.000	0.792	0.794
04:59:00 a. m.	23.445	0.000	0.000	0.792	0.797
05:00:00 a. m.	23.458	0.000	0.000	0.792	0.800