

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO CON
SEGUIDOR LUMÍNICO INDEPENDIENTE A SU UBICACIÓN**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

DIEGO JESUS PEREZ SALAS

ASESOR

ING. LUIS ALBERTO GONZÁLES BAZÁN

Chiclayo, 2019

AGRADECIMIENTO

A mis padres.

Y a Will Cusquisiban, persona que colaboró en la finalización de este proyecto.

DEDICATORIA

Dedicado a todas aquellas personas en búsqueda del conocimiento y de la verdad. Que cada descubrimiento sea una victoria a la humanidad.

- el autor.

“Los recuerdos son caprichosos, si dejas de perseguirlos y les das la espalda; a menudo regresan por sí mismo”.

Stephen King - 2006

RESUMEN

Una realidad que tiene Perú es que a pesar de ser fuertes exportadores y poseer grandes actividades de mercado internacional, aún presenta declinaciones en muchos aspectos de su economía y calidad de vida poblacional. Esto se puede observar en los diversos pueblos o comunidades aisladas que hasta la fecha no cuentan con un suministro eléctrico, debido a que se encuentran en zonas muy alejadas de las líneas de transporte o distribución eléctrica; o por otro lado porque geográficamente resultaría muy costoso para las concesionarias llevar a cabo dichos proyectos, Sin embargo ya se han tomado diversas medidas para contrarrestar estos inconvenientes como es el caso del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales presentes en dichas comunidades.

Un ejemplo claro de estos centros poblados relativamente alejados, es Cucufana; que al poseer una población de 26 viviendas y por lo tanto considerándose una población dispersa debido a su baja densidad población [1]; Este pequeño poblado ubicado en el distrito de Morrope, Lambayeque presenta una radiación solar promedio 5,59 KWh/m² esto señala que presenta condiciones óptimas para el aprovechamiento de la luz solar. Utilizando el informe [2] que indica el sector típico 5 para una zona rural de densidad poblacional media y la normativo R.D. N° 015-2004-EM/DGE [3] se determinará que la calificación eléctrica adecuada para dicha zona y por ende la máxima demanda que se suministrará que permita a estas personas aumentar su calidad de vida.

Para lograr los objetivos de este proyecto se empezó generando un diagnóstico energético de un centro poblado, para luego a través de estudios estadísticos externos se logró determinar cuáles son las necesidades energéticas más comunes de los pobladores y de la mano con la información de la Data solar de la NASA se pudo dimensionar adecuadamente los equipos del Sistema de Generación, posteriormente se realizó un bosquejo en SolidWorks de la estructura metálica del Seguidor solar, para la programación se utilizó el lenguaje C++ y el software gratuito para su redacción “C++ online”. Finalmente se realizó un análisis de viabilidad con los materiales y mano de obra necesarios para su construcción e instalación, expuestos en un presupuesto referencial.

Se logró diseñar un sistema de seguimiento lumínico capaz de aumentar su producción energética en un 21%, a pesar de que se produjo un aumento en los costos del proyecto en un 32%, las mejoras que se obtienen con este costo adicional son beneficiosos para los usuarios.

Palabras Claves: *Generación, Aprovechamiento solar, Suministro Eléctrico, Seguimiento lumínico, comunidad aislada.*

ABSTRACT

A reality of Peru is that despite being big exporters and has great international market activities, still presents declination in to many aspects in its economies and life quality of the people. This can be shown in the different insulated towns or communities that dont have supply electric, the reason is those zones are very far away from the supply lines, or for the other hand because geographically it results very expensive to the dealerships made these projects, however exist to many ways to resolve those inconvenience like the sustainable utilization of natural sources of energy present in these communities.

A clear example of those secluded population center is Cucufana, that have a population of 26 homes, therefore, it's considered a disperse population because of his small dwellers. [1]; this small town, ubicated in the Morrope District in Lambayeque, presents a average solar radiation of 5,59 KWh/m², this represent an optimal condition for the exploitation of the solar light. Using the document [2] that shows the typical sector 5 to a rural zone of small dwellers and the normative R.D. N° 015-2004-EM/DGE [3] would determinate the electrical proper classification for the zone and then the maximum demand that it will supply to those people increase her life quality.

To achieve the objectives of the project it stared generating an energy diagnosis of the population center, then with the help of some external statistical studies were achieved which were the energy needs more commons in the people and thanks to the NASA solar Data could size the different devices of the supply system, subsequently were made a sketch in SolidWorks of the metal structure of the solar tracker, it was used the language C++ and the free use software for the redaction "C++ online". Finally, it was made the analysis of viability with the necessary materials and the workforce to her construction and installation, exposed in a referential presupposition.

It was achieved the design of a tracking light System capable of increasing her energy production in a 21 %, despite the increase in costs in a 32%, the improvements obtained with the additional cost are beneficial for the users.

Keywords: *Generation, Solar Harnessing, Energy Supply, light tracking, insulated community.*

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	2
DEDICATORIA	3
RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
ÍNDICE.....	7
LISTA DE TABLAS	12
LISTA DE FIGURAS.....	13
TABLA DE ECUACIONES	15
I. INTRODUCCIÓN	16
II. OJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo General.....	16
2.2. Objetivos Específicos	16
III. JUSTIFICACIÓN	17
3.1. Social	17
3.2. Económico	17
3.3. Tecnológico	17
3.4. Ambiental.....	17
IV. MARCO TEÓRICO	18
4.1. Estado Del Arte.....	18
4.1.1. Productos Similares Existentes.....	18
4.1.1.1. Proyecto 1: “Diseño y Construcción de Sistema De Seguimiento Fotovoltaico”	18
4.1.1.2. Proyecto 2: “Diseño, Construcción y evaluación de un Sistema de Seguimiento Solar para un Panel Fotovoltaico”	18
4.1.1.3. Proyecto 3: “Implementación de Seguidor Solar en Dos ejes para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de ingeniería Eléctrica de la UES”	19
4.1.1.4. Proyecto 4: “Diseño, Simulación y análisis, de sistema solar FV para suministro eléctrico en Zonas Rurales”	19
4.1.2. Problemática Actual de los Productos Similares Existentes.....	19
4.1.3. Planteamiento del Problema	20
4.1.4. Requerimientos del Diseño.....	20
4.2. Marco conceptual.....	21
4.2.1. Efecto Fotoeléctrico	21
4.2.1.1. Hertz y el Efecto Fotoeléctrico.....	21

4.2.1.2.	Catástrofe de la Ultravioleta.....	23
A.	Cuerpo Negro	23
B.	La Ley de Rayleigh – Jeans:	25
C.	La Ley de Wien.....	26
4.2.1.3.	La Ley de Planck	27
4.2.1.4.	Albert Einstein y el Efecto Fotoeléctrico	29
4.2.2.	Fundamentos de la energía	32
4.2.2.1.	Definición de Energía.....	32
4.2.2.2.	Propiedades de La Energía	32
4.2.2.3.	Tipos de Energía.....	32
A.	Energía Cinética	32
B.	Energía Potencial	33
C.	Energía Mecánica.....	33
D.	Energía Térmica o Calorífica	33
E.	Energía Química.....	33
F.	Energía Eléctrica	33
G.	Energía Radiante o Electromagnética	33
4.2.2.4.	Fuentes de Energía	33
A.	Fuentes Renovables.....	33
B.	Energías No renovables.....	34
4.2.3.	Sistemas de Generación Fotovoltaica	35
4.2.3.1.	Clasificación de Sistemas de Generación Fotovoltaicos	35
A.	Sistemas Aislados de la Red eléctrica.....	35
B.	Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica.....	36
4.2.3.2.	Principales Componentes de un Sistema de Generación Fotovoltaico	37
A.	Módulo Fotovoltaico.....	37
A.1.	Generalidades	37
A.2.	Estructura	37
A.3.	Funcionamiento	38
A.4.	Clasificación.....	40
-	Celdas de Silicio Monocristalino.....	40
-	Celdas de Silicio Policristalinos.....	40
-	Celdas de Silicio Amorfo.....	41
B.	Acumuladores	41
B.1.	Generalidades	41

B.2.	Clasificación.....	42
B.3.	Funcionamiento	42
C.	Regulador de Carga.....	43
C.1.	Funcionamiento	43
C.2.	Clasificación.....	43
A.	Regulador MPPT.....	43
B.	Regulador de Carga PWM	44
D.	Inversor De Corriente.....	44
E.	Otros Dispositivos	45
E.1	Interruptor Termomagnético	45
E.2	Interruptor Diferencial	45
V.	SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL EN LA ZONA RURAL	46
5.1.	Electrificación rural en el Perú	46
5.2.	Identificación de La Comunidad Rural.....	46
5.3.	Estudio de Radiación en el CCPP Cucufana	49
–	Global Solar Atlas.....	51
–	Solargis	52
VI.	EVALUACIÓN DE ENERGÍA SUMINISTRADA	53
6.1.	Evaluación de la Calificación Eléctrica	53
6.2.	Identificación de necesidades Energéticas.....	54
VII.	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA.....	57
7.1.	Selección del Tipo de Sistema Fotovoltaico.....	57
7.2.	Cálculo de la Energía Total	57
7.2.1.	Cálculo del Rendimiento del Sistema.....	58
7.2.1.1.	Coeficiente de Autodescarga	58
7.2.1.2.	Coeficiente de Pérdidas por rendimiento de Batería	60
7.2.1.3.	Coeficiente de Pérdidas del Inversor	60
7.2.1.4.	Coeficiente de Otras Pérdidas	60
7.2.1.5.	Profundidad de Descarga.....	60
7.2.1.6.	Número de Días de Autonomía	61
7.2.2.	Cálculo de La energía Necesaria	61
7.3.	Cálculo de Baterías	62
7.3.1.	Conexiones en Baterías.....	62
7.3.1.1.	Conexiones en Serie	62
7.3.1.2.	Conexiones en Paralelo	62

7.3.1.3.	Conexiones mixtas.....	63
7.3.2.	Cálculo de la Capacidad útil	63
7.3.3.	Capacidad Nominal de las Baterías	63
7.4.	Cálculos de los Paneles Fotovoltaicos	64
7.5.	Cálculo de Regulador.....	65
7.6.	Selección de Inversor	66
7.6.1.	Tensión Nominal de Entrada	66
7.6.2.	Potencia Nominal.....	67
7.6.3.	Tensión Nominal y frecuencia de Salida	67
7.7.	Dimensionamiento de Conductores	67
7.7.1.	Tramo Paneles Fotovoltaicos - Regulador de Carga	69
7.7.2.	Tramo Cargas – Regulador de Carga.....	69
7.7.2.1.	Inversor Cargas AC	69
7.7.2.2.	Regulador – Carga DC	70
7.7.2.3.	Regulador – Inversor	70
7.7.3.	Tramo Acumulador a Regulador de Carga	70
7.8.	Cálculo de Sistemas de Protección	71
7.8.1.	Interruptor Termomagnético.....	71
7.8.2.	Interruptor Diferencial	72
VIII. CONEXIONES Y PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO SEGUIDOR LUMÍNICO		73
8.1.	Diseño Mecánico	73
8.2.	Dimensionamiento de los servomotores	75
8.2.1.	Servomotor 1 – Superior.....	76
8.2.2.	Servomotor 2 - Inferior	78
8.2.3.	Decisión	79
8.3.	Circuito General.....	79
8.3.1.	Minicontrolador PIC	79
8.3.2.	Conexiones de las fotorresistencias	81
8.3.3.	Conexiones de los Servomotores	82
8.3.4.	Conexiones de Reguladores de Voltaje	83
8.3.5.	Conexiones de Potenciómetro	85
8.3.6.	Interruptor Horario.....	86
8.3.7.	Amplificador Operacional	86
8.3.8.	Batería.....	87
8.3.9.	Finales de Carrera	89

8.4.	Programación del PIC	89
IX.	ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	93
9.1.	Mejora de Producción de Energía.....	93
9.1.1.	Evaluación de otros Proyectos	93
-	Proyecto 1	93
-	Proyecto 2	93
-	Proyecto 3	93
-	Proyecto 4	94
9.1.2.	Mejoras del Sistema.....	94
9.1.2.1.	Caso 1: Reducción de los Paneles	94
9.1.2.2.	Caso 2: Aumento del Acumulador	95
9.1.2.3.	Caso 3: Aumento de Carga del Equipo	95
9.2.	Presupuesto Referencial del proyecto	95
9.2.	Análisis de viabilidad.....	98
X.	CONCLUSIONES	99
XI.	RECOMENDACIONES.....	101
XII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
XIII.	ANEXOS	107
	ANEXO 1: CALIFICACIÓN ELÉCTRICA	107
	ANEXO 2: Conductores Para sistemas Eléctricos Domésticos	108
	ANEXO 3: HOJA DE CALCULO PARA DIMENSIONAMIENTO.....	109
	ANEXO 4: POSIBLES SERVOMOTORES	110
	ANEXO 5: VALORES NOMINALES DE RESISTENCIAS.....	111
	ANEXO 6: PLANO DE CIRCUITO GENERAL DEL SEGUIDOR LUMÍNICO	112
	ANEXO 7: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA	113
	ANEXO 8: DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN.....	114
	ANEXO 9: CALCULOS DE MEJORAS DEL SISTEMA.....	115
	ANEXO 10: PROFORMA DE LA CARPITENRÍA METÁLICA	116
	ANEXO 11: PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROYECTO	117
	ANEXO 12: PLANO MECANICO ENSAMBLE TOTAL	118
	ANEXO 13: PLANO DE SOPORTE DEL PANEL SOLAR	119
	ANEXO 14: ESTRUCTURA SOSTEN DE PIEZA SUPERIOR:	120
	ANEXO 15: ESTRUCTURA BASE	121
	ANEXO 16: CHUMACERAS	122
	ANEXO 17: ENGRANAJES	123

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Datos Del Centro Poblado Cucufana.....	48
Tabla 2: Información del Centro Poblado Cucufana	49
Tabla 3: Data Meteorológica y de Energía Solar en Cucufana.....	50
Tabla 4: Estudio de Consumo eléctrico - Osinerming.....	54
Tabla 5: Potencia Nominal de Equipos.....	55
Tabla 6: Horas de Operación diario de los elementos de Uso frecuente en las instalaciones solares Fotovoltaicas	55
Tabla 7: Cargas existentes en las instalaciones de las Comunidades rurales de Puno	56
Tabla 8: Estudio de necesidades Energéticas	56
Tabla 9: Valores Promedio Para Coeficientes de Pérdidas.....	58
Tabla 10: Número de Días de Autonomía	61
Tabla 11: Potencia del Seguidor Lumínico.....	87
Tabla 12: Capacidad Necesaria para el Seguidor Lumínico.....	88
Tabla 13: Parámetros del Potenciómetro	90
Tabla 14: Presupuesto Referencial - Sistema de Generación	96
Tabla 15: Presupuesto Referencial - Seguidor Lumínico	96
Tabla 16: Presupuesto Referencial - Estructura Metálica.....	97
Tabla 17: Costos Totales.....	98
Tabla 18: Presupuesto Referencial Para el Proyecto 2	98
Tabla 19: Análisis Costo/Beneficio	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Experimento de Hertz.....	21
Figura 2: Experimento de Wilhelm Hallwachs y Phillip Lenard.....	22
Figura 3: Espectro electromagnético de la Luz	23
Figura 4: Cavidad del Cuerpo negro Con distintas Ondas de luz	24
Figura 5: Radiación según la Ley de Rayleigh-jeans	26
Figura 6: Grafica de la Radiación Según la Ley de Desplazamiento de Wien	27
Figura 7: Distribución de las Leyes sobre el Comportamiento de la Radiación en Cuerpos Negros.....	28
Figura 8: Efecto Fotoeléctrico	29
Figura 9: Reflexión de la Radiación Solar.....	34
Figura 10: Paneles Fotovoltaicos	35
Figura 11: Sistema Fotovoltaico Aislado.....	36
Figura 12: Sistema Fotovoltaico On Grid.....	36
Figura 13: Zonas y Partes de una Celda Fotovoltaico	37
Figura 14: Átomo estable y Eléctricamente Nulo.....	38
Figura 15: Red Cristalina de Silicio.....	38
Figura 16: Funcionamiento de la Célula fotovoltaica.....	39
Figura 17: Panel Fotovoltaico de Celdas de silicio monocristalinas	40
Figura 18: Panel fotovoltaico formado por células de Silicio policristalino	41
Figura 19: Celdas de Silicio Amorfo	41
Figura 20: Baterías de Plomo - Ácido	42
Figura 21: Regulador de Carga MPPT	43
Figura 22: Regulador de Carga PWM	44
Figura 23: Inversor de Corriente.....	44
Figura 24: Interruptor Termomagnético o ITM.....	45
Figura 25: Interruptor Diferencial.....	45
Figura 26: Menú Desplegable con Indicadores MIDIS	47
Figura 27: Mapa de la MINEM	47
Figura 28: Sistema de Información geográfica.....	48
Figura 29: Ingreso de Datos en la Data meteorológica de la NASA	50
Figura 30: Comportamiento de la Energía Sola en Cucufana	51
Figura 31: Interfaz de la Global Solar Atlas	51
Figura 32: Interfaz de Solaris.....	52
Figura 33: Tabla de Clasificación Eléctrica.....	53
Figura 34: Mapa de la Comunidad Aislada Cucufana.....	57
Figura 35: Datos Técnicos de la Batería	59
Figura 36: Autodescarga en Función al Tiempo.....	60
Figura 37: Conexión en Serie de dos Baterías de 12 V 200 Ah	62
Figura 38: Conexiones en Paralelo	62
Figura 39: Datos Técnicos de Paneles Solares	66
Figura 40: sistema Fotovoltaico Genérico	67
Figura 41: Selección de Conductor para el Tramo Paneles - Regulador	69
Figura 42: Funcionamiento de un ITM.....	71
Figura 43: Curvas de Funcionamiento definidas por IEC 60898	72
Figura 44: funcionamiento del Dispositivo	73

Figura 45: Posicionamiento de las Fotorresistencias	73
Figura 46: Diseño Mecánico.....	74
Figura 47: Funcionamiento del Mecanismo	74
Figura 48: Dimensiones del Perfil T de la Estructura del Panel	74
Figura 49: Dimensiones de la Tubería y Base de las Chumaceras	75
Figura 50: Sistemas de Transmisión del Servomotor 2	75
Figura 51: Definición del Motor	76
Figura 52: Condiciones del motor	77
Figura 53: Condiciones Para los Resultados.....	77
Figura 54 Resultados de la Simulación del Servomotor 1	77
Figura 55: Simulación de Motor 2.....	78
Figura 56: Parámetros para el Segundo Servomotor.	78
Figura 57: Resultados de la simulación del motor 2.....	78
Figura 58: Elementos Principales de un PIC	79
Figura 59: PIC 18F4550	80
Figura 60: Conexiones de las Fotorresistencias:.....	81
Figura 61: Conexiones de las Fotorresistencias del Sistema	82
Figura 62: Servomotor 39,8 KgF-cm.....	82
Figura 63: Conexión del Servomotor.....	83
Figura 64: Diagrama de Regulador LM7805.....	84
Figura 65: Esquema de Conexión para Reguladores LM78XX	84
Figura 66: Conexiones de Fuentes de Voltaje	85
Figura 67: Potenciómetro.....	85
Figura 68: Interruptor Horario Orbis	86
Figura 69: Amplificador Operacional No inversor.....	86
Figura 70: Conexiones del Amplificador Operacional	87
Figura 71: Diagrama de Conexiones del Circuito General.....	88
Figura 72: Finales de Carrera.....	89
Figura 73: Diagrama de señales del Servomotor	90
Figura 74: Incremento de Producción Por mes Policristalino	94

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Ley de Rayleigh – Jeans	25
Ecuación 2: Ley de Wien.....	26
Ecuación 3: Ley de Planck.....	28
Ecuación 4: Trabajo de Extracción	30
Ecuación 5: Energía proveniente de un Fotón	31
Ecuación 6: Energía Cinética de un Fotón.....	31
Ecuación 7: Calculo del Consumo Total de Energía por vivienda	56
Ecuación 8: Energía Producida Por el Sistema Fotovoltaico	57
Ecuación 9: Rendimiento del Sistema de Generación	58
Ecuación 10: Coeficiente de Auto descarga	59
Ecuación 11: Capacidad útil Necesaria (Wh)	63
Ecuación 12: Capacidad Útil Necesaria (Ah)	63
Ecuación 13: Capacidad Nominal del Acumulador.....	63
Ecuación 14: Número de baterías en Serie	64
Ecuación 15: Número de baterías en Paralelo	64
Ecuación 16: Energía Producida Por los Paneles Fotovoltaicos.....	64
Ecuación 17: Número de Paneles en Serie	65
Ecuación 18: Número de Paneles Fotovoltaicos en Serie.....	65
Ecuación 19: Intensidad Máxima de Paneles	65
Ecuación 20: Intensidad máxima de Carga.....	65
Ecuación 21: Intensidad de Corriente nominal (Alterna)	68
Ecuación 22: Intensidad de Corriente nominal (Continua)	68
Ecuación 23: Corriente de Diseño:	68
Ecuación 24: Longitud máxima Permisible.....	68
Ecuación 25: Corriente Incertidumbre.....	71
Ecuación 26: Corriente de Disparo	71
Ecuación 27: Ley de Ohm	85
Ecuación 28: Voltaje de Entrada	87
Ecuación 29: Energía real de los paneles.....	95

I.INTRODUCCIÓN

El siguiente proyecto tiene como objetivo diseñar un sistema que genere suficiente energía eléctrica, a través de un sistema no convencional “Fotovoltaico”, que permita a los pobladores de una comunidad rural no conectada a la red vivir una vida plena y se desarrollen tanto tecnológica como económicamente.

Para este sistema no convencional de generación energética se buscará diseñar un seguidor lumínico que permita identificar, durante el transcurso del día, la posición más adecuada para la captación de radiación solar.

Por lo tanto, para el desarrollo de este proyecto se analizará la situación energética de estas comunidades aisladas, para posteriormente determinar la demanda máxima que estos necesiten y por ende dimensionar los equipos. Se tomarán estudios previos para identificar como aumenta la producción de energía de los paneles fotovoltaicos y con ello, analizar la viabilidad de este proyecto en función a los que comúnmente se usan.

II.OJETIVOS

2.1. Objetivo General

Diseñar un Sistema Generación Fotovoltaico con seguidor lumínico independiente a su ubicación.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar la situación energética: eléctrica y Radiación Solar en el área Rural Aislada.
- Evaluar la Demanda eléctrica del sector rural para dimensionar el sistema de generación Fotoeléctrico.
- Definir la programación del dispositivo de seguimiento solar.
- Analizar la viabilidad del equipo de generación fotovoltaica con seguidor lumínico en función a los sistemas fotovoltaicos convencionales.

III. JUSTIFICACIÓN

3.1.Social

Permitirá llevar energía eléctrica a las pobladoras de una población dispersa y les permitirá mejorar su calidad de vida.

3.2.Económico

Debido a que el proyecto es para centros poblados de baja densidad poblacional se priorizará que los costos del mismo sean lo mínimo posible.

3.3.Tecnológico

El uso de dispositivos electrónicos se aprovechará el máximo la eficiencia de los recursos renovables.

3.4.Ambiental

La máquina a utilizar será ecológica debido a que usará recursos naturales para generar energía limpia y segura.

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. Estado Del Arte

4.1.1. *Productos Similares Existentes*

El Autor describe a continuación los diferentes productos que

4.1.1.1. *Proyecto 1: “Diseño y Construcción de Sistema De Seguimiento Fotovoltaico”*

Autor(es): Sumano Fuentesvilla, Jonathan.

Año: 2012.

El objetivo del proyecto es fomentar el desarrollo e implementación de energías renovables y así reducir la contaminación ambiental y el efecto invernadero; El proyecto está relacionado con el diseño y construcción de un sistema fotovoltaico con seguimiento solar; es decir el dispositivo se posicionará de manera automática en el punto de mayor irradiación, esto será posible gracias al algoritmo de cálculo de los ángulos de Azimut y de elevación que permitirán al panel poner optar por la posición más adecuada. [4]

4.1.1.2. *Proyecto 2: “Diseño, Construcción y evaluación de un Sistema de Seguimiento Solar para un Panel Fotovoltaico”*

Autor(es): Arreola Gómez, Rubisel; Quevedo Nolasco, Abel; Castro Popoca, Martiniano; Bravo Vinaja, ángel; Reyes Muñoz, David

Año: 2015.

El Proyecto tiene como objetivo el diseño de un dispositivo capaz de realizar un seguimiento solar para aprovechar la radiación emitida por el sol, debido que un panel convencional estático no capta toda la energía que este emite. Una vez construido, se realizó una evaluación donde se obtuvo que el rendimiento del panel aumentaba hasta en un 27%. [5]

4.1.1.3. Proyecto 3: “Implementación de Seguidor Solar en Dos ejes para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de ingeniería Eléctrica de la UES”

Autor(es): Guardado Gutiérrez, Domingo Heriberto; Rivera Chávez, Víctor Eulises.

Año: 2012

El objetivo de la investigación está orientado a mejorar la eficiencia y producción de energía de sistema de generación alternativo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES, a través de un estudio de la bóveda celeste y el movimiento del sol durante todo un año; Esto será posible gracias a la programación de un Relé programable Zen. [6]

4.1.1.4. Proyecto 4: “Diseño, Simulación y análisis, de sistema solar FV para suministro eléctrico en Zonas Rurales”

Autor(es): Andrea Catalina Alvarado Fajardo, Hernán Carvajal-Osorio.

Año: 2014.

Este Proyecto se planteó comprobar si a través de un sistema de generación fotoeléctrica es posible suplir la demanda necesaria para la refrigeración de alimentos que son indispensables para la Escuela El Cardonal en un área rural en Tibaná Colombi- Se tomo en cuenta los datos climáticos de la zona y a través de un software TRNSYS se demostró su adecuado funcionamiento y operación según el recurso solar disponible. [7]

4.1.2. Problemática Actual de los Productos Similares Existentes

La mayoría de sistemas rurales que cuentan con equipos de generación eléctrica a base de paneles fotovoltaicos no conectados a la red (Off the Grid) deben utilizar distintas de tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de las energías renovables que para este caso es la Solar, los primeros 3 autores han realizado investigación o diseños de dispositivos solares con diferentes metodologías.

Sin embargo, estos proyectos han utilizan seguidores para sistemas específicos, es decir; proponen la creación para equipos que podrían ser útiles bajo las condiciones que tienen sus sistemas.

4.1.3. Planteamiento del Problema

Las diferentes zonas rurales en el territorio peruano e incluso otros países tercermundistas que no presentan suministro eléctrico, deben buscar la manera de obtener energía eléctrica. Por lo tanto, hacen empleo de diferentes recursos que poseen a su alcance, tales como los recursos naturales.

Para países, de radiación considerable, es factible es aprovechamiento de la energía solar a través de paneles fotovoltaicos. Sin embargo, para aumentar su eficiencia y producción a través de un seguidor solar. Por lo tanto, se identificará un dispositivo que permita la identificar la posición adecuada del Panel según la cantidad de luz que incida sobre este. Esto permitirá aumentar la producción de energía de un panel convencional, pero permitirá que el panel se adecue al lugar donde se desarrolle el proyecto.

4.1.4. Requerimientos del Diseño

El proyecto o el sistema deberá hacer uso de diferentes recursos los cuales se detallarán a continuación:

- Uso de Softwares como:
 - Geomid
 - Mapas de MINEM
 - Sistema de Información geográfico de la INEI.
 - Data Meteorológica de la NASA.
 - Microsoft Excel.
 - Microsoft Word.
 - Global Solar Atlas.
 - Solargis.
 - Autocad.
 - SolidWorks
 - C++ Online.
- Uso de Documentos virtuales y físicos que serán descritos a lo largo del desarrollo del proyecto.
- Uso de otras herramientas básicas como calculadoras digitales, computadoras o cuadernos.

4.2. Marco conceptual

4.2.1. Efecto Fotoeléctrico

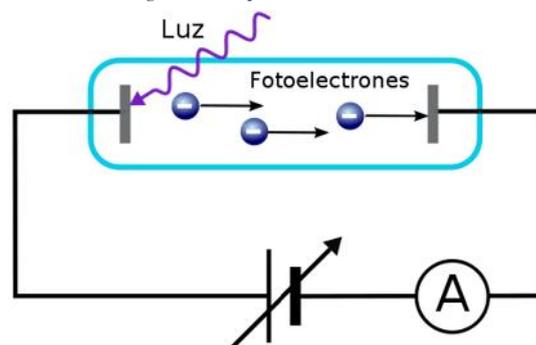
4.2.1.1. Hertz y el Efecto Fotoeléctrico

La teoría del efecto fotoeléctrico se remonta al año de 1887, cuando Heinrich Hertz mientras comprobaba experimentalmente las ecuaciones sobre la radiación electromagnética, que años atrás Maxwell había determinado, como una onda electromagnética; la cual consistía en que la propagación de dos campos como onda electromagnética poseían características parecidas a la luz (inclusive su velocidad). Se llegó a la conclusión de que la luz se propagaba como una onda electromagnética transversal que no necesitaba un medio material para propagarse (podía hacerlo por el vacío)

Esta teoría, aunque en su momento parecía ser descabellada, permitió abrir las puertas a los diferentes experimentos que demostraron el carácter corpuscular que posee la naturaleza de la luz, esto señala que está hecha por partículas. [8]

El experimento accidental de Hertz consistió que, al estudiar dos esferas cargadas eléctricamente, al ser iluminados permitía el escape de energía o lo que actualmente conocemos como electrón (ver imagen 1). A pesar que la idea en esencia de este descubrimiento no era revolucionaria ya que Edison había descubierto un método similar al calentar a altas temperatura un objeto metálico.

Figura 1: Experimento de Hertz

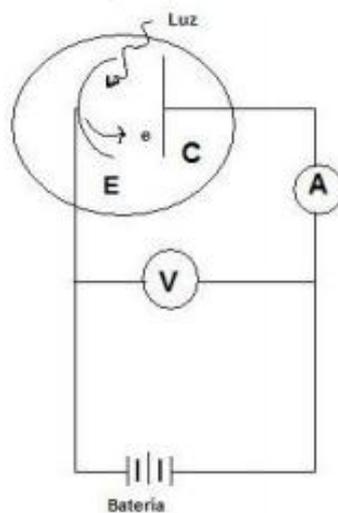


FUENTE: http://www.fisicacuantica.es/wp-content/uploads/2014/08/EfectoFotoelectrico.svg_500px.png

Claro que la época en donde se situaban dichos eventos, aun no se sabía sobre la existencia del electrón, por lo tanto, era difícil de explicar cuál era la naturaleza de este fenómeno, el cual hoy se

conoce como **Efecto Fotoeléctrico**. Por lo tanto, en 1897, con el descubrimiento del electrón por Joseph John Thomson, se pudo aclarar mejor las ideas de como funcionada este acontecimiento. Entre los años de 1886 a 1900 los científicos alemanes Wilhelm Hallwachs y Phillip Lenard estudiaban el hallazgo de Hertz mediante tubos de vidrio al vacío. Este estudio consistía en encerrar dos electrodos conductores a los que denominaron ánodo (en la figura 2: “C”) y Cátodo (en la figura 2: “E”) ambos conectados a una batería que creaba un campo magnético en del ánodo al cátodo. [9]

Figura 2: Experimento de Wilhelm Hallwachs y Phillip Lenard



FUENTE: [9]

Los físicos alemanes lograron descubrir que en el momento en que la luz atraviesa el cátodo, no se emitiría luz a menos que la frecuencia de la misma sea superior que la frecuencia del umbral, que era el valor mínimo admisible para que dicho fenómeno ocurriera. Este valor estaba en función al material [9]:

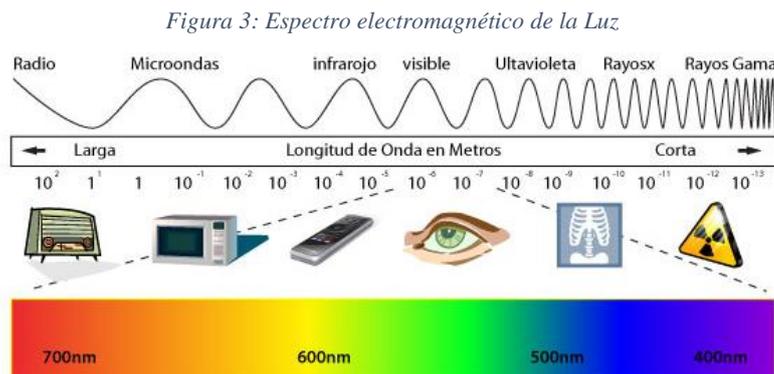
- METALES: se encontraba cerca del Ultravioleta (200 y 300 nm)
- Óxidos de Potasio y Cesio cerca del espectro visible (400 y 700 nm)

Estas fueron los cimientos que permitieron el surgimiento de una ciencia que cambiará la forma de estudiar el universo, llamada la Física cuántica, sin embargo, para que este fenómeno ocurriera tuvo que surgir una incógnita relacionada con el efecto fotoeléctrico.

4.2.1.2. *Catástrofe de la Ultravioleta*

Para entender el siguiente fenómeno hace falta definir un concepto sobre la materia y la luz, resulta que todos los cuerpos emanan luz en función a su temperatura y está puede ser visible o no dependiendo del rango de frecuencias en la que se propague; por ejemplo, el cuerpo humano puede emitir luz en función a su temperatura corporal, pero esta se propaga a través de una luz infrarroja. Esto se explica gracias a que las moléculas de los cuerpos siempre están en movimiento y producen Radiación térmica. [10]

Pues bien, si se observa las diferentes frecuencias que trabaja la luz (ver figura 3) se observa que si se aumenta la temperatura de un cuerpo (como un metal) lo suficiente esta deberá llegar a emitir luz ultravioleta, en otras palabras, esta se volvería invisible ante los ojos de un humano. [10]



FUENTE: <http://www.centraldefotografia.com/blog/wp-content/uploads/2011/10/Espectro.jpg>

Esto surgió numerosas incógnitas, ya que el metal que era calentado no obtenía la suficiente temperatura para realizar tal condición. La mayoría de científicos tuvieron que recurrir a numerosas hipótesis ya que en el siglo XX se pensaba que la radiación emitida esta únicamente en función a la temperatura. [11]

A. Cuerpo Negro

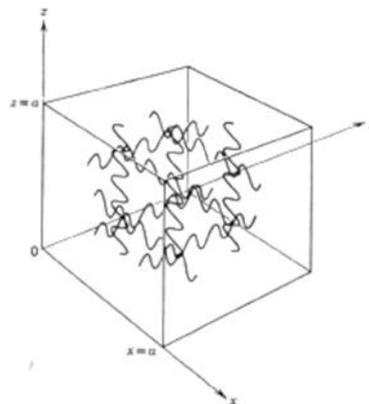
Este concepto fue introducido en la Física Clásica por el brillante científico Gustav Kirchoff, el cual definía un objeto ideal que no podía reflejar radiación, no podría emitir luz. Este objeto se utilizó para estudiar el comportamiento que poseía la luz ya que al ser estudiado a través de un objeto común sería casi

imposible debido a las diferentes formas de luz que estaban en el ambiente, por lo tanto, el cuerpo negro era representado por un objeto parecido a un cubo donde tenía un solo orificio por donde ingresaba la luz y al rebotar dentro por las diversas paredes del objeto, estas lo terminarían absorbiendo. Por lo tanto, qué luz o cantidad de radiación podría provenir de estos objetos; la principal teoría radica en la Luz Ultravioleta. [11]

El problema radicaba en que si la luz o el rayo de luz tenía la longitud de onda adecuada para ser albergada por las paredes del objeto este sería visible entonces podría haber numerosas formas de albergarla, esto se debía a que se pensaba que para producir algún tipo de rayo de luz en cualquier frecuencia se podía realizar bajo la misma cantidad de energía. Por lo tanto, si la onda se situaba en un lugar diferente rebotaría en las diferentes paredes hasta ser absorbida por las propias partículas del cuerpo negro.

Ahora si se estrechaba la onda, esta segunda tendría mayores posibilidades de encajar en más puntos de la caja y nuevas formas de hacerlo; por lo tanto, mientras más estrecha sea la onda, habrá más posibilidades de encajar dentro del cuerpo negro. Es decir que mientras más tienda al violeta más fácil será de desarrollar la onda. Ahora cuando un rayo llega dentro de la caja que se le está suministrando energía (calor) se forman infinitas cantidades de ondas que tratan de encajar o son absorbidas por el mismo objeto negro, entonces las ondas de luz con frecuencias más bajas serían aquellos que tendrían más posibilidades de mantenerse estables.

Figura 4: Cavity del Cuerpo negro Con distintas Ondas de luz



FUENTE: [13]

En la figura 4 se observan las diferentes ondas, algunas de estas son estacionarias mostrando un nodo en cada pared donde se encuentran, mientras que las demás rebotan en las distintas paredes para ser absorbidas posteriormente.

Esto quiere decir que si se tomará en cuenta que las ondas de violeta y los Ultra violetas (aquellos que están más Alla de del propio violeta) son las de frecuencias más bajas la luz que se emitiría de estas sería un rayo compuesto por estas que podría llegar a ser letal. Sin embargo, en la realidad estos hechos no sucedían, los científicos de la época encontraron emisiones de luz moderadas. Por lo tanto, a esta incongruencia física se le denominó la **Catástrofe de La ultravioleta**.

- La información detallada en este apartado fue otorgada por el Físico José Lis Crespo y el doctor en Física Javier Santaolalla por medio de recursos audiovisuales.

B. La Ley de Rayleigh – Jeans:

Al ver estas diversas problemáticas que surgían por los cuerpos negros, estos dos autores decidieron analizar la densidad de energía de la radiación en dichos cuerpos. Estos utilizaron la teoría del electromagnetismo clásico describiendo que la energía en el interior del cuerpo negro de existir en forma de ondas con nodos en sus superficies. Estos utilizaron diferentes intervalos de frecuencia para determinar que tanto porcentaje de este influenciaba en la energía del cuerpo negro, finalmente haciendo uso de la teoría cinética para encontrar la energía media que poseen dichas ondas cuando el sistema se encuentra en equilibrio. Por lo tanto, la radiación emitida por un cuerpo negro es: [13]

Ecuación 1: Ley de Rayleigh – Jeans

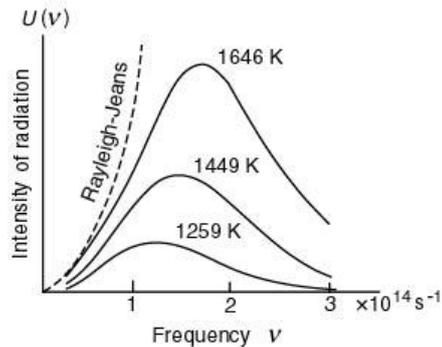
$$E(\nu) = \frac{8\pi\nu^2 k}{c^3}$$

Donde:

E(ν)	:	Radiación emitida de un cuerpo negro.
ν	:	Frecuencia.
k	:	Constante de Boltzmann.
T	:	Temperatura.
c	:	Velocidad de la Luz.

Sin embargo, esta ley presentaba un problema, pues la radiación estaba en función al cuadrado de la frecuencia y como no existen límites para esto; a frecuencias relativamente altas la radiación tiende al infinito. Lo cual no tiene sentido.

Figura 5: Radiación según la Ley de Rayleigh-jeans



FUENTE: http://ne.phys.kyushu-u.ac.jp/seminar/MicroWorld1_E/Part3_E/P34_E/Rayleigh_Jeans_E.jpg

C. La Ley de Wien

Por otro lado, Wilhelm Wien, mediante el uso de argumentos termodinámicos logró demostrar que la densidad energética del cuerpo negro, está en función al decrecimiento de la frecuencia de manera exponencial, Wien utilizó diversas graficas de distribución de radiación para encontrar la que satisfaga al fenómeno de los cuerpos negros; la cual se denominó Ley de desplazamiento de Wien que se describe como:[8]

Ecuación 2: Ley de Wien

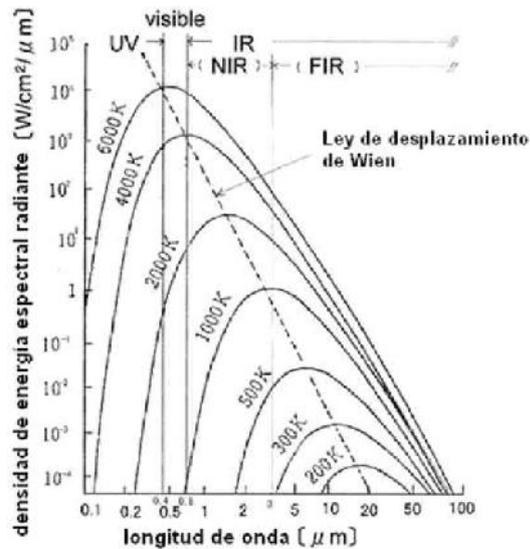
$$E(\Lambda, T) = \frac{C_1}{\Lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{c^2}{\Lambda T}} - 1 \right)}$$

Donde:

- Λ : Frecuencia.
- C_1 : Constante de Wien.
- T : Temperatura.
- c : Velocidad De la Luz.

Sin embargo, al igual que en el caso anterior esta ley funcionaba perfectamente con frecuencias altas, trabajar con aquellas que eran de frecuencias cortas no eran admisibles.

Figura 6: Grafica de la Radiación Según la Ley de Desplazamiento de Wien



FUENTE:

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRTKdJ7FwzBJtGcvAO2DDWCKr0x63A5I4bcERDx4HRT0hvTLiTq>

4.2.1.3. La Ley de Planck

Las dos teorías anteriormente mencionadas describen el comportamiento de la radiación de un cuerpo negro en función a su temperatura y a su frecuencia, pero ambos no podían trabajar en frecuencias extremas. Por lo tanto, se optó para trabajar bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, si el problema era de frecuencias muy elevadas se utilizaba la ley de Wien y si no la ley de Rayleigh – Jeans.

Sin embargo, esto convenció a muchos físicos y científicos, debía haber una forma de relacionar ambos principios en una sola ley.

Fue así como Max Planck determina que la energía no se propaga de manera continua si no de manera discreta, es decir concentrada, él afirmaba que la luz no estaba formada por ondas si no por pequeños paquetes de energía a los que denomino Cuantos. Estas agrupaciones emitían energía en función a la frecuencia, por lo tanto, cuando tenían bajas frecuencias los paquetes emitían energía demasiado pobre para ser relevante y al estar sometidas a altas frecuencias se necesitaba cada vez más energía para generar los paquetes.

Ahora si se podía explicar porque los cuerpos negros no emitían rayos de luz en ultravioleta, porque la energía que se proporcionaba a sus diferentes cuantos no era la suficiente para dar el salto hasta

este. Si se recuerda lo que se mencionaba en el apartado 4.2.2.1. los científicos de la época pensaban que para producir una onda de luz de cualquier frecuencia hacía falta la misma cantidad de energía, Planck determinó que no era verdad pues cada tipo de onda en función a sus condiciones físicas necesitaba cada vez un aporte mayor de energía.

Por lo tanto, si no llega a este no se producía dicha onda, si no una que el nivel de energía lo permita. Finalmente, Planck define la energía que un cuerpo como la siguiente:

Ecuación 3: Ley de Planck

$$E_f = h\nu$$

Donde:

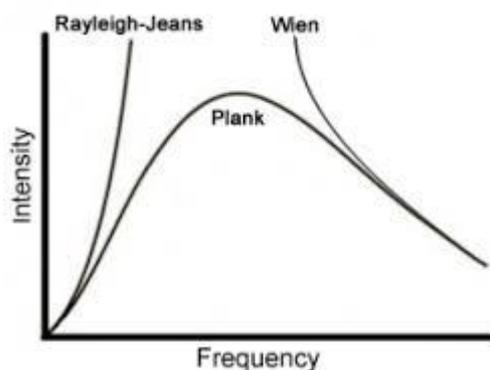
E_f : Energía

h : Constante de Planck

ν : Frecuencia

En la siguiente figura, se observa de manera comparativa, las tres leyes que buscaron dar respuesta a la catástrofe de la ultravioleta, se observan como el comportamiento de la ley de Planck coincide con las distribuciones de la de Rayleigh-jeans y Wien (donde estas eran estables). [14] [15]

Figura 7: Distribución de las Leyes sobre el Comportamiento de la Radiación en Cuerpos Negros



FUENTE:

<http://www.daggingcats.com/wordpress/wp-content/uploads/2008/10/rayleigh-jeans-plank-wien-300x236.png>

Esto cambió no solo la forma en que los científicos observaban la propagación de energía, si no su forma de ver el universo y en las minúsculas partículas que lo conformaban; ya que esta ley fue uno

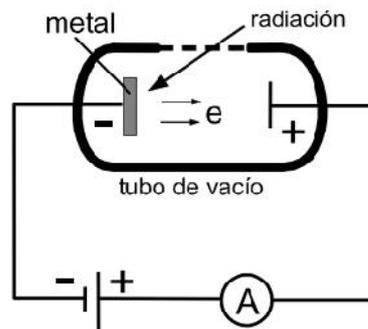
de los pilares fundamentales de una ciencia que revolucionó la Física, La Física Cuántica.

4.2.1.4. *Albert Einstein y el Efecto Fotoeléctrico*

Es posible que los diversos teoremas o conceptos anteriormente detallados no guarden una relación con el tema del proyecto o quizá entre ellos mismos, pero lo hacen; la mayoría de proyectos científicos de investigación permite el surgimiento de nuevos, tal es el caso de Planck y Einstein.

Este fenómeno, como se ha detallado en apartados anteriores, se expresa como la emisión de electrones por medio de un conductor (como un metal) cuando incide sobre esta radiación electromagnética como se observa en la figura 8, es posible que estos electrones formen parte de un circuito eléctrico pudiendo así producir una intensidad de corriente.

Figura 8: Efecto Fotoeléctrico



FUENTE: [16]

Los diversos hechos fundamentales realizados por la Física Clásica presentaban inconvenientes, el autor [17] enumera estos diferentes hechos:

- Según el electromagnetismo, la energía cinética máxima de los electrones deberá aumentar con la intensidad de la luz.
- Para cualquier Frecuencia de la Radiación incidente se deberán emitir electrones, con tal que esta sea lo suficientemente grande.

- Si la intensidad de luz es suficientemente débil, como esa se distribuye uniformemente en el haz, deberá haber un retraso entre la recepción de la luz y la emisión de electrones, esta variación permitiría a los electrones adquirir suficiente energía para salir del conductor eléctrico.

Sin embargo, no fue hasta 1905 que, uno de los científicos más famosos del siglo XX, Albert Einstein con ayuda de la Teoría de Planck sobre los cuantos de energía logro explicar dicho fenómeno. Einstein no solo supuso que la energía está distribuida en forma discreta si no toda la radiación era constituida por partículas diminutas llamadas fotones (partículas indivisibles); Supuso un comportamiento Corpuscular en un primer momento¹.

Sin embargo, al suponer que la luz se comportaba como una partícula, esta al chocar con un electrón se daría automáticamente su energía a este, como había postulado Planck, para que esto sucediera era necesaria un mínimo de frecuencia según el tipo de material del conductor, la cual se denominaba Frecuencia umbral.

Por lo tanto, la energía mínima que requiere el fotón para extraer un electrón de un metal o Trabajo de extracción o función de trabajo se define como [16]:

Ecuación 4: Trabajo de Extracción

$$W_e = h\nu_0$$

Siendo:

W_{ext}	:	Trabajo de Extracción.
h	:	Constante de Planck.
ν_0	:	Frecuencia Umbral.

Sin embargo, o toda la energía no aprovechada será destinada para que el electrón obtenga energía cinética:

¹ La teoría Corpuscular y ondulatoria fueron tópicos de la física que describían el comportamiento de la luz en la primera se señaló que está formada por partículas y en la segunda que se propagaba como una onda.

Ecuación 5: Energía proveniente de un Fotón

$$E_f = W_e + E_k$$

Siendo:

W_e : Trabajo de Extracción.
 E_k : Constante de Planck.
 E_f : Energía Total.

Reemplazando la ecuación 3 y 4 en la ecuación 5, se define la energía cinética como:

Ecuación 6: Energía Cinética de un Fotón

$$E_k = h(\nu - \nu_0)$$

Siendo:

ν : Frecuencia real del sistema

Por lo tanto, la teoría de Einstein permite explicar y aclarar ciertos conceptos sobre el efecto fotoeléctrico [16] [17]:

- La emisión de los Electrones es instantánea, ya que el fotón cede instantáneamente su energía, a pesar que la intensidad de la radiación incidente sea muy pequeña, en el momento de su llegada al conductor esta empezará a emitir electrones
- Existe una frecuencia de umbral, la cual define la frecuencia mínima para que se dé la extracción o el salto del electrón.
- La Frecuencia del Umbral depende del material del conductor.
- El número de electrones emitidos (Corriente Eléctrica) dependerá de la magnitud de la frecuencia, sin embargo, a mayor número de fotones incidiendo sobre el conductor mayor será el número de electrones que darán el salto energético.

Este fenómeno ha permitido el estudio y aplicación de diversas tecnologías como Paneles Solares, Resistencias fotoeléctricas, fotómetros, entre otros.

4.2.2. Fundamentos de la energía

4.2.2.1. Definición de Energía

El concepto de energía no es posible definir de forma explícita, se hace en función a términos desglosados de la misma como energía cinética, potencial, etc. Los conceptos de energía se relacionan directamente con las leyes de la termodinámica y con el principio de conservación de la energía, una de las muchas definiciones que se posee es la siguiente “Es la capacidad de producir un efecto sin llegar a relacionarlo con el principio de conservación” esto se asemeja con la concepción mecanicista de la misma que la señala como la capacidad de realizar un trabajo. Por lo tanto, se puede concluir que la energía es aquella propiedad que hace que los sistemas cumplen con sus funciones o acciones, y que esta se conserva, trasmite o se transforma. [18]

4.2.2.2. Propiedades de La Energía

El autor [18] define a continuación las principales propiedades de la energía:

- **Se transforma:** La energía no se crea ni se destruye. Solo se transforma.
- **Se conserva:** La energía no se destruye.
- **Se transfiere:** Puede transferirse bajo ciertas condiciones de un cuerpo a otro.
- **Se degrada:** En todo proceso de intercambio energético, parte de esta no es aprovechada y por ende se degrada.

4.2.2.3. Tipos de Energía

La energía que se encuentra en los diferentes sistemas del universo, como ya se ha mencionado, puede manifestarse de distintas formas, algunas de las formas más comunes que esta presenta se describe a continuación [19]:

A. Energía Cinética

Energía que se define en función a su movimiento, Es decir es el trabajo necesario para acelerar un cuerpo con una masa determinada desde el reposo hasta el movimiento.

B. Energía Potencial

Es la energía que tiene un cuerpo por estar una determinada altura o su posición que se encuentre dentro de un campo de fuerzas determinadas (como un objeto dentro del campo gravitatorio del planeta)

C. Energía Mecánica

Es aquella energía que poseen los cuerpos en función a su posición y a su movimiento, es decir en función a la energía cinética y a la potencial.

D. Energía Térmica o Calorífica

Se trata de la energía que poseen los diferentes cuerpos en función a su temperatura. Este tipo de energía está en función al movimiento caótico que poseen las diferentes partículas de un cuerpo.

E. Energía Química

Es la energía almacenada en los diversos enlaces químicos que unen a los diversos átomos y moléculas de la materia.

F. Energía Eléctrica

Energía asociada con la corriente eléctrica o cargas eléctrica en movimiento, es la forma más versátil que puede ser transformada en diversas formas de energía fácilmente.

G. Energía Radiante o Electromagnética

Es aquella energía que está presente en las diversas ondas electromagnéticas y la radiación como la luz, ondas de radio, rayos X, etc. La principal característica de esta energía es que puede propagarse a través del vacío. Un ejemplo bastante claro de esto es la energía luminosa proveniente de las estrellas que se propaga por el vacío del espacio.

4.2.2.4. Fuentes de Energía

El autor [20] define las fuentes de energía en función a su disponibilidad, los cuales se enumeran a continuación:

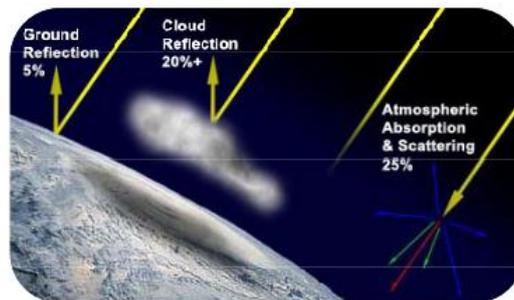
A. Fuentes Renovables

Son todas aquellas cuyo potencial es considerado inagotable, ya que proviene de se mantiene continua en el planeta. La fuente [21] detalla diferentes ejemplos de estas fuentes a continuación:

- Bioenergía: En un tipo de energía química que se obtiene de la biomasa.

- Energía Geotérmica: Es aquella energía que se obtiene a partir del calor proveniente del interior de la tierra.
- Energía Hidroeléctrica: Es aquella energía que se obtiene a partir de las fuerzas de los diferentes recursos hídricos en la tierra.
- Energía Eólica: Energía extraída de la fuerza
- Energía Solar:
Energía Renovable que se obtiene a partir de la radiación del Sol. Este astro emite continuamente radiación a hacia todo el espacio, e irradia aproximadamente $1,7 \times 10^{14}$ kW, la tierra capta un aproximado del 10% de esta energía. La radiación se propaga de manera difusa y directa, es decir que alcanza la superficie de la tierra directamente con una pequeña reflexión que sucede en la atmosfera [22]:

Figura 9: Reflexión de la Radiación Solar



FUENTE: [22]

En la Figura 9 se observa que parte de la radiación es reflejada por las nubes, la superficie terrestre o por la propia atmosfera cuando la luz entra en contacto con ella

B. Energías No renovables

Son aquellas Energías que existen dentro de la naturaleza de manera limitada; se renuevan a largo plazo y se agotan fácilmente al ser usadas. Entre ellas se pueden encontrar: El carbón, Petróleo, Gas natural y El uranio.

4.2.3. *Sistemas de Generación Fotovoltaica*

Los sistemas de generación fotovoltaica consisten en la transformación directa de la radiación del Sol en electricidad por medio de las células solares siguiendo el principio del Efecto Fotoeléctrico. Estos diversos sistemas han permitido llevar un suministro eléctrico a diferentes zonas aisladas de sistemas eléctricos.[22]

Figura 10: Paneles Fotovoltaicos



FUENTE:

<http://www.sistemasfotovoltaicosags.com/wp-content/uploads/2014/08/slide1-960x430.jpg>

4.2.3.1. *Clasificación de Sistemas de Generación Fotovoltaicos*

La clasificación de estos sistemas se clasifica según la aplicación de los equipos que principalmente son las siguientes[22]:

A. Sistemas Aislados de la Red eléctrica

Estos equipos también denominados Autónomos u “Off Grid” son aquellos que aprovechan la conversión fotovoltaica para cubrir una demanda eléctrica en lugares remotos, aislados o no conectados a la red eléctrica; estos son competitivos con los sistemas convencionales en términos de costos o de fiabilidad.

Estos sistemas presentan configuraciones y componentes que permiten el uso de cargas tanto en corriente alterna como corriente continua a través de un inversor.

Los sistemas aislados pueden presentar variaciones junto con otras fuentes de energía como Sistemas Eólico-fotovoltaico, fotovoltaico-Diesel, etc.

Dentro de sus diversas aplicaciones principalmente se encuentran:

- Sistemas de Electrificación.
- Aplicaciones espaciales para equipos satelitales o como una estación espacial internacional.
- Sistemas Agrícolas.
- Alumbrado público o señalización.

Figura 11: Sistema Fotovoltaico Aislado



FUENTE:

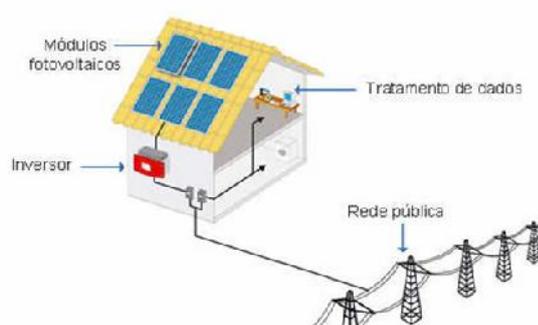
http://1.bp.blogspot.com/-zI-MwxrwQw4/T-knsbE1meI/AAAAAAAAABUI/k1QgbTzeuU/s1600/IMG_7517.JPG

B. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica

Estos sistemas también denominados On Grid, a diferencia de los anteriores tienen como función maximizar anualmente la producción de energía de la red eléctrica. Entre las principales aplicaciones que posee el sistema se puede encontrar:

- Integración de Edificaciones, la instalación está físicamente situada en el edificio que generalmente está en una zona urbana.
- Centrales Fotoeléctricas, que permiten aumentar la producción de energía eléctrica en las redes.
- Generación Distribuida, es un tipo de generación eléctrica que permite a los usuarios generar energía desde pequeñas fuentes para suministrar a las Redes de transporte eléctrico.

Figura 12: Sistema Fotovoltaico On Grid



FUENTE:

<https://glennhomej.files.wordpress.com/2014/07/sistema-on-grid1.jpg>

4.2.3.2. Principales Componentes de un Sistema de Generación Fotovoltaico

El autor [22] describe los principales artefactos o dispositivos que intervienen en el proceso de generación por medio de Sistemas Fotovoltaicas:

A. Módulo Fotovoltaico

A.1. Generalidades

Es aquel Dispositivo formado por células fotovoltaicas, estos equipos son el elemento principal del sistema. Su funcionamiento está basado en el efecto fotoeléctrico, pues es gracias a ellos que se da la conversión de la radiación solar en electricidad (específicamente en corriente Continua).

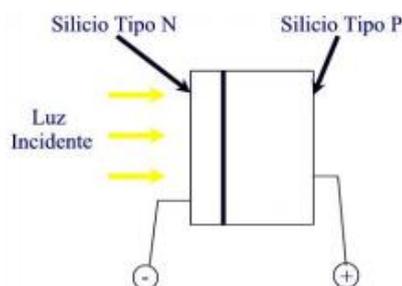
A.2. Estructura

La célula presenta dos zonas o partes:

- Capa N o negativa (electrón Libre), que es aquella capa delgada que está expuesta a la radiación solar.
- Capa P o positiva (Hueco Disponible) es aquella que presenta un espesor más grande.

Ambos están formados por un material semiconductor, entre estas dos capas se forma el campo eléctrico, además de conectarse entre ellos un conductor externo que permita la conexión de la capa negativa a la positiva permitiendo así el flujo de electrones o corriente eléctrica (ver figura 13).

Figura 13: Zonas y Partes de una Celda Fotovoltaico

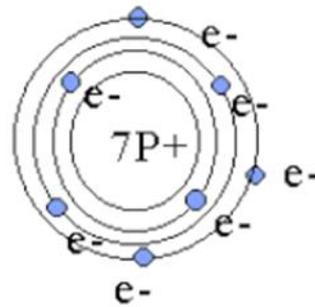


FUENTE: [38]

A.3. Funcionamiento

Sin embargo, para entender mejor la figura 13 y las denominaciones electrón libre y hueco disponible, se debe retomar al efecto fotoeléctrico. Se sabe que los diferentes cuerpos están formados por moléculas lo cuales presentan una carga eléctrica negativa (electrones) y una carga positiva (Núcleo), esto permite que su naturaleza sea estable y sea eléctricamente neutra (esto señala que el número de protones y el número de electrones es el mismo, ver figura 14).

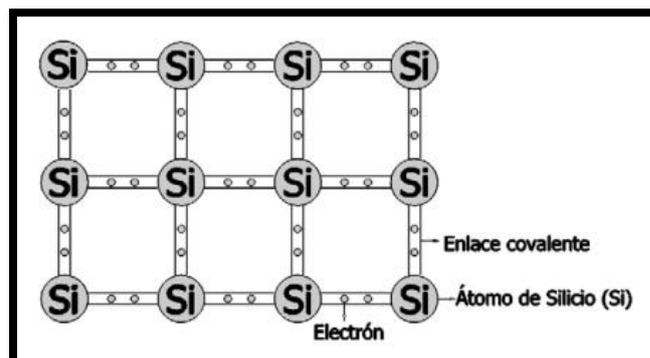
Figura 14: Átomo estable y Eléctricamente Nulo



FUENTE: [38]

Los electrones que se encuentran en el último nivel energético, son aquellos electrones que permiten la interacción con otros átomos, con ellos es posible realizar cadenas para así formar enlaces químicos que les permitan ser más estables que pueden relacionarse por intercambio, ser compartidos. Por ejemplo, en el caso del Silicio (Si) presenta 4 electrones de valencia, por lo tanto, son los que puede compartir o ceder de su átomo, en una red cristalina esto le permite asociarse con otros silicios para formar cadenas (ver figura 15)

Figura 15: Red Cristalina de Silicio



FUENTE: [38]

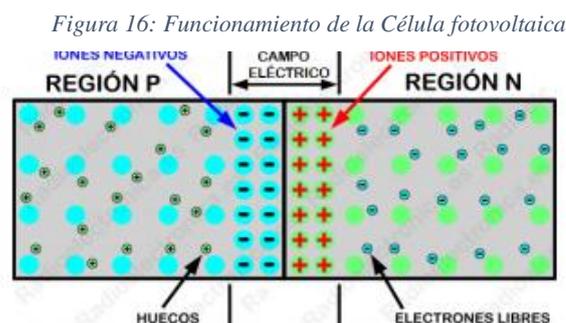
Debido a que el tipo de material más usado para realizar un módulo o panel fotovoltaico es un semiconductor como el Silicio, ya que el enlace covalente que une a sus átomos es similar al comportamiento de los fotones, cuando la radiación incide sobre dicho material rompe los enlaces que poseen los electrones de valencia y su núcleo quedando libres para circular a través del semiconductor.

El electrón que es liberado deja un espacio vacío que presenta una carga de igual magnitud, pero con una carga opuesta, el problema es que los electrones liberados pasan a ocupar los huecos cedidos por los anteriores y esto ocasiona que huecos y electrones circulen la misma dirección entonces se restablece el enlace sin producir una corriente eléctrica. Para que esto no suceda es necesario producir un campo magnético en el semiconductor

Para generar dicho campo magnético es necesario se trata químicamente las dos regiones P y N. en ambos casos se han reemplazado diferentes átomos para que sea posible el flujo constante de electrones:

- En la zona N se reemplazan por moléculas de Fosforo que poseen 5 electrones de valencia debido a que el silicio posee 4, esto dejaría uno disponible para el intercambio energético.
- En la Zona P se reemplazan por moléculas de Boro que poseen 3 electrones de valencia, esto permite que quede un hueco disponible por la diferencia de electrones.

Esto permitirá que los electrones fluyan por ambas capas o zonas a través del conductor intermedio produciéndose de esta manera un campo eléctrico entre P y N. [38]



FUENTE: [38]

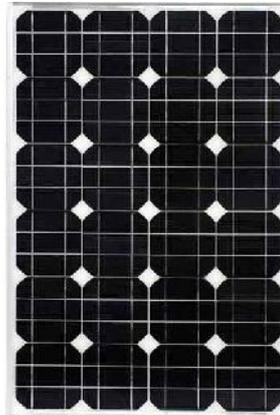
A.4. Clasificación

Como se mencionó anteriormente el material más común o usual para la manufactura de paneles es el Silicio, el autor [22] detalla a continuación los tipos de paneles más empleados en estos sistemas:

- Celdas de Silicio Monocristalino

Son creadas a partir de un único cristal cilíndrico de silicio, es la tecnología más eficiente que existe la cual se encuentra alrededor del 15%. Debido a que su manufactura emplea grandes cantidades de recursos, su costo en el mercado es elevado.

Figura 17: Panel Fotovoltaico de Celdas de silicio monocristalinas



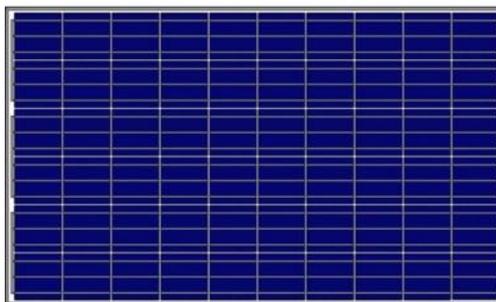
FUENTE:

<http://www.energiamoderna.com.ar/imagenes/productos/panel-solar-40w-monocristalino.jpg>

- Celdas de Silicio Policristalinos

Su proceso de manufactura es similar al de los monocristalinos, sin embargo, no necesita un riguroso control de temperatura en la etapa de enfriamiento, por lo tanto, el consumo de recursos para su fabricación es ligeramente menor, esto hace que su costo en el mercado sea inferior, a la eficiencia que presenta también es más pequeña alrededor del 12%

Figura 18: Panel fotovoltaico formado por células de Silicio policristalino



FUENTE:

http://ecofener.com/3666-thickbox_default/kit-autoconsumo-de-15kw-sin-inyeccion-a-red-con-paneles-amerisolar-inversor-galvo-y-monitorizacion-por-internet.jpg

- Celdas de Silicio Amorfo

Estas celdas de silicio pueden absorber con mayor eficacia la radiación del sol, presentan capas más delgadas y son baratas de producir, su eficiencia se encuentra alrededor del 6%.

Figura 19: Celdas de Silicio Amorfo



FUENTE: [22]

B. Acumuladores

B.1. Generalidades

Estos equipos son un conjunto de baterías asociadas de tal manera que permitan que las diferentes cargas en el sistema puedan ser utilizados. Estos deber estar dimensionados adecuadamente en función a condiciones ambientales de la zona y deben soportar energía suficiente. Estas baterías se utilizan en gran medida para sistemas fotovoltaicos autónomos, aunque hay excepciones como los sistemas de

bombeo de agua con energía fotovoltaica; generalmente no son usadas para sistemas fotovoltaica On Grid

B.2. Clasificación

Se pueden identificar baterías de:

- Plomo-Ácido: Se adaptan bien a la operación en Sistemas fotovoltaicos cuando cuenten con mantenimiento adecuado.
- Plomo-Calcio: requieren menor mantenimiento y poseen menor auto descarga.
- Plomo-Antimonio: Se deterioran más rápido y presentan mejores prestaciones para niveles bajos de carga.

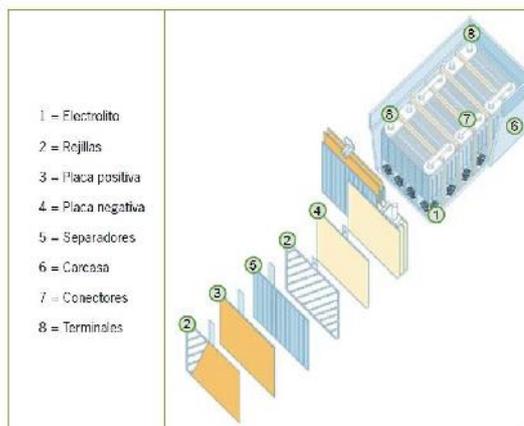
Se debe tomar en cuenta que existen baterías que no son apropiadas para estos sistemas entre los cuales se encuentran:

- Níquel-Hierro.
- Níquel-Zinc.
- Zinc-Cloro.
- Ion-litio.

B.3. Funcionamiento

Los acumuladores de plomo ácido o baterías electroquímicas funcionan mediante electrodos que reacciona de manera reversible y que permiten acumular energía para posteriormente liberarla cuando se conecta a una carga externa. Estas están constituidas por placas (ver figura 20)

Figura 20: Baterías de Plomo - Ácido



FUENTE:

http://3.bp.blogspot.com/-hEfCM_73uP0/TpMU792GzgI/AAAAAAABwU/aQ8o0GvPDwU/s1600/Plomo%2Bacido%2B2.JPG

Estas placas están formadas por un electrodo negativo y positivo, que funcionan como un ánodo y cátodo que permiten la entrada y salida de la corriente eléctrica.

C. Regulador de Carga

C.1. Funcionamiento

Estos equipos son sistemas que permiten un proceso de optimización de carga de la batería; es decir evitan que ocurra una sobrecarga o una sobre descarga. Además, permite controlar la intensidad de corriente producida por los módulos fotovoltaicos hacia las baterías. Algunas también permiten el corte de suministro desde las baterías si detectan que las mismas están a un nivel de carga peligrosamente bajo. Todas estas características permiten que la vida útil de los equipos sea más prolongada.

C.2. Clasificación

A. Regulador MPPT

Presenta tecnología MPPT o Seguidor de Punto de Máxima Potencia, es ideal para módulos con altos voltajes (hasta 100 V) y ofrecen una mejor garantía. Estos sistemas permiten suministrar o cargar a las baterías con el voltaje máximo del panel, así este sea inferior al de la batería. Por ejemplo, si las baterías se cargan a 12 V y el panel suministra a 15 V no habrá problemas.

Figura 21: Regulador de Carga MPPT



FUENTE:

<http://www.mpptsolar.com/es/imagenes/productos/reguladores/conexiones-regulador-solar-mppt.jpg>

B. Regulador de Carga PWM

Son esenciales para sistemas de baja capacidad y presentan una vida útil muy alargada, presentan tamaños de hasta 60 A. Estos reguladores no permiten que se trabaje a diferentes voltajes, entre el panel y el acumulador, por lo que pueden generar un 30% adicional de pérdidas de energía.

Figura 22: Regulador de Carga PWM



FUENTE:

https://www.rebacas.com/2263-thickbox_default/regulador-pwm-steca-pr3030-30a.jpg

D. Inversor De Corriente

Estos dispositivos permiten la transformación de corriente continua que es generada por los paneles fotovoltaicos a corriente alterna ya que diversos equipos o cargas trabajan con este tipo de corriente.

Figura 23: Inversor de Corriente



FUENTE:

<http://www.esco-tel.com/inversor-de-corriente1.jpg>

E. Otros Dispositivos

Como dato adicional se detallarán otros equipos que intervienen dentro del sistema de Generación Fotovoltaico, estos serán equipos de protección posteriores al inversor:

E.1 Interruptor Termomagnético

Es un dispositivo de protección que permite proteger a los conductores del sistema eléctrico frente a sobrecargas. Se acciona cuando supera su corriente de disparo que es aproximadamente 1.45 veces su corriente nominal. [25]

Figura 24: Interruptor Termomagnético o ITM



FUENTE:
[25]

E.2 Interruptor Diferencial

Es un sistema de protección que permite proteger a los equipos y personas de corrientes de fuga a tierra o por contacto directo o indirecto. [26]

Figura 25: Interruptor Diferencial



FUENTE: [26]

Estos diferentes equipos son necesarios debido a que en muchos casos los aislantes, tuberías o canalización, inclusive cajas de conexiones no son suficientes para proteger a los usuarios y a los equipos.

V. SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL EN LA ZONA RURAL

5.1. Electrificación rural en el Perú

En el Perú, a pesar de su creciente economía, presente deficiencia en ciertos aspectos de su cultura como es el suministro eléctrico. El Plan energético de Electrificación Rural (PNER) 2016-2025 [27] ha determinado que para el 2015 se ha cubierto el 93,3% de la población nacional y de las Zonas rurales únicamente el 78%. Esto muchas veces surge por la falta de diversos factores:

- La Zona Rural está alejada de la Red Eléctrica.
- La zona Rural se encuentra en un lugar muy adverso o muy peligroso para llevar infraestructuras.
- Las condiciones de la zona rural no permitirían una remuneración suficiente para el desarrollo del proyecto.

Es por ello que se han considerado diversas alternativas para la inclusión energética nacional, Según el Plan energético Nacional [28], se tomarán en cuenta las siguientes alternativas para la integración regional de la Comunidad andina (ya que en esto se basará principalmente):

- El Sistema de Transporte en 500 kV y 220 kV en el país se seguirá financiando y mejorando.
- Las actividades empresariales en el transporte de energía eléctrica se seguirán aportando oportunidades de comercio.
- Se incluirá hasta 500 mil paneles solares que podrán llevar electricidad a casi 2.2 millones de peruanos en zonas aisladas de la red.

Por lo tanto, se puede observar que el gobierno peruano tiene un plan donde que se ejecutará eventualmente, estos permitirán que la calidad de vida de muchas personas mejore.

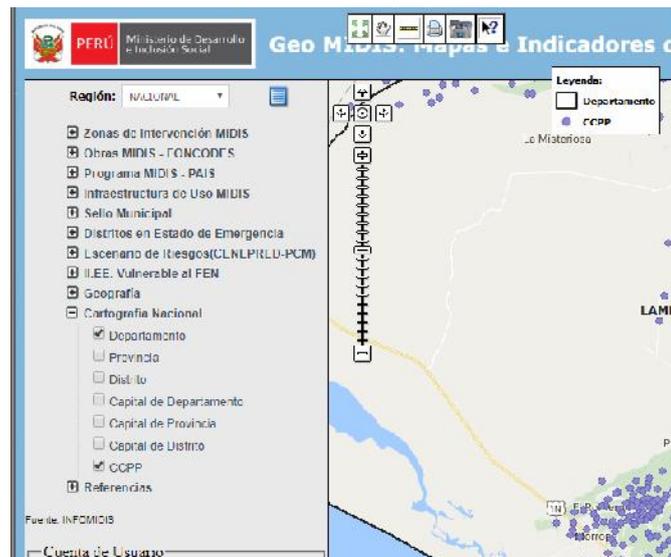
En este proyecto se buscará identificar estos diferentes problemas y de plantear un modelo de sistema de generación fotovoltaico más productivo.

5.2. Identificación de La Comunidad Rural

Para el desarrollo del proyecto se tomará en cuenta una comunidad rural no conectada a la red, para ello y como ejemplo para futuros estudios se ingresará a la página del Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social o MIDIS², dentro se ubicará el “Geo MIDIS, mapas e indicadores del MIDIS”. Como se observa en la figura 26, se selecciona en el menú desplazable la Cartografía Nacional y Dentro de este CCPP o Centro Poblado.

² <http://sdv.midis.gob.pe/GEO.MIDIS/>

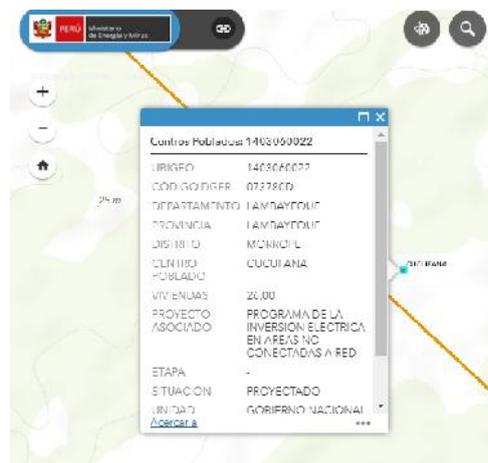
Figura 26: Menú Desplegable con Indicadores MIDIS



FUENTE: Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social

Para este proyecto se identificó la comunidad Rural “Cucufana”. Para comprobar si este centro poblado no cuenta con suministro eléctrico se ingresará a las páginas del Ministerio de Energía y Minas³ o al Sistema de información Geográfico del Instituto Nacional de Estadística e Información⁴; en ambas datas se puede observar las comunidades andinas, En el caso de la MINEM se busca manualmente lo que puede resultar más tedioso, aunque se visualiza el sistema eléctrico Interconectado Nacional (Ver figura 27).

Figura 27: Mapa de la MINEM



FUENTE: Ministerio de Energía y Minas

³ http://mapas.minem.gob.pe/MAP_DGER/

⁴ <http://sige.inei.gob.pe/test/atlas/>

La información que la MINEM ofrece acerca de la comunidad rural se muestra en la tabla 1:

Tabla 1: Datos Del Centro Poblado Cucufana

UBIGEO	1403060022
CODIGO DGER	073780D
DEPARTAMENTO	LAMBAYEQUE
PROVINCIA	LAMBAYEQUE
DISTRITO	MORROPE
CENTRO POBLADO	CUCUFANA
VIVIENDAS	26
PROYECTO ASOCIADO	PROGRAMA DE LA INVERSIÓN ELÉCTRICA EN AREAS NO CONECTADAS A RED
ETAPA	-
SITUACIÓN	PROYECTADO

FUENTE: Ministerio de Energía y Minas

Por otro lado, la INEI ofrece una interfaz mucho más accesible, en la figura 28, se observa que en el sitio web hay un menú de búsqueda que permite seleccionar o definir la ubicación del centro poblado o la zona donde se desea encontrar uno.

Figura 28: Sistema de Información geográfica



FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Información

Se muestra en la siguiente tabla la información recopilada por la INEI sobre el Centro Poblado Cucufana.

Tabla 2: Información del Centro Poblado Cucufana

Descripción	Total
DEPARTAMENTO	LAMBAYEQUE
PROVINCIA	LAMBAYEQUE
DISTRITO	MORROPE
CENTRO POBLADO	CUCUFANA
CATEGORIA	-
CODIGO DE UBIGEO Y CENTRO POBLADO	1403060022
LONGITUD	-80,02632418
LATITUD	-6,499616771
ALTITUD	27,56
POBLACION	230
VIVIENDA	26
AGUA POR RED PUBLICA	no
ENERGIA ELECTRICA EN LA VIVIENDA	no
DESAGUE POR RED PUBLICA	no
VIA DE MAYOR USO	camino carrozable
TRANSPORTE DE MAYOR USO	moto/mototaxi

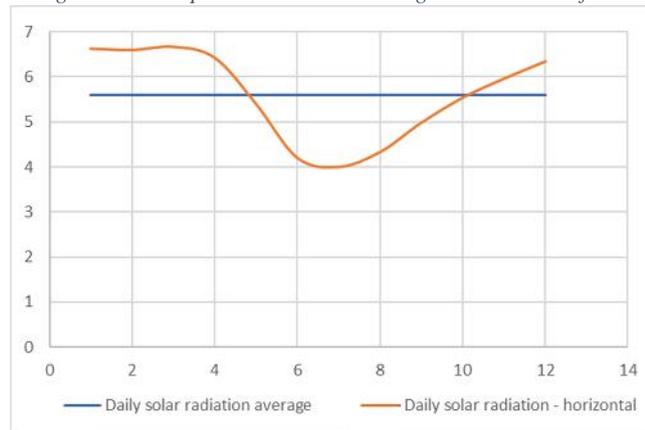
FUENTE: Instituto Nacional de Estadística e Información

Es importante señalar que este proyecto toma esta comunidad andina con una data presentada por diversos ministerios actualizada hasta el 2016, para objeto de estudio únicamente es referencial. Los lectores podrán tomar datas más actuales ya que con conforme este proyecto se desarrolle esta puede ser alterada.

5.3. Estudio de Radiación en el CCPP Cucufana

En el apartado anterior, se observó que Cucufana no cuenta con suministro eléctrico. Por lo tanto, se estudiarán si las condiciones climáticas son óptimas para el aprovechamiento de la radiación solar; se utilizarán tres diferentes fuentes que señalarán un valor promedio de la radiación de dicha zona a través de sus coordenadas.

Figura 30: Comportamiento de la Energía Sola en Cucufana



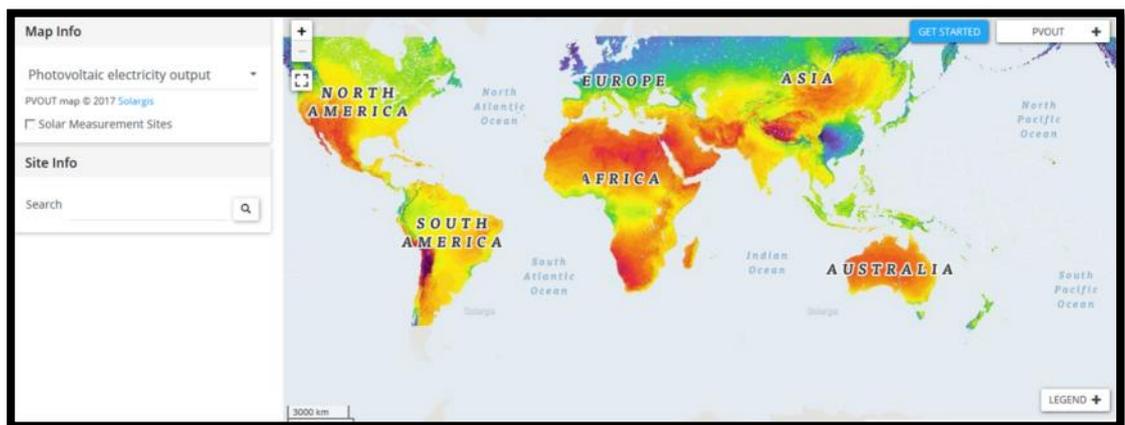
ELABORACIÓN PROPIA

Para la corroboración del uso de estos datos, se recurrirán a dos fuentes alternativas: “Global Solar Atlas”⁶ y “SOLARGIS - IMAPS”⁷; esto se hará debido a que la data que ofrece la NASA es una proyección desarrollada a partir del monitoreo cuya última actualización fue en el año 2008.

– **Global Solar Atlas**

La interfaz de esta página web ofrece una calculadora para determinar el recurso solar o radiación solar en una determinada área. Por lo tanto, se toma la ubicación planteada y se identifica el valor de 5,756 KW-h/m² diarios; el cual se acerca bastante al promedio entregado por la NASA.

Figura 31: Interfaz de la Global Solar Atlas



FUENTE: Global Solar Atlas

⁶ <http://globalsolaratlas.info>

⁷ <https://solargis.info/imaps/>

– **Solargis**

Este sitio web que está vinculado con el Global Solar Atlas ofrece una visión parecida que el anterior, la interfaz es muy similar ya que se utilizan coordenadas donde se quiera obtener información.

Figura 32: Interfaz de Solaris



FUENTE: Solaris

Esta página otorga un valor de radiación de 2097 kW-h/m² anuales; se convertirá este valor a kW-h/m² diarios:

$$P = 2097 \frac{k - h}{m^2 \cdot \text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 d} = 5,745 \frac{k - h}{m^2 \cdot d}$$

- Ambas fuentes están actualizadas hasta el año 2018.

Debido a que a los datos obtenidos de las diferentes fuentes muestran gran similitud se optará por utilizar 4,01 KW-h/m² diarios.

VI. EVALUACIÓN DE ENERGÍA SUMINISTRADA

6.1. Evaluación de la Calificación Eléctrica

El siguiente estudio permitirá establecer la demanda apropiada para el centro poblado cucufana, para esto se tomará en cuenta la norma DGE “Calificación eléctrica Para la Elaboración de Proyectos de Subsistemas de Distribución Secundaria” (Anexo 1), por lo tanto, de acuerdo a la ley N° 0442-2018-OS/CD se considerará para una zona rural un sector típico 5 por lo cual se utilizará una calificación eléctrica.

Figura 33: Tabla de Clasificación Eléctrica

Cuadro N° 2 - Calificación Eléctrica para la Elaboración de Proyectos de Subsistemas de Distribución Secundaria de acuerdo a la R.D. N° 015-2004-EM/DGE

Tipo de habilitación	Sector de Distribución Típico 1 W	Sector de Distribución Típico 2 W	Sector de Distribución Típico 3 W	Sector de Distribución Típico 4 W	Sector de Distribución Típico 5 W
a) Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 1 (Zonas R1-S y R1)	1 500 + 3 W/m ² hasta un máximo de 10 kW (suministro trifásico)	800 + 1 W/m ² hasta un máximo de 5 kW (suministro trifásico)	—	—	—
b) Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 2 (Zona R2)	1 500	800	—	—	—
c) Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 3 (Zona R3)	1 300	700	500	—	—
d) Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 4 (Zona R4)	900 (suministro monofásico)	900 (suministro monofásico)	700 (suministro monofásico)	—	—
e) Habilitaciones de alta densidad poblacional, para viviendas multifamiliares	11 W/m ² del área techada total, con un mínimo de 900 W	11 W/m ² del área techada total, con un mínimo de 700 W	—	—	—
f) Habilitaciones para vivienda taller (Zona I1-R)	1 000	1 000	1 000	—	—
g) Habilitaciones para viviendas en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificadas como Centros Poblados, incluyendo agrupaciones de vivienda en zonas rurales	700 300 (*) (suministro monofásico)	300 200 (*) (suministro monofásico)	250 200 (*) (suministro monofásico)	250 200 (*) (suministro monofásico)	200 (suministro monofásico)
h) Habilitaciones para viviendas en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificadas como Asentamientos Humanos Marginales o Pueblos Jóvenes	700 (suministro monofásico)	400 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	250 (suministro monofásico)
i) Habilitaciones pre-Urbanas, tipo pecuario o huertas (Zona P-U)	2 000	1 500	1 500	1 000	1 000
j) Lotizaciones para la industria elemental y complementaria de apoyo a la industria de mayor escala (Zona I1)	4 000	1 100	—	—	—

(*) Se autorizan Demandas Máximas menores, si se sustentan con estudios justificativos.

Nota: El Cuadro N° 2 será de aplicación a partir del 2005-11-01.

Nota: Donde no se indica el tipo de suministro, puede ser monofásico o trifásico, debiendo precisarse mediante coordinación con el Concesionario.

FUENTE: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía

Por ende, se selecciona una calificación eléctrica de 200 W/lote para un suministro monofásico para un tipo de habitación para viviendas en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas) identificadas como centros poblados, incluyendo agrupaciones de vivienda en zonas rurales.

Sin embargo, la Osinerning ha realizado estudios donde los diversos Sistemas eléctricos Rurales (SER) que se desarrollaban con equipos de generación Fotovoltaica; se dimensionaban muy cerradamente con la misma ley aplicada al 2014 que implicaba una C.E. de 200W/lote. Esto puede señalar un problema porque dicho suministro puede ser muy insuficiente para permitir a un centro poblado proyectarse a un crecimiento económico y tecnológico.

Por ello el autor [29] realizó estudios donde se muestran distintas áreas rurales electrificadas, el objetivo del proyecto era analizar el crecimiento económico de las áreas rurales para identificar qué factores impiden a estos pueblos salir de la pobreza. Determinando de este modo que existe una ligación entre desarrollo

humano y electrificación. Se determinó que la mayoría de pueblos en la Costa cuentan con servicios de hasta 733 W-h/día sin embargo estos se encontraban sobredimensionados ya que los consumos mensuales en diversas casas eran inferiores a 12 kW-h; es decir inferiores a 400 W-h/día.

Por otro lado, la osinerming [30] realizó un estudio para el desarrollo exitoso de las SER. En este estudio se tomaron en cuenta los últimos censos de “la Población y Vivienda” de la INEI para obtener un consumo de energía por vivienda según la ubicación geográfica como se observa en la tabla 4.

Tabla 4: Estudio de Consumo eléctrico - Osinerming

REGIÓN GEOGRÁFICA	CONSUMO ELECTRICO (Kwh/mes)
COSTA	10 – 18
SIERRA	8 – 16
SELVA	12 - 20

FUENTE: [30]

En la tabla 4 se observan los diferentes consumos y para este caso se opta por ser conservador y se toma el valor más alto de 18 kW-h mensuales, es decir 600 W/Lote. Por lo tanto, se estima que el valor adecuado para la potencia instalada o demanda de cada vivienda debe estar entre el rango de 200 a 600 w; de esta manera no se incumple la normativa y se permite a los pobladores tener una potencia adecuada para una buena calidad de vida y crecimiento económico.

6.2. Identificación de necesidades Energéticas

Para identificar las necesidades energéticas se cuantificarán los diferentes equipos principales para el desarrollo tecnológico de las personas procedentes de estas comunidades rurales, estas podrán ser de corriente continua como de alterna. El autor [31] ha recopilado los diferentes elementos más recomendables a utilizar para el desarrollo de estos sistemas de generación, los cuales se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Potencia Nominal de Equipos

Elemento	Potencia (W)
Lámpara de Bajo Consumo	9 - 15
Tubo Fluorescente	50 - 99
Televisor Color	50 - 100
Televisor B/N	20 - 30
Radio-Cassette	0,5 - 15
Video	50
Plancha Eléctrica	600 - 1200
Ordenador	200
Frigorífico 120 L	100 - 200
Congelador	90 - 150
Extractor	50 - 70
Pequeños Electrodomésticos	50 - 200
Máquinas Herramientas	200 - 500

FUENTE: [8]

De igual forma el autor identifica los diferentes usos al día que presentan los equipos en estalaciones fotovoltaicas.

Tabla 6: Horas de Operación diario de los elementos de Uso frecuente en las instalaciones solares Fotovoltaicas

Elemento	Operación (Horas/Días)
Lámpara de Bajo Consumo	1
Tubo Fluorescente	3
Televisor Color	3
Televisor B/N	3
Radio-Cassette	1
Video	1
Plancha Eléctrica	0,5
Ordenador	0,25
Frigorífico 120 L	0,5
Congelador	6 - 12
Extractor	5
Pequeños Electrodomésticos	0,25
Máquinas Herramientas	200

FUENTE: [31]

Para la identificación del número de equipos por vivienda se tomará en cuenta el estudio que realizó el autor [32] el cual realizó un proyecto donde se analizó diferentes comunidades rurales en la Región de Puno que contaban con un suministro eléctrico por generadores fotovoltaicos. La mayoría de estos proyectos que comenzaron en el año 2001; los datos de cada uno fueron recopilados a través de un contador de Ah (ampere hora). Donde se escogieron 10 familias de 4 comunidades.

En la tabla 4 se muestran las diferentes cargas que se usaron en las diferentes familias o viviendas:

Tabla 7: Cargas existentes en las instalaciones de las Comunidades rurales de Puno

Equipo	CCPP Uros		CCPP Taquile			CCPP Amantani			CCPP Huancho	
	Fam 1	Fam 2	Fam 3	Fam 4	Fam 5	Fam 6	Fam 7	Fam 8	Fam 9	Fam 10
Lamparas Fluorescentes (n x W)	3 x 11	3 x 11	10 x 11	4 x 11	3 x 11	3 x 11 1 x 20 1 x 10	5 x 11	3 x 11	7 x 11	4 x 11
Lamparas Incandescentes (nxW)	1 x 40	-	-	-	-	1 x 25	-	-	-	1 x 10
TV B/N (W)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Radiograbadora (W)	-	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Equipo de Sonido (W)	20	-	-	-	-	-	20	-	-	-
Videograbador(W)	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-
TV a colores (W)	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-
Microcomputador (W)	-	-	-	-	-	-	-	-	75	-
Licudadora (W)	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-

FUENTE: [32]

Por lo tanto, se demostró que cada una de las familias presentan como mínimo 4 luminarias, un televisor a blanco y negro, equipo de sonido, grabadora. Teniendo en cuenta esta información, se identificarán los equipos y las horas de uso, teniendo en cuenta la Calificación eléctrica estudiada en el apartado anterior:

Ecuación 7: Calculo del Consumo Total de Energía por vivienda

$$E_T = \sum P \cdot t$$

Finalmente se encuentran los diferentes consumos que existen por elemento o carga con la ecuación 1, los resultados se detallaron en la tabla 8.

Tabla 8: Estudio de necesidades Energéticas

Elemento	Potencia (W)	Tensión (V)	CC/CA	Horas/Día	Cantidad	Potencia Instalada (250 < P.I. < 600) [W]	Energía [Wh/día]
Luminarias (Foco Ahorrador)	15	12	CC	5	4	60	300
Tubo Fluorescente	50	12	CC	5	2	100	500
TV color	50	220	CA	3	1	50	150
Frigorífico (120L)	150	220	CA	0.5	1	150	75
Grabadora	15	220	CA	1	1	15	15
Licudadora	30	220	CA	0.5	1	30	15
				T	10	405	1055

ELABORACIÓN PROPIA

VII. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para el dimensionamiento del sistema se utilizará el método descrito por el autor [33] [34], el cual permitirá seleccionar y calcular la energía necesaria para alimentar a las diferentes cargas planteadas en el anterior apartado.

7.1. Selección del Tipo de Sistema Fotovoltaico

Para el dimensionamiento del equipo se deberá tomar en cuenta la distribución rural de viviendas de la zona que se muestra en la figura 34

Figura 34: Mapa de la Comunidad Aislada Cucufana



FUENTE: GOOGLE MAPS

Como se observa en la figura 34, las diferentes viviendas se encuentran muy separadas para utilizar una planta de generación y los costos para su distribución podrían aumentar drásticamente el desarrollo del sistema. Por lo tanto, para el diseño de este sistema se considerará un equipo de generación por cada usuario.

7.2. Cálculo de la Energía Total

Para determinar el Cálculo de energía necesaria que debe producir el sistema, se deberá tomar en cuenta la energía que la vivienda consume y el rendimiento total que el equipo tendrá; esto se detalla a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 8: Energía Producida Por el Sistema Fotovoltaico

$$E = \frac{E_T}{R}$$

Donde:

- | | | |
|-------|---|---|
| E_t | : | Energía que Consume la vivienda (W-h). |
| R | : | Eficiencia o Rendimiento del Sistema de Generación. |
| E | : | Energía generada por el Sistemas de Fotoeléctrico. |

7.2.1. Cálculo del Rendimiento del Sistema

El sistema de generación al igual que los diferentes sistemas eléctricos presenta pérdidas de potencia o energía, por lo tanto, este se encuentra definido por numerosos factores que se analizarán a continuación:

Ecuación 9: Rendimiento del Sistema de Generación

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot \left(1 - \frac{K_a \cdot N}{P_d}\right)$$

Donde:

- Ka : Coeficiente de Autodescarga.
- Kb : Coeficiente de Pérdidas por rendimiento de la Batería.
- Kc : Coeficiente de Pérdidas de la batería.
- Pd : Profundidad de Descarga.
- Kv : Coeficiente de Otras Pérdidas.
- N : Número de Días de Autonomía.

El autor [34] presenta una tabla donde se observan valores con un rango promedio para los coeficientes de pérdidas anteriormente mencionados.

Tabla 9: Valores Promedio Para Coeficientes de Pérdidas

Coeficiente de Pérdidas	Rango Práctico
K _b	0-0,2
K _a	0,001-0,02
P _d	0,1-0,8
K _c	0-0,4
K _v	0-0,2

FUENTE: [34]

7.2.1.1. Coeficiente de Autodescarga

Este valor es una relación adimensional del porcentaje de la capacidad que se descarga y el tiempo que esta demora en hacerlo expresado en días; es decir la pérdida de la carga almacenada en la batería por reacción con los materiales que la componen cuando esta está en circuito abierto; es decir no se le suministra más carga [35].

Estos datos se basan en los datos técnicos que ofrece el fabricante y se hacen a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 10: Coeficiente de Auto descarga

$$K_a = \frac{P}{T} \frac{d D}{(\text{día})}$$

Para este caso se utilizarán baterías Ultracell, cuyo fabricante Auto Solar Perú [36] menciona que este porcentaje no debe ser inferior al 50%⁸:

Figura 35: Datos Técnicos de la Batería

UCG172-12		
		
Physical Specification		
Part Number	UCG172-12	
Length	485 ± 2 mm	
Width	170 ± 2 mm	
Container Height	240 ± 2 mm	
Total Height (with terminal)	240 ± 2 mm	
Approx Weight	43.5 kg	
Specifications		
	Nominal Voltage	12V
	Nominal Capacity (100HR)	172AH
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 9 months at 25°C(77°F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.	

FUENTE: [36]

La figura 35 muestra la característica Self Discharge o Autodescarga, señala que la batería a 25 °C luego de 9 meses se requerirá recargar.

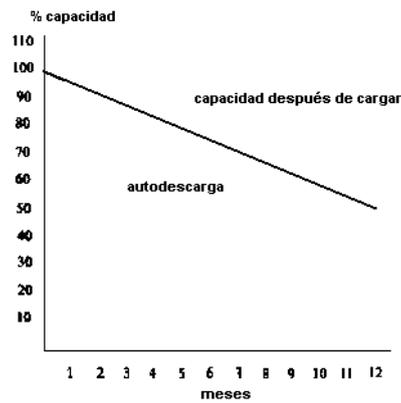
Por lo tanto, se calcula el coeficiente de autodescarga de la siguiente manera:

$$K_a = \frac{0,5}{9 \cdot 30} = 0,001851852$$

- Como dato adicional en la figura 36 se ofrece la relación de auto descarga en función al tiempo en meses, estos datos se utilizan de manera estándar y pueden servir para pequeños casos de estudio [35].

⁸ <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-autodescarga-de-las-baterias>

Figura 36: Autodescarga en Función al Tiempo



FUENTE: [11]

7.2.1.2. Coeficiente de Pérdidas por rendimiento de Batería

La Empresa ERAECO [37] señala que las baterías usadas en estos sistemas presentan un porcentaje o coeficiente de pérdidas de energía entre 0 y 20%, esto se encuentra en función al factor de auto descara y como este no es elevado se puede considerar un valor intermedio de 12%.

$$K_b = 0,12$$

7.2.1.3. Coeficiente de Pérdidas del Inversor

El autor PROGNSA señala que los reguladores presentan de promedio de perdidas un 5%.

$$K_c = 0,05$$

7.2.1.4. Coeficiente de Otras Pérdidas

Este coeficiente representa las diferentes pérdidas de carga y en los diferentes conductores; por lo tanto, se puede aplicar las pérdidas que existen según la norma de un 5%, pero como en promedio propensa seña de un 10% se opta por trabajar con un 9%.

$$K_v = 0,09$$

7.2.1.5. Profundidad de Descarga

Es el porcentaje del acumulador que ha sido descargado expresado en función a su máxima capacidad [38], el autor [35] recomienda utilizar un valor máximo permisible del 80% debido que mientras más se someta a descargas profundas el número de ciclo que pueda desarrollar y su vida útil puede disminuir; sin embargo debido a que los reguladores de carga impiden que

existan cargas muy profundas, por lo tanto se opta por usar un valor de 0,60.

$$P_d = 0,60$$

7.2.1.6. Número de Días de Autonomía

El autor [39] señala que el número de días de autonomía, estos son aquellos días donde la radiación solar o la producción de energía de los paneles fotovoltaicos se ve afectada por distintas condiciones climáticas, es por ello que el autor define 3 condiciones de las cuales se pueden determinar este factor; recordar que mientras más se incremente el número de días.

Tabla 10: Número de Días de Autonomía

Condición climática	Días de Autonomía	
	Instalación Doméstica	Instalación Crítica
Muy Nublado	5	10
Variables	4	8
Soleado	3	6

FUENTE: [39]

Por lo tanto, se tomarán en cuenta una condición Soleada y para una instalación doméstica; 3 días de autonomía.

$$N = 3$$

Finalmente se procede a calcular el rendimiento del sistema con la ecuación 3:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) \cdot \left(1 - \frac{K_a \cdot N}{P_d}\right)$$

$$R = (1 - 0,12 - 0,05 - 0,08) \cdot \left(1 - \frac{0,001851852 \cdot 3}{0,6}\right)$$

$$R = 0,733148148$$

7.2.2. Cálculo de La energía Necesaria

La energía necesaria que deberá producir el sistema fotovoltaico se definió a través de la ecuación 2, como se

determinó el consumo de energía (E_T), por lo tanto, se encuentra:

$$E = \frac{E_T}{R} = \frac{1055}{0,733148148} = 1438,99975 \text{ W} - h$$

7.3. Cálculo de Baterías

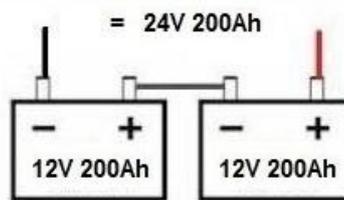
7.3.1. Conexiones en Baterías

Antes de determinar el número de baterías o acumuladores se debe tener en cuenta ciertos aspectos sobre las conexiones que existen para dichas baterías:

7.3.1.1. Conexiones en Serie

Las baterías conectadas en serie permiten sumar los voltajes en dicho arreglo, manteniendo la capacidad de ambas, como se muestra en la figura 37.

Figura 37: Conexión en Serie de dos Baterías de 12 V 200 Ah

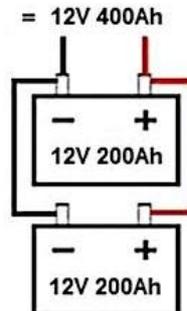


FUENTE: <https://bateriasyamperios.com/wp-content/uploads/2014/03/conexion-paralelo.jpg>

7.3.1.2. Conexiones en Paralelo

Las baterías conectadas en paralelo permiten conservar el voltaje de las baterías y sumar la capacidad de las mismas, esto puede identificarse en la figura 38.

Figura 38: Conexiones en Paralelo



FUENTE: <https://bateriasyamperios.com/wp-content/uploads/2014/03/conexion-paralelo.jpg>

7.3.1.3. Conexiones mixtas

Al relacionar las dos conexiones anteriormente descritas se pueden obtener ambas condiciones según el sistema que lo requiera, por ejemplo, si se desea un sistema de 48 V con 400 Ah de capacidad y se cuenta únicamente con baterías de 12 V con una capacidad de 200 Ah; se conectarían dos filas en paralelo de 3 baterías en serie en cada una.

- Estos diferentes arreglos dependerán del sistema, las condiciones de diseño y los diferentes criterios que se asuman para el dimensionamiento.

7.3.2. Cálculo de la Capacidad útil

La capacidad útil estará en función a la energía que deberá producir los paneles solares y el número de días de autonomía, puesto que representan los días en los que no se producirá suficiente energía.

Ecuación 11: Capacidad útil Necesaria (Wh)

$$C_U(Wh) = E \cdot N$$

$$C_U(Wh) = 1438,99975 \cdot 3 = 4316,99924 \text{ W} - h$$

Se calculará además la Capacidad útil en Ah con el voltaje nominal (Us) del sistema que es 12 V.

Ecuación 12: Capacidad Útil Necesaria (Ah)

$$C_U(Ah) = \frac{C_U(Wh)}{U_s}$$

$$C_U(Ah) = \frac{4316,99924}{12} = 359,749937 \text{ Ah}$$

7.3.3. Capacidad Nominal de las Baterías

La capacidad Nominal será la capacidad real que poseerán las baterías, estas se demuestran a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 13: Capacidad Nominal del Acumulador

$$C = \frac{C_U(Ah)}{P_d}$$

Por lo tanto, se obtiene:

$$C = \frac{359,749937}{0,6} = 599,583228 \text{ Ah}$$

Por lo tanto, se utilizarán baterías Ultracell UCG172-12 de 12 V y 172 Ah, por lo tanto, para determinar el número de baterías en serie y en paralelo.

Ecuación 14: Número de baterías en Serie

$$N_B = \frac{V}{V_{ía}}$$

Se obtendrán por lo tanto una serie de una batería puesto que ambos coinciden con el mismo voltaje.

Ecuación 15: Número de baterías en Paralelo

$$N_B = \frac{C}{C_{a u b ía}}$$

Por lo tanto, se obtiene:

$$N_B = \frac{599,583228}{172} = 3,485949 \cong 4 b \quad ía$$

7.4.Cálculos de los Paneles Fotovoltaicos

Para determinar el número de los paneles fotovoltaicos se debe tener en cuenta que la energía calculada E, en la ecuación 8 es aquella que se entrega a la carga desde la batería, sin embargo, debido a que entre este y la batería se posiciona el regulador de carga y este produce diferentes formas de pérdidas de energía, El autor Progenssa considera que para estos casos es factible considerar una eficiencia para el acumulador de un 90%; Por lo tanto la energía producida por los paneles se calculará a través de:

Ecuación 16: Energía Producida Por los Paneles Fotovoltaicos

$$E_p = \frac{E}{\eta_R}$$

$$E_p = \frac{1438,99975}{0,9} = 1598,88861 W - h$$

Para encontrar el número necesario de los paneles, es necesario considerar las horas de Sol Pico (HSP) sobre el Horizonte, la cual fue otorgada en el capítulo V de este proyecto que según la tabla 3 el menor de estos vendría a ser 4,01 horas.

Se utilizarán paneles de TAI200Wp-156-54P del fabricante [40] que poseen un voltaje nominal de 12 V y potencia pico de 200 Wp. Por lo tanto, se pueden determinar el número de paneles a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 17: Número de Paneles en Serie

$$N_p = \frac{E_p}{P_p \cdot H}$$

Finalmente, se obtiene el número de paneles en paralelo necesarios:

$$N_p = \frac{1598,88861}{200 \cdot 4,01} = 1,99362669 \cong 2 \quad e \quad P$$

Al igual que en el caso de las baterías, al colocarlas en serie el voltaje se suma, por lo tanto, se calcula de la misma manera:

Ecuación 18: Número de Paneles Fotovoltaicos en Serie

$$N_p = \frac{V_s}{V_{d \text{ u } p} \cdot F}$$

Sin embargo, debido a que el voltaje del sistema y el voltaje del equipo son iguales, el número de paneles en serie es de 1.

7.5. Cálculo de Regulador

Para determinar el Regulador se debe determinar a través de los sistemas las corrientes que tendrá que soportar dicho componente. Por ende, se calculará que llega de los paneles y la que se suministra hacia la carga o el inversor:

Ecuación 19: Intensidad Máxima de Paneles

$$I_{m \text{ p}} = \frac{P_T}{V \cdot F}$$

Ecuación 20: Intensidad máxima de Carga

$$I_C = \frac{P}{V \cdot F}$$

Donde:

- Pt : Potencia Total de los Paneles.
- Vsist : Voltaje del Sistema.
- PI : Potencia Instalada.

Se resuelven las ecuaciones 19 y 20 teniendo en cuenta los datos definidos en los párrafos anteriores, considerando un factor de potencia de 0,9:

$$I_{m p l e} = \frac{2 \cdot 200}{12} = 33,333 A$$

$$I_C = \frac{405}{12} = 33,75 A$$

Por lo tanto, para seleccionar el regulador se deben tomar en cuenta estas corrientes y el voltaje del sistema que es de 12 V. En este caso se trabajará con un regulador de carga PWN PC1500B-40 [41], el cual posee 6 conectores que puede trabajar a las condiciones requeridas.

Es importante volver a mencionar que los reguladores MPPT se diferencian de los PWN porque estos últimos no permiten que el acumulador se cargue a un voltaje superior al nominal, por ejemplo, en los datos que se observa en la figura 39 que el voltaje máximo que presenta el sistema es de 17,97 V, un regulador tipo PWN ajustaría, reduciendo la eficacia del equipo, el voltaje para que no lleguen más de 12 voltios (tomando de referencia el sistema de este proyecto). Sin embargo, los reguladores MPPT permiten que esto suceda y reducen en 30% de pérdidas a diferencia de PWN; que los hacen menos accesibles su gran precio, por lo tanto, se ha considerado un PWN ya que son económicamente más accesibles y se usan regularmente para sistemas de bajas cargas.

Figura 39: Datos Técnicos de Paneles Solares

Electrical Characteristics *								
Model**	WS-170 / 24V	WS-175 / 24V	WS-180 / 24V	WS-185 / 24V	WS-190 / 24V	WS-195 / 24V	WS-200	WS-200 / 12V
Nominal Maximum Power, Pm (W)*	170	175	180	185	190	195	200	200
Power tolerance	Positive tolerance only							
Open Circuit Voltage, Voc (V)*	44.38	44.40	44.43	44.45	44.48	44.50	33.00	22.97
Short Circuit Current, Isc (A)*	5.11	5.26	5.40	5.56	5.71	5.85	8.08	11.64
Voltage at Maximum Power, Vmp (V)*	35.95	35.98	36	36.03	36.05	36.08	27	17.97
Current at Maximum Power, Imp (A)*	4.73	4.87	5	5.14	5.28	5.41	7.41	11.13
Maximum System Voltage (V)	1000							
Module Efficiency (%)*	14.61	15.04	12.20	12.54	12.88	13.22	13.56	13.56
Maximum Series Fuse Rating (A)	15	15	15	15	15	15	15	15
Limiting Reverse Current (A)	15	15	15	15	15	15	15	15

*Under Standard Test Conditions (STC) of 1000 W/m² irradiance, AM 1.5 spectrum and 25°C cell temperature

FUENTE: [40]

7.6. Selección de Inversor

Para el dimensionamiento del inversor se debe tomar en cuenta las siguientes diferentes condiciones:

7.6.1. Tensión Nominal de Entrada

Este voltaje es aquel que poseen el sistema fotovoltaico en general, que como se ha determinado será de 12 V.

7.6.2. Potencia Nominal

El cual se tomará en función a la carga que se determinó en los apartados anteriores, esta es de 245 W.

7.6.3. Tensión Nominal y frecuencia de Salida

Se tomará en cuenta que el sistema peruano funciona con un sistema de 220 V y a 60 Hz, estos parámetros serán los ideales para el equipo.

El fabricante AutoSolar recomienda usar Inversores de Corriente de Onda Senoidal Pura que son más eficientes, duraderos y de mejor calidad. Finalmente se selecciona un Inversor de Corriente Must Solar 300W 12V [42]

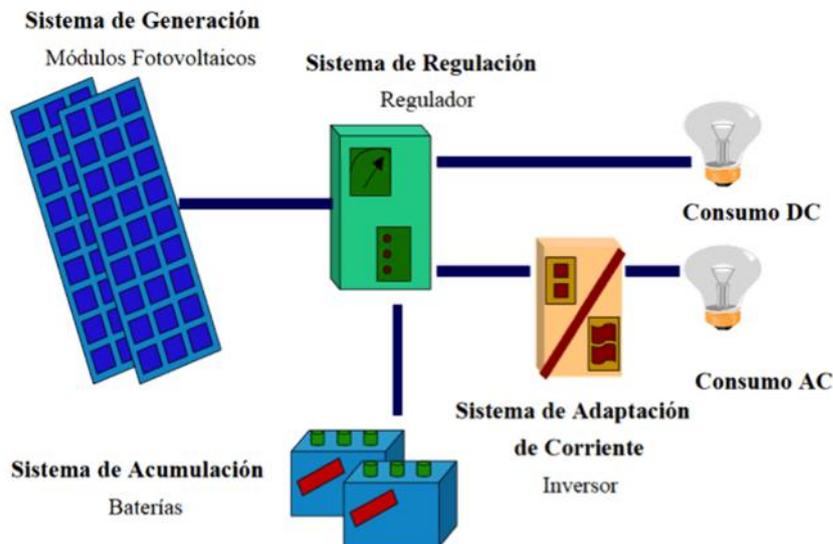
7.7. Dimensionamiento de Conductores

Los diferentes conductores que se utilizarán en el sistema serán seleccionados según su aplicación, El autor Censolar [34] describe las condiciones para la caída de tensión en cada tramo del Sistema [43]:

- Entre los Paneles Fotovoltaicos y el Regulador de Carga: Inferior al 3%.
- Entre la Batería y el Regulador de Carga: Inferior al 1%.
- Entre el Regulador de Carga y Las Cargas; inferior al 5 %.

Por lo tanto, se entiende que en el peor de los casos se tendrá pérdidas de energía del 8% de manera general. Para entender la ubicación de estos diferentes tramos se debe observar la figura 40:

Figura 40: sistema Fotovoltaico Genérico



FUENTE: http://www.cenitsolar.com/imagenes/esquema_asilada.jpg

Por lo tanto, se procederá a calcular la corriente de diseño que pasará los diferentes tramos que se detallaron anteriormente; la corriente se calculará a través de las siguientes ecuaciones:

Ecuación 21: Intensidad de Corriente nominal (Alterna)

$$I = \frac{P}{F \times V}$$

Ecuación 22: Intensidad de Corriente nominal (Continua)

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

I	:	Intensidad de Corriente Nominal.
P	:	Potencia del Sistema.
V	.	Voltaje.

Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que los conductores deben trabajar a un 80% de su capacidad nominal, es por ello que se calcula una capacidad de corriente de diseño que equivale a un 25% adicional de la intensidad nominal de la corriente.

Ecuación 23: Corriente de Diseño:

$$I_D = 1,25 \cdot I$$

En el caso de la caída de tensión se tomarán los porcentajes respectivos según los tramos, como no se podrá comprobar que la longitud sea la adecuada, debido a que no se cuentan con las dimensiones de las viviendas, se calculará las longitudes máximas permisibles en función a su máxima caída de tensión

Ecuación 24: Longitud máxima Permissible

$$L = \frac{\Delta V\% \cdot V \cdot S}{2 \cdot \rho \cdot I \cdot F} \text{ (m)}$$

Donde:

L	:	Longitud máxima permisible.
V	:	voltaje de suministro.
S	:	Sección del Conductor.
ρ	:	Resistividad del Conductor.
I	:	Corriente Nominal.
FP	:	Factor de Potencia

De igual forma que con la corriente en el caso de cargas a corriente continua no deberán tomar en cuenta el Factor de Potencia (FP); además que la resistividad del cobre (conductor) se considerará de 0,0171 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$.

7.7.1. Tramo Paneles Fotovoltaicos - Regulador de Carga

Para determinar la corriente en este tramo se tomará la potencia de los paneles fotovoltaicos y un factor de potencia equivalente a 0,9 con su respectivo voltaje de 12 V:

$$I_D = 1,25 \cdot \frac{P}{V}$$

$$I_D = 1,25 \cdot \frac{3 \cdot 200}{12} = 41,667 \text{ A}$$

Por lo tanto, se utilizará la tabla de conductores expuesto en el anexo 2, se trabajará un “TWT a 60°C 13,3 mm²” para conductores a la intemperie o al aire libre:

Figura 41: Selección de Conductor para el Tramo Paneles - Regulador

AISLADOS TEMPERATURA DE SERVICIO: 60° 75° 90°C								
SECCION	SECCION	GRUPO A TEMPERATURA DE SERVICIO			GRUPO B TEMPERATURA DE SERVICIO			DESNUDO
Nominal (mm)2	AWG	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
0,32	22	3	3					
0,51	20	5	5					
0,82	18	7,5	7,5					
1,31	16	10	10					
2,08	14	15	15	25	20	20	30	
3,31	12	20	20	30	25	25	40	
5,26	10	30	30	40	40	40	55	
8,36	8	40	45	50	55	65	70	90

FUENTE: CABLES ELECTRICOS CL⁹

El Tramo puede poseer una longitud de cableado de hasta:

$$L = \frac{0,03 \cdot 12 \cdot 8,37}{2 \cdot 0,0171 \cdot 41,667} = 2,114526 \text{ m}$$

7.7.2. Tramo Cargas – Regulador de Carga

7.7.2.1. Inversor Cargas AC

Se tomará un mismo conductor en función a las cargas desde el inversor hacia las cargas que operan a corriente alterna (220 VAC 60 Hz)

$$I_D = 1,25 \cdot \frac{245}{0,9 \times 220} = 1,5467 \text{ A}$$

A pesar de que existen conductores de menor calibre para este amperaje es necesario recordar que la normativa eléctrica peruana

⁹ <http://cableselectricos.cl/wp-content/uploads/2015/04/tablas-1.pdf>

señala que el mínimo calibre es de 2,08 mm²; por lo tanto, se seleccionará un conductor de 3,31 mm².

La longitud máxima permisible se obtiene como:

$$L = \frac{0,05 \cdot 220 \cdot 3,31}{2 \cdot 0,0171 \cdot 1,5467 \cdot 0,9} = 41,7 \text{ m}$$

7.7.2.2.Regulador – Carga DC

En este Caso se tomará el tramo que va desde el regulador hasta las cargas que trabajan a corriente Continua (12 VDC), se determinó que la corriente de diseño del conductor será:

$$I_D = 1,25 \cdot \frac{160}{220} = 16,667 \text{ A}$$

Por lo tanto, se seleccionará n conductor de 3,31 mm², y la longitud máxima permisible será de:

$$L = \frac{0,05 \cdot 12 \cdot 3,31}{2 \cdot 0,0171 \cdot 16,6667} = 3,484210526 \text{ m}$$

En este caso es posible que 3,48 m no sean suficientes para llevar estas cargas, ya que son únicamente luminarias, sin embargo, si se deseará una longitud superior sin alterar la caída de tensión se deberá aumentar el calibre y ajustar en la ecuación. Es posible que al realizar esto el conductor nuevo sea más costoso.

7.7.2.3.Regulador – Inversor

Este tramo es pequeño en muchos casos, debido a que el inversor funciona como un transformador las condiciones de potencia son las mismas exceptuando perdidas por el equipo. Por lo tanto, es posible encontrar la corriente de la siguiente manera:

$$I_C \cdot V_C = I_c \cdot V_c$$
$$I_C = \frac{220 \cdot 1,5467}{12} = 28,37 \text{ A}$$

Por lo tanto, la corriente de diseño será de 35,45 A y será necesario un conductor de un área mínima:5,26 mm²

$$L = \frac{0,05 \cdot 12 \cdot 5,26}{2 \cdot 0,0171 \cdot 28,37} = 2,60345 \text{ m}$$

7.7.3. Tramo Acumulador a Regulador de Carga

Para este tramo que al igual el anterior es corto, y según el datasheet de las baterías a utilizar presenta una descarga a aproximadamente 8 A, ya que son 4 baterías esta sería de 32 A

$$I_D = 1,25 \cdot 32 = 40 \text{ A}$$

Por lo tanto, se selecciona un conductor .de 8,36 mm². Finalmente, se obtiene una longitud máxima permisible de:

$$L = \frac{0,01 \cdot 12 \cdot 8,36}{2 \cdot 0,0171 \cdot 40} = 0,734 \text{ m}$$

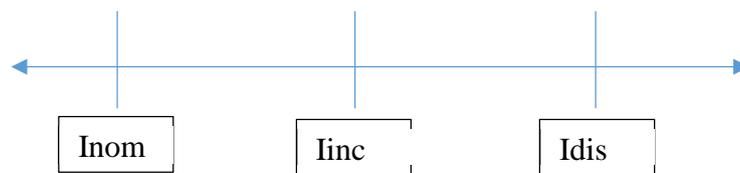
7.8. Cálculo de Sistemas de Protección

Estos equipos se desarrollan por recomendación para las instalaciones, A pesar de estos se debe tomar en cuenta que el inversor de corriente tiene un fusible contra cortocircuito y si el equipo funciona un 20% sobre su carga el equipo se desconectará.

7.8.1. Interruptor Termomagnético

Se debe tomar en cuenta que protegerá al conductor de sobrecargas, por lo tanto, no se tomará para este apartado la corriente de diseño, sino la corriente nominal del conductor. Además de que los ITM o Interruptores termomagnéticos funcionan por etapas, existe una zona de incertidumbre y una zona de disparo (ver figura 41)

Figura 42: Funcionamiento de un ITM



FUENTE: [44]

En la zona entre la Corriente nominal y Corriente Incertidumbre corresponde a una zona donde el ITM puede o no puede activarse:

Ecuación 25: Corriente Incertidumbre

$$I_i = 1,13 \cdot I_n$$

Donde:

Iinc : Corriente de Incertidumbre.
Inom : Corriente nominal.

En la zona entre la corriente de Incertidumbre y corriente de Disparo, donde el ITM obligatoriamente se activará.

Ecuación 26: Corriente de Disparo

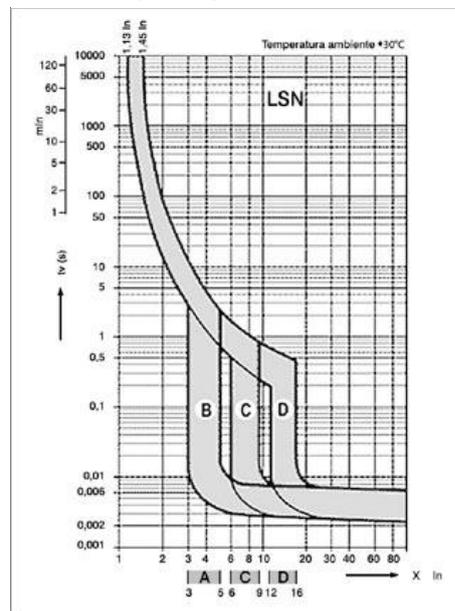
$$I_c = 1,45 \cdot I_n$$

Donde:

I_{dis} : Corriente de Disparo.

En la Figura 43, se observan las diferentes curvas de operación que han sido definidas por la normativa IEC 60898, para interruptores termomagnéticos de uso domiciliario:

Figura 43: Curvas de Funcionamiento definidas por IEC 60898



FUENTE: [43]

Por lo tanto, se tomará la corriente nominal del conductor correspondiente al tramo del conductor Inversor – Cargas AC que es de 20 A, por ende, se seleccionará un ITM 2X16A-220V [45], ya que su Corriente de disparo es de 23,2 A y de I incertidumbre de 18,08 A. Por lo tanto, el criterio es sencillo, no se deberá escoger un ITM que presente una corriente donde pueda disparar menor a la corriente nominal del conductor (18,08 – 23,2 A).

7.8.2. Interruptor Diferencial

Como se ha mencionado con anterioridad, este interruptor permite proteger a los usuarios de contactos eléctricos directos o indirecto, además de fugas de corriente a tierra. Para su selección se deberá tomar una corriente nominal que no supere la del ITM, por lo tanto, para que el sistema este equilibrado se usará dicho amperaje (2X16 A [46]). Es recomendable además usar una puesta a Tierra que permita completar la función del Diferencial.

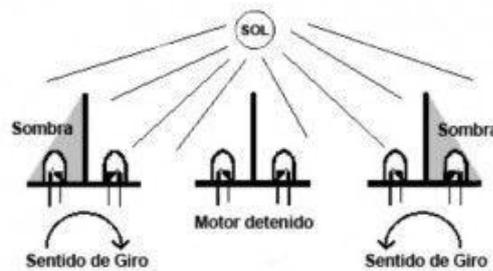
VIII. CONEXIONES Y PROGRAMACIÓN DEL DISPOSITIVO SEGUIDOR LUMÍNICO

8.1. Diseño Mecánico

El diseño mecánico será bosquejado a través del Software SolidWorks, este deberá tener influencia de los diversos sistemas estructurales que poseen los sistemas convencionales de paneles Fotovoltaicos. Es importante señalar que las dimensiones que se tomaron para esta estructura no serán variables, se harán en función a las dimensiones de los paneles a utilizar: 1 470 x 680 x 35 mm [40].

Por otro lado, es necesario tomar ciertos criterios que faciliten el diseño mecánico de la mano con la programación del Dispositivo seguidor. El autor [47] menciona que las fotorresistencias pueden usarse de manera comparativa, con la configuración adecuada el dispositivo identificaría a qué lado girar en función a la presencia de luz o privación de la misma; en la figura 44 se observa que si una fotorresistencia recibe más luz solar, el movimiento será en dirección a ella y se detendrá hasta que la diferencia de luz en ellos sea cercana a cero.

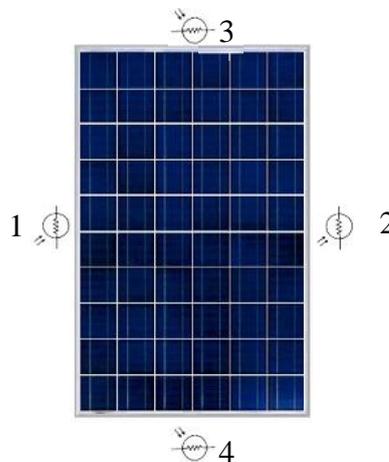
Figura 44: funcionamiento del Dispositivo



FUENTE: [46]

Por ende, se ha creído conveniente que las fotorresistencias sean ubicadas como se observa en la figura 45, las fotorresistencias 1-2 y 3-4 se compararán para dar el movimiento necesario:

Figura 45: Posicionamiento de las Fotorresistencias

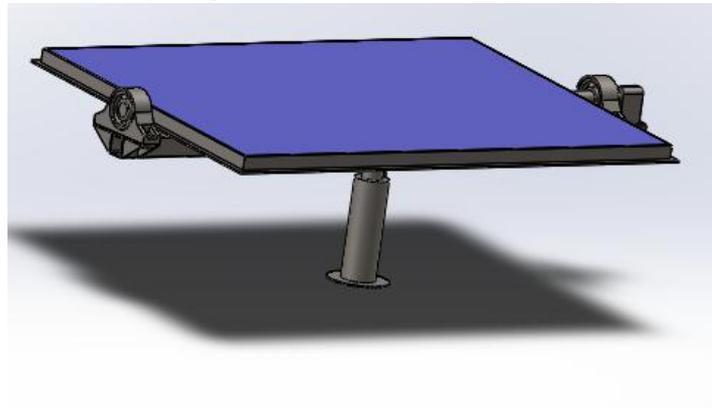


FUENTE:

<https://www.monsolar.com/panel-solar-60-celulas.html>

Finalmente se opta por el siguiente mecanismo para el seguidor lumínico:

Figura 46: Diseño Mecánico



ELABORACIÓN PROPIA

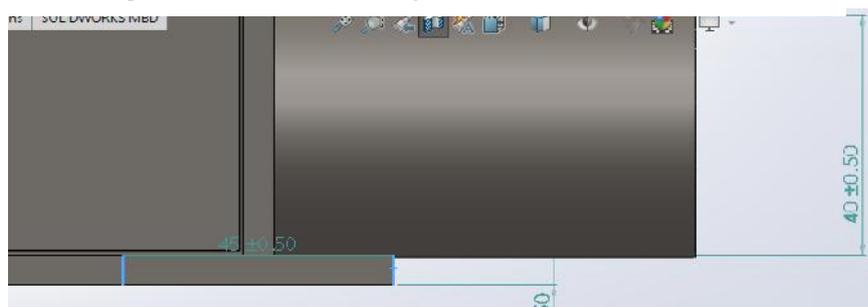
En la figura 46, se observan los diferentes componentes principales que se utilizarán son servomotores que permitirán el cambio de dirección y movimiento del panel solar en función a la luz que recaiga sobre las fotorresistencias, tal y como se señala en la figura 47, un servomotor permitirá el movimiento del panel mientras que el segundo permitirá el movimiento de la estructura superior que sostiene al panel fotovoltaico.

Figura 47: Funcionamiento del Mecanismo



La estructura que sostiene al panel solar será construida en base a vigas tipo T, que facilitarán su construcción, ver figura 48, estas serán acopladas de tal manera que sostenga al panel.

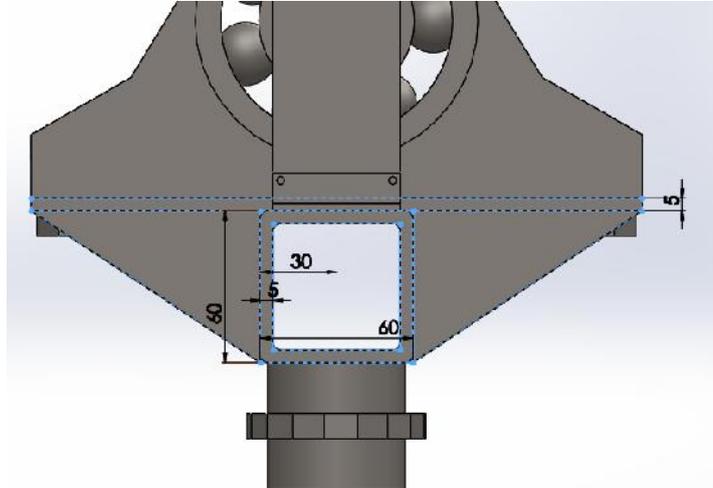
Figura 48: Dimensiones del Perfil T de la Estructura del Panel



ELABORACIÓN PROPIA

Se emplearán chumaceras para sostener el eje que permitirá el giro del servomotor superior y para sostener dichos elementos se hará uso de una tubería cuadrada, cuyas dimensiones son mostradas en la figura 49, con una base de 5 mm de espesor.

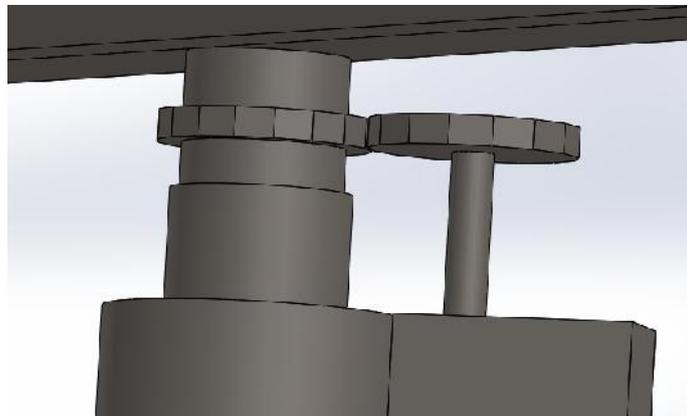
Figura 49: Dimensiones de la Tubería y Base de las Chumaceras



ELABORACIÓN PROPIA

Para sostener las bases que contendrán a la chumacera se utilizarán perfiles triangulares o nervios. Para el movimiento del segundo servomotor; se utilizará un sistema de transmisión con dos engranajes como se observa en la figura 50.

Figura 50: Sistemas de Transmisión del Servomotor 2



ELABORACIÓN PROPIA

8.2. Dimensionamiento de los servomotores

Para dimensionamiento de los servomotores se hará uso del software SolidWorks Motion Simulation que permitirá encontrar el torque necesario de cada uno de los motores, para ello es necesario identificar una velocidad promedio que tendrán los servomotores, ya que el peso total del equipo, con un material de acero.

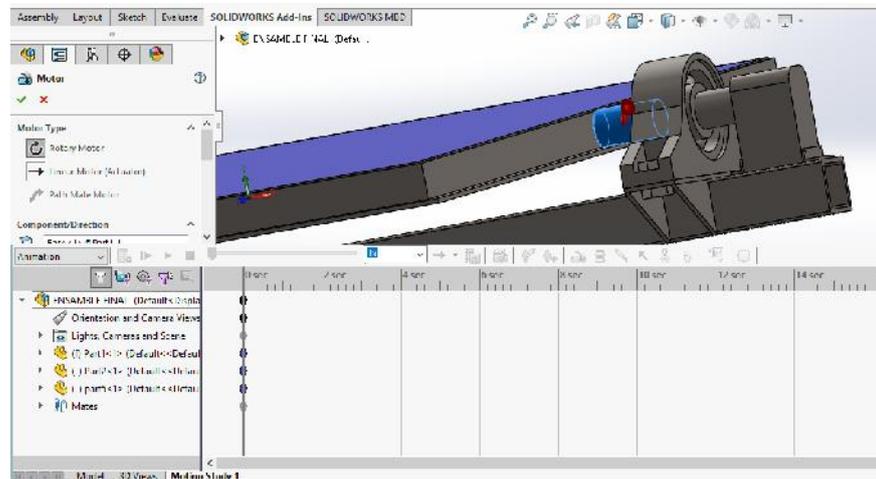
Se han identificado posibles servomotores que permitan el funcionamiento adecuado del sistema, los cuales son descritos en el anexo 4, donde se observan 3 servomotores de distintas capacidades. Como ya se ha mencionado para el análisis se tomará una velocidad de diseño promedio, no se tomarán las velocidades que los fabricantes señalan en sus fichas técnicas debido a que estas corresponden a un estado donde el equipo se encuentra en vacío. Por ende, se aplicará un factor correctivo de 0,3. Esto debido a que mientras menos velocidad se le solicite al motor este necesitará menos potencia, se opta por trabajar con un valor constante de 15 RPM.

8.2.1. Servomotor 1 – Superior

El servomotor 1 realizará el movimiento del panel específicamente junto con la estructura total del mismo, cuyo peso total es de 35,38 Kg; es importante señalar que el material empleado para las estructuras es el Acero ASTM A36, que es muy comercial.

El primer paso es determinar el estudio de movimiento, se definirá el motor superior con una velocidad de 15 RPM, en la figura 48 se observa que se simula el movimiento en el eje donde se encuentra una de las chumaceras, es importante definir la gravedad ya que el peso del equipo influenciará en el movimiento del sistema.

Figura 51: Definición del Motor



ELABORACIÓN PROPIA

Se definen las condiciones del motor y se simula el movimiento del mismo:

Figura 52: Condiciones del motor

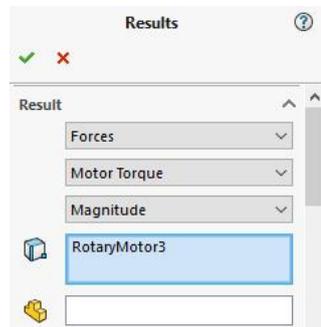


ELABORACIÓN PROPIA

Una vez que el software termine de ejecutar el estudio, se deberán observar los resultados, para ello se recurre a la opción –“Results and Plots” para visualizar mejor como es el comportamiento del torque del motor.

Como se realiza en la figura 53, se seleccionan las opciones “Forces o Fuerzas” / “Motor Torque o Torque del Motor” / “Magnitude o magnitud”. Finalmente se selecciona el motor, es decir como la simulación que se definió anteriormente:

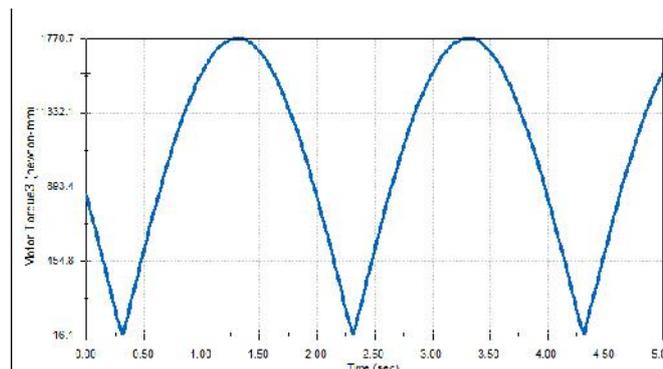
Figura 53: Condiciones Para los Resultados



ELABORACIÓN PROPIA

Los resultados se expresan en la figura 54, donde la magnitud más alta presente en el recorrido del equipo es de 1770.7 N-mm, que equivalen a 18,056115 Kgf-cm.

Figura 54 Resultados de la Simulación del Servomotor 1

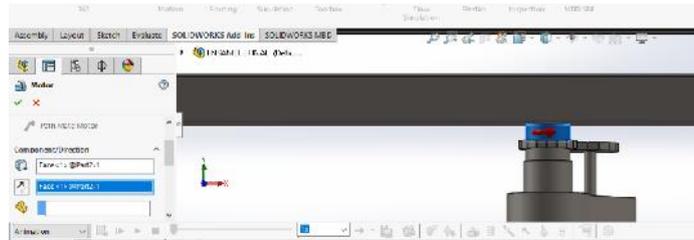


ELABORACIÓN PROPIA

8.2.2. Servomotor 2 - Inferior

De igual manera, en el caso del segundo servomotor, se deberá buscar la posición donde el sistema requiera más torque. Se definirá un motor en el eje que permitirá el movimiento a toda la estructura superior del equipo que tendrá un peso aproximado de 62 Kg.

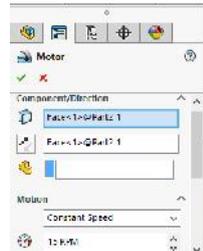
Figura 55: Simulación de Motor 2



ELABORACIÓN PROPIA

Se definen los parámetros del motor, que al igual que el servomotor 1 se trabajará con una velocidad de 15 RPM.

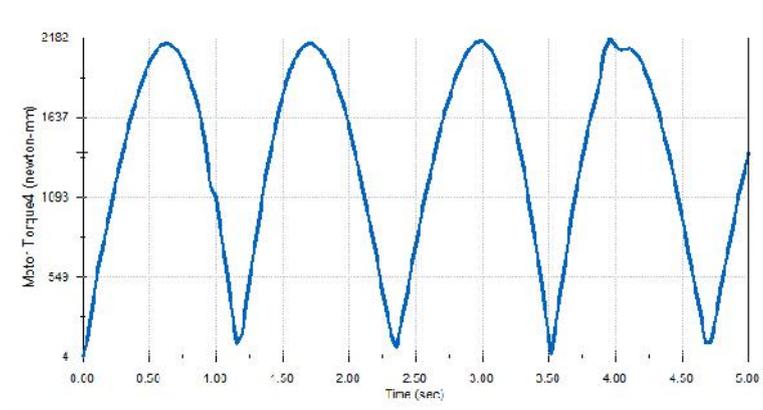
Figura 56: Parámetros para el Segundo Servomotor.



ELABORACIÓN PROPIA

Utilizando la configuración expuesta en la figura 54, se obtienen los siguientes resultados (se han usado la misma configuración que en el caso anterior):

Figura 57: Resultados de la simulación del motor 2



ELABORACIÓN PROPIA

Se observa que el torque máximo llega hasta 2182 N-mm que equivale a 22,25 Kgf-cm.

8.2.3. Decisión

Debido a que el único distribuidor de estos equipos que se encuentra en Perú, específicamente en el departamento de Piura, es “Electro Pro” [48], además de presentar un servomotor de Torque de 38,75 Kgf-cm que es suficiente para esta aplicación.

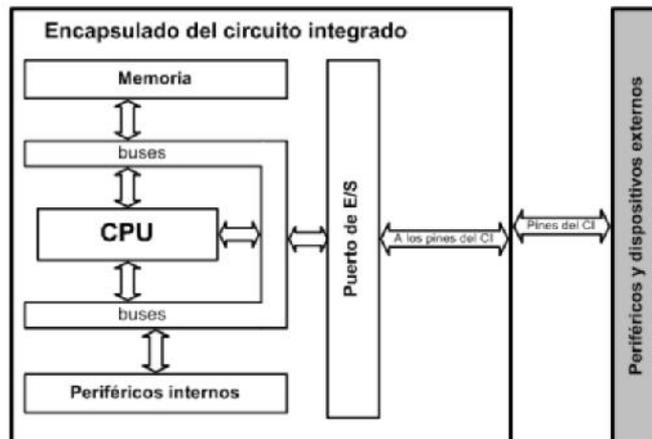
8.3. Circuito General

El circuito del sistema del seguidor lumínico está compuesto por diferentes conexiones y componentes, por lo tanto, el autor de este proyecto ha creído conveniente dividirlo de la siguiente manera:

8.3.1. Minicontrolador PIC

Un minicontrolador es una computadora que ha sido reducida o integrada a través de un Chip, es decir que consta con los diferentes componentes básicos que cuenta una, por ejemplo: Memoria interna, Buses, CPU y periféricos tanto internos como externos (ver figura 58). Las siglas PIC significan Peripheral Interface Controller o Controlador de Interfaz periférico es decir es un dispositivo que permite el control de los diferentes procesos de sistemas electrónicos mediante la manipulación o correlación de equipos adyacentes. [49]

Figura 58: Elementos Principales de un PIC

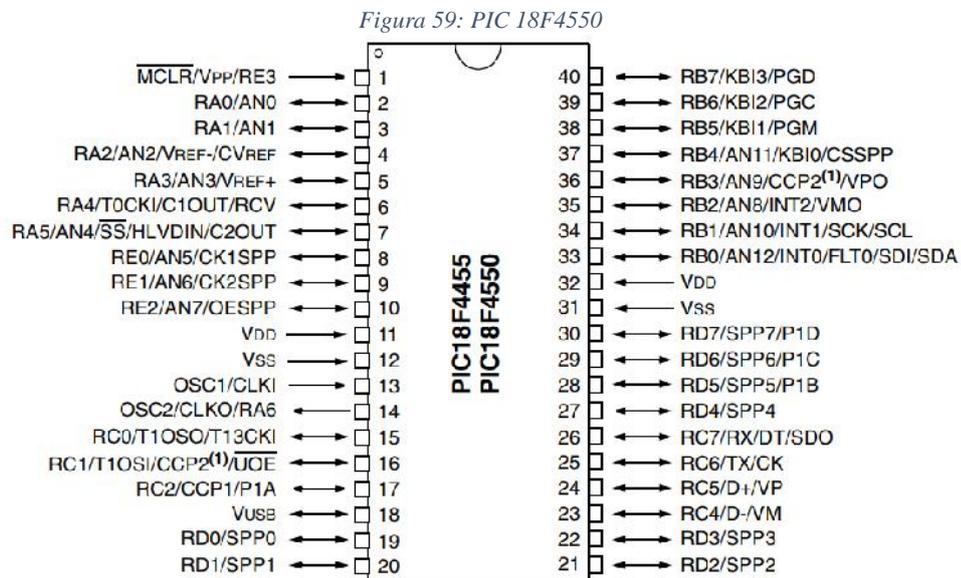


FUENTE: [49]

Existen numerosos minicontroladores que se seleccionan según su aplicación, en caso de este proyecto se utilizará un PIC 18F4550, debido a que cuenta con las entradas necesarias (se definen como aquellas señales o intercambio de señales que se pueden cuantificar o escalar a través de una magnitud física como la temperatura, radiación, voltaje, etc. [50]).

Las señales necesarias para controlar el servomotor se denominan PWM o Pulse Width Modulation cuya traducción es Modulación por Ancho de Pulso, estas modificaciones de una onda se manifiestan a través del efecto de una señal analógica sobre una carga a partir de la variación de la frecuencia y el ciclo de una señal digital (estas señales se manifiestan por describir estados binarios con los cuales trabajan los sistemas computacionales actuales “0 y 1”). Para generar dichas señales se utilizan generalmente Temporizadores, los pines que permiten realizarlas son los “R”, en el caso del PIC 18F4550 serán los terminales 39 y 40. Esto se tomará en cuenta para las posteriores conexiones. [51]

el fabricante de PIC microchip [52] nos ofrece la descripción de este producto que se detalla en la figura 59:



FUENTE: [52]

Los puertos A y B se usarán, por comodidad, como entradas y salidas. Es menester mencionar que el PIC a emplear, contiene diferentes puertos que podrán ser definidos durante su posterior programación.

Los puertos VSS son aquellos que se usan para los puntos positivos de la fuente de alimentación de 5 Voltios (Positiva) y en cambio los puertos VDD son aquellos que se conectan a tierra que es común para todo el circuito.

Finalmente se debe señalar que el Oscilador de Cristal a utilizar será de 48 MHz, que se conectarán en los puertos 13 y 14 del equipo y usarán dos condensadores de 18pF como recomendación del fabricante Carrod que señalan la capacidad de carga del sistema. Estos equipos generan una señal

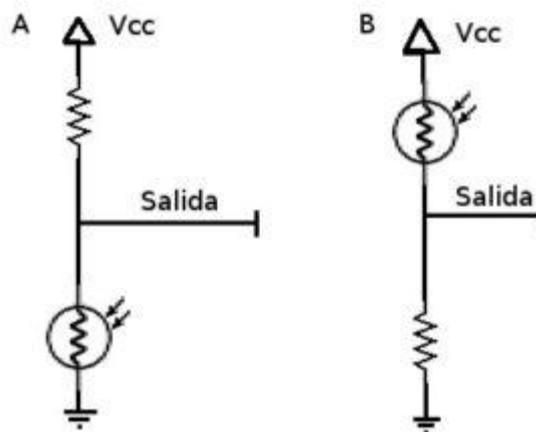
periódica a través de una onda, permite reemplazar un Circuito oscilador convencional ya que es más estable. [53] [54]

8.3.2. Conexiones de las fotorresistencias

Las fotorresistencias son dispositivos que permiten la variación del paso de corriente en función a la incidencia de luz en ellos, estos equipos por ende varían su resistencia para impedir el paso de electrones, son conocidos como LDR o “light dependent Resistor” [55].

Estos equipos pueden configurarse o conectarse al controlador de dos maneras, las cuales pueden observar en la figura 60, la conexión tipo A permite que en función a la presencia de luz la resistencia que tenga el LDR será mucho menor y en el caso de la conexión tipo B, sucede lo contrario mientras haya más presencia de luz la resistencia incrementará impidiendo el paso de corriente. [56]

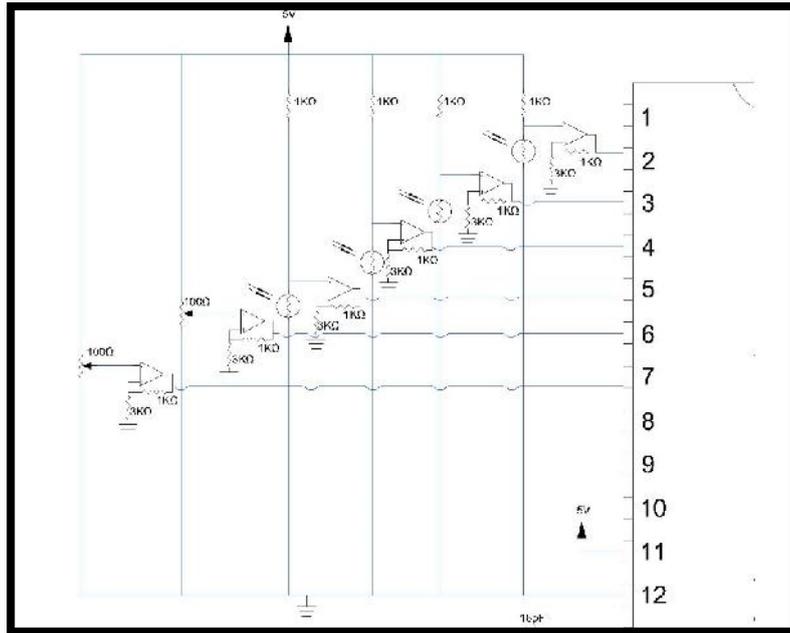
Figura 60: Conexiones de las Fotorresistencias:



FUENTE: [55]

Para este estudio se utilizará la Conexión A, la fuente de voltaje (Vcc) será de 5 voltios en corriente continua, y la salida de la conexión será el mismo punto analógico que pertenezca al Minicontrolador PIC. Debido a que el sistema contiene 4 resistencias, se conectarán de forma que compartan un mismo punto en la fuente de voltaje y en la tierra, en la figura 61 se observa cómo serían las conexiones de las 4 fotorresistencias:

Figura 61: Conexiones de las Fotorresistencias del Sistema



ELABORACIÓN PROPIA:

8.3.3. Conexiones de los Servomotores

Los Servomotores son equipos eléctricos que permiten transmitir potencial mecánico a través de un eje, pero se diferencian de los motores eléctricos convencionales es que es capaz de ubicarse en cualquier posición dentro del rango admisible que tenga este (generalmente es de 180°), es usado para la robótica, automatización y circuitos electrónicos. [57]

En este proyecto se usará un servomotor de corriente continua alimentado por una batería de 12VDC, cuyo torque nominal es de 39.8 KgF-cm; este equipo funciona con voltajes nominales de 6 a 7.2 voltios, se utilizará un regulador de voltaje de 12/7 VDC para aprovechar el máximo torque posible del motor. Este servomotor es distribuido por la empresa Electro Pro [48]. Que gracias al análisis de Movimiento anterior se determinó que era el más óptimo para el sistema.

Figura 62: Servomotor 39,8 KgF-cm



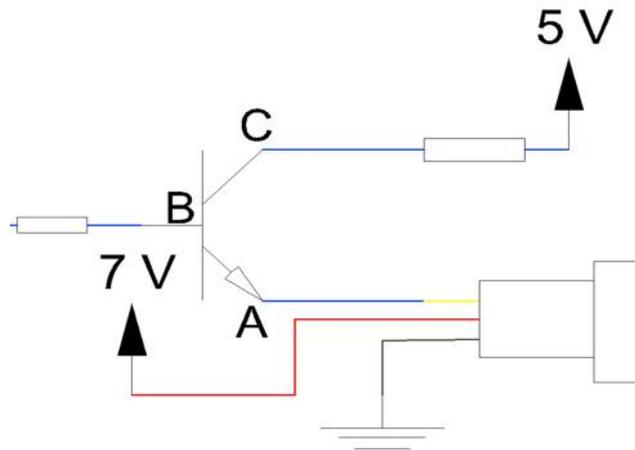
FUENTE: [48]

Estos equipos se presentan 3 conexiones que son 3 que se diferencian por el color de los cables:

- Cable Rojo: Representa la entrada de alimentación positiva que puede variar según el servomotor, en este caso es de 7 voltios en corriente continua.
- Cable Amarillo o blanco: Representa la entrada de Datos del motor, es aquel que permitirá el control del mismo, para ser conectado al PIC es necesario conectarse a un transistor bipolar (NPN 2N2222/A¹⁰) que permita un mejor control de las señales que se tengan y de esta manera evitar el ruido del servomotor. [58]
- Cable Negro o Marrón: representa el punto en común con la tierra.

Por lo tanto, la conexión del servomotor vendría a detallarse de la siguiente manera:

Figura 63: Conexión del Servomotor



ELABORACIÓN PROPIA

- Se utilizarán resistencias de 1 K Ω para esas conexiones.

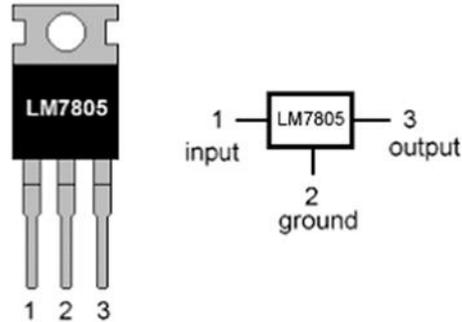
8.3.4. Conexiones de Reguladores de Voltaje

Los reguladores de voltaje o reguladores lineales de Tensión son circuitos integrados que permiten variar el de un voltaje mayor a un voltaje mejor fijo, entre los más comunes se encuentran los Reguladores pertenecientes a la serie LM78XX que regulan voltaje de 12 a 24 voltios según el modelo

¹⁰ Los transistores bipolares son dispositivos que permiten controlar una señal pequeña una de mayor potencia, pueden existir diferentes transistores donde los más comunes son los NPN y PNP que se diferencian básicamente por la dirección en la que se mueve la corriente.

que se tenga, estos además son los más empleados para alimentar controladores PIC. Estos circuitos cuentan con tres terminales, uno que se conecta a la fuente de entrada(1), el de en medio a tierra (2) y el último sería el que tenga la fuente de voltaje de salida(3). [59] [60]

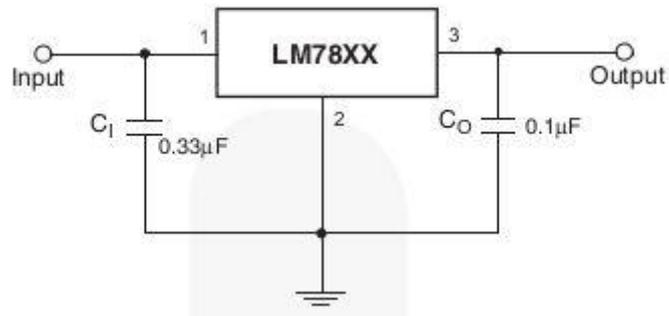
Figura 64: Diagrama de Regulador LM7805



FUENTE: [61]

La conexión que el autor [61] es admisible y recomendable para la serie de Reguladores LM78XX, como se requieren dos tipos diferentes de tensión una para el PIC (5 voltios) y otra para los servomotores (7 voltios) será necesario recurrir a dos tipos de esto: LM7805 y LM7807 para cada caso respectivamente.

Figura 65: Esquema de Conexión para Reguladores LM78XX

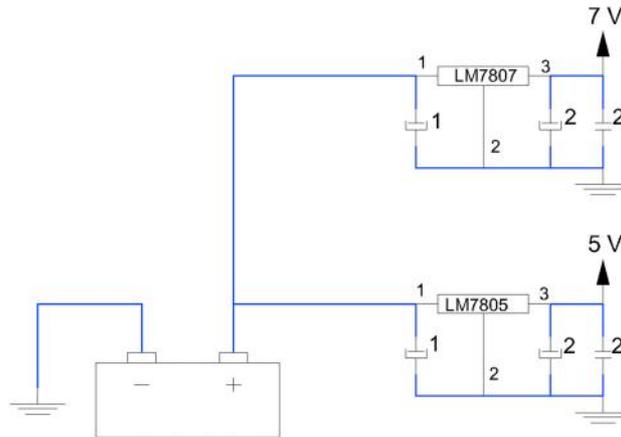


FUENTE: [60]

En la figura 65 se observan dos condensadores electrolíticos que permitirán un balance adecuado en la descarga y carga del regulador, adicionalmente a esto se deberá colocar un capacitor de 100nF como recomendación del distribuidor MikroElektronika. [62]

Finalmente se resuelve el siguiente esquema de conexión para las diferentes fuentes de voltaje:

Figura 66: Conexiones de Fuentes de Voltaje



ELABORACIÓN PROPIA

- Es importante señalar que estos Reguladores pueden soportar hasta 1.8 A y los servomotores solo consumen 300 mA, por lo tanto, no habrá ningún inconveniente.

8.3.5. Conexiones de Potenciómetro

El potenciómetro es un elemento que permite regular el voltaje de un sistema a través de una resistencia variable, para las conexiones se deberá seguir el esquema de la figura 67:

Figura 67: Potenciómetro



FUENTE: PanaHitek

Este dispositivo permitirá variar de manera manual el valor de precisión o el error que tendrá el programa, en la figura 67 la señal de entrada será la fuente de voltaje de 5 voltios, la señal de salida será un puerto analógico. Para dimensionarse será necesario recurrir a la Datasheet del PIC [52] donde se observa que los terminales tienen valores admisibles de corriente de 25-100 mA, finalmente se usa la ley de ohm para calcular la resistencia:

Ecuación 27: Ley de Ohm

$$V = I \cdot R$$

Obteniendo de esta manera un rango de resistencia entre 25 y 100 Ω , por lo tanto, se optará por usar un potenciómetro de 100 Ω .

8.3.6. Interruptor Horario

El interruptor horario es un dispositivo que permite automatizar cambios de estado apagado y encendido de un sistema eléctrico, generalmente es usado en equipos para controlar el uso de energía eléctrica como Sistemas de Aire acondicionado o sistemas de iluminación pública. [63]

Este interruptor se utilizará básicamente para programar diversos ciclos de trabajo del Seguidor lumínico durante un tiempo determinado. Las diferentes conexiones necesarias son descritas en cada manual o datasheet del distribuidor.

Figura 68: Interruptor Horario Orbis

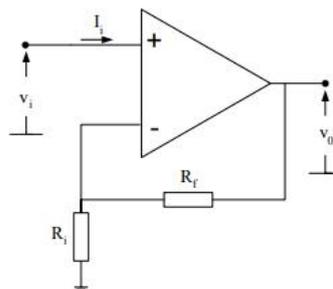


FUENTE: <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/1703005/Interruptor-Horario-Digital-220-v/1703005>

8.3.7. Amplificador Operacional

Las señales que llegan a un microcontrolador PIC o una Arduino es necesario conectar un amplificador operacional, ya que las lecturas de los elementos acopladas al PIC pueden variar cuando están en carga o vacío. El autor [64] señala que para el caso de sensores es recomendable usar el Amplificador Operacional unitario no inversor, el cual puede observarse en la figura 70.

Figura 69: Amplificador Operacional No inversor



Fuente: [64]

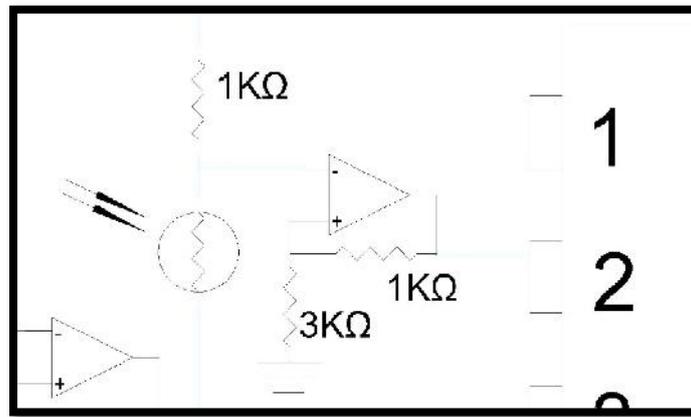
Finalmente es importante señalar que este Amplificador puede aumentar ligeramente el Amperaje que pasa por este; por lo tanto, se deberá calcular un amperaje equivalente y definir las resistencias para que impidan que supere el máximo para los pines del PIC que oscilan en 25 mA[65]:

Ecuación 28: Voltaje de Entrada

$$v_i = v_o \frac{R_i}{R_i + R_f}$$

Por lo tanto, asumiendo un valor máximo para el voltaje de entrada de 5 Voltios y un valor para las resistencias R_f y R_i de 1000Ω y 3000Ω respectivamente. Generando corriente de 19,8 mA. Por lo tanto, es factible utilizar este dispositivo siguiendo la configuración presentada.

Figura 70: Conexiones del Amplificador Operacional



ELABORACIÓN PROPIA

El autor ha optado por utilizar el amplificador operacional simple LM741, gracias a su datasheet mantiene las condiciones necesarias para el funcionamiento del equipo.

8.3.8. Batería

Para determinar la capacidad de la batería es necesario determinar el consumo total del Seguidor lumínico que se constituye de los diferentes equipos que se han abarcado en este apartado, estos parámetros han sido obtenidos de sus datasheet:

Tabla 11: Potencia del Seguidor Lumínico

ELEMENTO	AMPERAJE (A)	VOLTAJE (V)	POTENCIA (W)	Nº	POTENCIA TOTAL (W)
PIC	0,018	5	0,09	1	0,09
LDR	-	-	0,09	4	0,36
TRANSISTOR	0,0008	5	0,004	2	0,008
POTENCIOMETRO	0,1	5	0,5	2	1
SERVOMOTOR	0,362	7	2,534	2	5,068
INTERRUPTOR HORARIO	-	-	1,2	1	1,2
Amplificador Operacional		5	0,000045	4	0,00018
TOTAL					7,72618

ELABORACIÓN PROPIA

Teniendo esto en cuenta se pueden encontrar la energía diaria que debería suplir una batería diariamente, siguiendo la metodología planteada anteriormente es posible encontrar la capacidad necesaria de las baterías:

Tabla 12: Capacidad Necesaria para el Seguidor Lumínico

PARÁMETROS	diaria	mensual	anual
ENERGÍA (W-h)	92,714160	2781,4248	33377,0976
Perdidas	0,05	0,05	0,05
Cu(Wh)	97,349868	2920,49604	35045,9525
Cu(Ah)	8,112489	243,37467	2920,49604
C(Ah)	13,520815	405,62445	4867,4934

ELABORACIÓN PROPIA

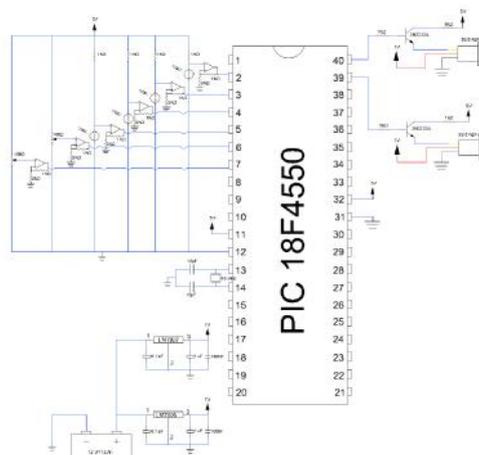
Siendo la capacidad de las baterías de 13,521 A-h diarios, se pueden usar baterías de gel de 15 A-h -12V, que tendrían que ser recargadas diariamente o posiblemente semanalmente algo que para una comunidad aislada sería un grave problema puesto que pueden no tener a la mano las herramientas o los recursos para esa práctica, además de que dichas baterías tienen un tiempo de vida útil muy bajo y no son baratas. Otra solución podría ser utilizar baterías de una sola vida, pero esto solo plantearía un gasto innecesario y una posible contaminación debido a que estos equipos requieren un tratamiento especial para ser desechados.

La solución que el autor plantea es que debido a que el acumulador posee una capacidad de 688 Ah, por lo tanto, podrá suplir sin problemas el sistema de seguidor lumínico. Es importante señalar que si sería más factible utilizar una batería de menor capacidad apartada del acumulador principal, esto haría que los costos del sistema aumentarían debido al uso de otro regulador.

Cabe resaltar que el sistema estaría en una posición neutral hasta que el acumulador obtenga cierta cantidad de energía para mover el sistema.

- Las conexiones del sistema se han detallado en el anexo 6

Figura 71: Diagrama de Conexiones del Circuito General



ELABORACIÓN PROPIA

8.3.9. Finales de Carrera

Dispositivos electrónicos que permiten variar el estado de un circuito según una trayectoria que tenga su sistema, estos elementos se accionan a través de un interruptor que podrá actuar o desactivar las funciones de ciertos mecanismos que estén o no operando. Si bien no son muy costos de manera global, son muy poco fiables debido a su pobre sensibilidad, se usan generalmente en proyectos pequeños y debido a que la mayoría de equipos presentados en este documento presentan de antemano protecciones tanto eléctricas como mecánicas que impedirán que su movimiento sea atípico o fuera de los parámetros establecidos, no se encuentra necesario usar este dispositivo sin embargo se hace de conocimiento a los lectores que lo consideren necesario.

Además, es importante señalar que el código de programación tendrá una línea que especificará dichas limitaciones de movimiento. Finalmente se debe recordar que a grandes inercias estos elementos podrían no tener un tiempo de vida útil prolongado.

Figura 72: Finales de Carrera



FUENTE:

https://www.iberobotics.com/wp-content/uploads/2018/03/final-de-carrera_con_rueda-e1520015362571.jpg

8.4. Programación del PIC

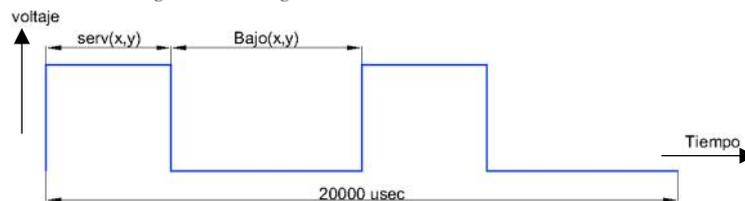
Una vez definidos los componentes necesarios para el sistema, será necesario realizar la programación en el lenguaje C++, para esto será necesario hacer uso de un software gratuito llamado C++ online, con el será factible compilar el código de programación.

El código desarrollado se ha detallado a continuación, cada línea de código representará una etapa del proceso que deberá cumplir el seguidor lumínico, pero básicamente este cumplirá la siguiente función:

- Los LDR captarán la intensidad de luz proveniente del sol, de esta manera cuando exista una diferencia entre ellos se inclinará hacia donde haya mayor luminosidad.

- Cada servomotor tendrá dos fotorresistencias los cuales les señalaran el movimiento, este código deberá tener un margen de error o precisión, que para no ser ingresado una y otra vez al PIC hasta encontrar el más adecuado, se utilizará un potenciómetro.
- El código establecerá límites para los servomotores tanto mínimos como máximos, de esta manera siguiendo los datos de la data que el fabricante ofrece.
- El código comenzará con un estado inicial que será el neutro del servomotor.
- Cuando se obtengan los datos del ancho de pulso en una situación determinada el código deberá enviar una señal para activar el servomotor y esperar para que el ancho de pulso baje la señal, esto quiere decir que el tiempo del PWM calculado anteriormente será el tiempo de espera para luego bajar la señal. Debido a que cada onda de la señal del servomotor equivale a 20000 usec y en cada media onda se genera una cresta, es decir el pulso, se deberá definir una función “BAJO” la cual será la diferencia entre la longitud de media onda y el Pulso del servomotor, esto puede visualizarse mejor en la figura 72:

Figura 73: Diagrama de señales del Servomotor



ELABORACIÓN PROPIA

- Para realizar estos factores se deberá recurrir a la datasheet o ficha de datos [66] del servomotor que permita observar los parámetros necesarios para la programación del seguidor:

Tabla 13: Parámetros del Potenciómetro

PARAMETRO	VALOR
Rango del Angulo	-110 a 110°
Longitud de Onda	20 000 usec
Ancho de Pulso en Posición neutral	1 500 usec
Ancho de Pulso Máximo	2350 usec
Ancho de pulso Mínimo	650 usec

ELABORACIÓN PROPIA

El código de programación se describirá a través de un diagrama de flujo expuesto en el anexo 7, el código se detalla a continuación [67] [68] [69]:

```

#include <18F4550.h> // modelo de pic a utilizar
#define adc=10 // Convertir señal analógica en digital de 10bits
#fuses INTRC, NOWDT, WDT32768, NOMCLR, NOPROTECT, NOLVP, NODEBUG, HS
#use delay(clock=48Mhz) // frecuencia de trabajo
#include <math.h> // Incluir la librería matemática
#use fast_io(b) // pines a utilizar
#include <usb_bootloader.h> //código para el borrado de rom antes de grabar

int i; //define variables de 2 bytes (0,1)
int16 x1,x2,y1,y2,servx,servy,bajox,bajoy; // define variables de 16 bytes
signed int16 errx,erry; //define variables con signo de 16 bytes

void main(){ // cuerpo del programa
    set_tris_b(0b00000000); //define los puentes b todos como salidas
    output_b(0b00000000); // limpia el registro de los puentes en b
    setup_adc_ports(all_analog); //configura los puentes del pic en analógicos
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //define la señal de reloj interno utilizada en la conversión de los puentes
    servx=1500; // Estado inicial del servomotor x que será a 1500 usec es decir a 0°
    servy=1500; // Estado inicial del servomotor Y
    i=0; // Definición de la variable i como 0
    while(true){ // Crea un bucle del programa
        switch(i){ // condicional que permitirá intercalar entre el caso 0 y 1
            case 0: //caso 0
                set_adc_channel(0); // Lectura del canal A0
                delay_us(10); //Retardo de 10 microsegundos
                x1=read_ADC(); // A lo luido definir como X1 (LDR X1)
                set_adc_channel(1); //Lectura del Canal A1
                delay_us(10); //Retardo de 10 microsegundos
                x2=read_ADC(); // A lo leído definir como X2 (LDR X2)
                set_adc_channel(4); //Lectura de canal A4
                delay_us(10); //Retardo de 10 microsegundos
                errx=read_ADC(); // Definir lo leído como Errx (Potenciómetro X)

                if(x1-x2>errx){ //sí la diferencia de los LDR x1 y x2 es mayor al error X
                    servx=servx-50; //Se genera un bucle donde el servomotor disminuirá sus PWM hasta cumplir la condición
                }
                if(x2-x1>errx){ //sí la diferencia de los LDR x2 y x1 es mayor al error X
                    servx=servx+50; // Se genera un bucle donde el servomotor aumentará sus PWM hasta cumplir la condición
                }
                if(servx<650){ //límite del servomotor si sus PWM son menores a 650 usec
                    servx=650; // entonces se mantendrá en ese valor
                }
                if(servx>2350){ // Límite del servomotor si sus PWM son mayores a 2350 usec
                    servx=2350; // se mantendra en ese valor
                }

                bajox=10000-servx; // calcula el valor de bajox con la diferencia entre 10000 usec (media Onda del servo) y el valor anterior del
                PWM del Servomotor
                // esto se hace con el fin de que la onda total del servomotor sea de 20 mseg
                output_high (pin_b6); //Orden de elevar el servomotor en el Pin B6
                delay_us(servx); // Retardo del tamaño del valor actual de los PWM del Servomotor x
                output_low (pin_b6); // Orden de bajar la seña del servomotor en el PIN B6
                delay_us(bajox); //Retardo de "bajox" microsegundos
                break; // permitirá que el case siguiente se ejecute

            case 1: // Caso 1
                set_adc_channel(2); //lectura del canal A2
                delay_us(10); //retardo de 10 microsegundos
                y1=read_ADC(); //definir lo leído como Y1 (LDR Y1)
                set_adc_channel(3); //Lectura del Canal A3
                delay_us(10); //Retardo de 10 microsegundos
                y2=read_ADC(); //Definir lo leído como Y2 (LDR Y2)
                set_adc_channel(5); // Lectura del Canal A5
                delay_us(10); // Ratardo de 10 microsegundos
                erry=read_ADC(); // Definir lo leído como Erry (Potenciómetro y)

                if(y1-y2>erry){ //Sí la diferencia de los LDR y1 e y2 es mayor al Erry
                    servy=servy+50; // Entonces crear un bucle donde los PWM del Servomotor Y aumentará hasta cumplir la condición
                }
                if(y2-y1>erry){ // Sí la diferencia de los LDR y2 e y1 es mayor al Erry
                    servy=servy-50; // Entonces crear un bucle donde los PWM del Servomotor Y disminuirá hasta cumplir la condición
                }
                if(servy<650){ // Límite inferior de los PWM que será de 650 usec
                    servy=650;
                }
            }
        }
    }
}

```

```

if(servy>2350){ // límite máximo de los PWM será de 2350 usec
servy=2350;
}

bajoy=10000-servy; // cálculo del Valor de Bajoy
output_high (pin_b7); // Orden de encender el Pin B7 del servomotor Y
delay_us(servy); // Retardo de "servy" microsegundos
output_low (pin_b7); // Orden de bajar la señal en el Pin B7 es ecir el servomotor Y
delay_us(bajoy); // Retardo de "bajoy" microsegundos
break; // Permitirá la evaluación de los demás casos si es que existen sino se reiniciará gracias a la función while true
}
i=i+1; // Intenta intercalar los casos
}
}

```

El programa en sí ha sido compilado y no muestra errores de escritura.

Adicional a estos programas es importante señalar que el PIC18F4550 tiene la función Bootloader que permite grabar los archivos “hex”, lo cuales son producto de la compilación de un código de programación, facilitando hacerlo a través de un USB sin necesidad de utilizar un grabador externo cada vez que se requiera una mejora o cambio del mismo.

El primer paso a realizar es compilar el programa correspondiente al Bootloader que se observará en el archivo “*ex_usb_bootloader.c*”, una vez compilado como archivo “.hex” podrá grabarse en el PIC utilizando, únicamente para este caso, un compilador externo, este último permitirá que los programas nuevos puedan ser leídos por el PIC; adicional a esto se empleará el archivo “*ex_usb_common.h*” este último serán los driver o los controladores de la interfaz USB.

Finalmente se utilizará de la librería CCS el archivo “*usb_bootloader.h*” el cual permitirá bootear o abrir los nuevos códigos instalados en el microcontrolador. [70]

Este método facilita el uso continuo de un programa en etapa de desarrollo ya que de esta manera permite que su ejecución sea más amena. Estos pasos se muestran más detalladamente en la fuente [71], el cual contiene además los diferentes archivos y programas necesarios para su ejecución.

IX. ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL PROYECTO

9.1. Mejora de Producción de Energía

Para este apartado se usarán diferentes fuentes que han usado equipos parecidos al de este proyecto, muchos de estos ya han sido analizados en el apartado de estado del arte, por lo tanto, se analizarán dichos resultados para obtener una mejor rentabilidad.

Los diferentes proyectos se describirán a continuación:

9.1.1. Evaluación de otros Proyectos

- Proyecto 1

Este proyecto desarrollado para la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas en el 2015, abarcó el uso de un seguidor lumínico que se ajustaba a un posicionamiento del sol cada 60 minutos obteniendo un aumento en la producción de energía de los paneles de 27,98%. Este equipo utilizará un sistema de guía para ubicarse con dos ejes. [5]

- Proyecto 2

Esta tesis desarrollada por dos exalumnos de la Universitaria de El Salvador desarrollada en el 2012. De un sistema de seguidor fotovoltaico de dos ejes accionado por motores que logró un aumento de producción del 17,15%. [6]

- Proyecto 3

Este proyecto ha sido desarrollado en la Universidad de Valladolid que analiza diferentes sistemas fotovoltaicos con seguidor de uno o dos ejes y fijos, es un estudio más completo con los 3 diferentes paneles (monocristalino, policristalino y amorfo) utilizando el software “HP BENCHLINK DATA LOGGER” que a través de canales analógicos puede tomar la data en un determinado tiempo de una magnitud física (Temperatura, corriente, etc.) Los autores señalan que el rendimiento vario al largo del año puesto debido a los cambios climáticos que ocurren en diferentes estaciones. Siendo el monocristalino y el policristalino los que producen mucha más energía. Como ya se estableció anteriormente se usará un Panel policristalino que tiene una eficiencia elevada y un costo no muy alto. Se presentan los siguientes resultados del autor del proyecto 3 [72]:

Figura 74: Incremento de Producción Por mes Policristalino



FUENTE: [72]

Estos resultados se muestran durante todo un año y se observa que los meses de menor producción son noviembre a febrero que corresponden a los meses de invierno en España (lugar donde se realizó el proyecto), por lo tanto, el peor de los meses se obtiene un incremento del 20,64%.

- Proyecto 4

Este proyecto desarrollado en el Instituto de Estudios de Postgrado de la Universidad de Córdoba, esta tesis busca suministrar edificios urbanos por medio de paneles fotovoltaicos y para mejorar su eficiencia ha instalado un seguidor de dos ejes. A modo de estudio se ha comparado con un sistema de generación fotoeléctrico fijo con paneles policristalinos para ver cuanto varía la producción de este, habiendo en comparación un aumento del 19% de producción energética, a pesar de que el sistema se centra en el análisis mecánico realiza un buen análisis enfocado a la recepción de radiación en los paneles.

9.1.2. Mejoras del Sistema

Teniendo en cuenta que según los proyectos anteriormente mencionados mencionan que la producción de los sistemas fotovoltaicos con seguidor solar aumenta en un 21% aproximadamente, será factible tener 3 configuraciones para el sistema: Reducción de paneles, Aumento del Acumulador o aumento de potencia en el sistema.

9.1.2.1. Caso 1: Reducción de los Paneles

Este análisis se usará el cálculo de energía disponible o energía que los paneles suministrarán al sistema.

Se determinó que la energía necesaria del panel para que el equipo pueda operar continuamente durante un día es de:

$$E_p = 1\,598,889 \text{ W} - h/\text{día}$$

Con este valor se logró determinar que el número de paneles necesarios son 2 y consecuentemente es posible calcular la cantidad real que va producir el panel que sería:

Ecuación 29: Energía real de los paneles

$$E_R = N_p \times H \times C_p$$

Finalmente se obtiene que la energía real de los dos paneles será de 1604 W-h/día, si a esta ecuación se le aumentará el 21% se obtendría 1940,84 W-h/día. Sin embargo, si en lugar de dos paneles se usará únicamente uno, se obtendría un valor de 970,42 W-h diarios que no es suficiente para suplir a las cargas y por ende para este sistema no será factible reducir el panel. No obstante, esto no quiere decir que no sea una posibilidad, es posible que en otros equipos sea conveniente.

9.1.2.2. Caso 2: Aumento del Acumulador

La energía consumida por el sistema es 1438,9998 W-h diarios, si esta aumentará a la par de la producción de energía (teóricamente) entonces la capacidad del acumulador lo haría también. Siguiendo la metodología expuesta en el capítulo 7, así mismo se obtiene una capacidad de 725,496 A-h y por consecuente serán necesarias 5 Baterías.

9.1.2.3. Caso 3: Aumento de Carga del Equipo

Al igual que los primeros casos se determinó que la energía consumida por el sistema de 1438,99997 w-h diarios aumentaría a la par que la producción de energía. Por lo tanto, para determinar la nueva carga que podría llegar a tener el equipo. Para esto se recurrirá a la ecuación 8:

$$E \times 1,21 = \frac{E_t}{R}$$

$$E_t = 1276,55 W - h$$

Los diferentes cálculos desarrollados en este apartado serán expuestos en el anexo 9

9.2. Presupuesto Referencial del proyecto

El presupuesto se ha dividido en 4 apartados donde se han detallado los diferentes recursos y procesos necesarios para su elaboración. Estos precios fueron extraídos de diferentes empresas de manera referencial.

En la tabla 14, se han descrito los recursos para el Sistema de Generación, estos han sido extraídos del Distribuidor español Auto Solar¹¹ que tiene sede en Miraflores, Lima, Perú. Junto con otros accesorios de diferentes necesarios para su instalación. Es importante señalar que las estructuras para los paneles solares

¹¹ <https://autosolar.pe/>

se instalan en una superficie de concreto que se considerará de un 10% del costo total de los equipos de esta sección.

Tabla 14: Presupuesto Referencial - Sistema de Generación

TIPO	N#	Nombre	Unidad	Tipo de unidades	Costo unitario	COSTO TOTAL
Sistemas de Generación	1	Baterías Ultracell UCG172-12	4	UND	S/850,90	S/3.403,59
	2	Panel FotovoltaicoTAI200Wp-156-54P	2	UND	S/675,00	S/1.350,00
	3	Regulador de Carga PWN PC1500B-40	1	UND	S/248,78	S/248,78
	4	Inversor de Corriente Must Solar 300W 12V	1	UND	S/521,95	S/521,95
	5	Cable unifilar 6 mm2 powerFlex RV-K	48	m	S/7,62	S/365,76
	6	Cable unifilar 10 mm2 Solar PV ZZ-F	1	m	S/9,94	S/9,94
	7	Cable unifilar 16 mm2 Solar PV ZZ-F	3	m	S/14,53	S/43,59
	8	Tubo PVC 1/2 pulgada (3m)	3	m	S/5,50	S/5,50
	9	Caja Estanca de Paso (150x120 mm)	1	UND	S/22,94	S/22,94
	10	Codos para Tubería PVC	1	UND	S/57,00	S/57,00
	11	Bloque de Cemento 0,3x0,3m ² (10%)	2	Global	-	S/60,29
SUB TOTAL						S/6.089,34

ELABORACIÓN PROPIA

En la Tabla 15 se detallan los recursos necesarios para el seguidor lumínico estos precios han sido tomados según las diversas distribuidas de equipos electrónicos en el Perú.

Tabla 15: Presupuesto Referencial - Seguidor Lumínico

Seguidor Lumínico	12	PIC18F4550	1	UND	S/38,14	S/38,14
	13	Fotoresistencias	4	UND	S/0,85	S/3,39
	14	Resistencias 1K Ω	6	UND	S/0,08	S/0,51
	15	Servomotor Digital XQ-S5040D 39.8kgf.cm	2	UND	S/165,25	S/330,51
	16	Transistor NPN 2N2222/A	2	UND	S/0,25	S/0,51
	17	Regulador de Voltaje LM78XX	2	UND	S/2,12	S/4,24
	18	Capacitor 0,33/0,1 uF	2	UND	S/0,85	S/1,69
	19	Potenciómetro 100 Ω	2	UND	S/4,24	S/8,47
	20	Interruptor Horario	1	UND	S/254,24	S/254,24
	21	Cable flexible	2	Metros	S/10,85	S/21,70
	22	Plancha de Fibra de Vidrio 10x10 cm2	1	m	S/12,71	S/12,71
	23	Estaño	1	m	S/1,69	S/1,69
	24	Amplificador Operacional Unitario	4	UND	S/2,00	S/8,00
	25	Proceso de Elaboración de la Placa Electrónica	2	Global	S/33,89	S/67,78
	SUB TOTAL					

ELABORACIÓN PROPIA

En la Tabla 16, se detallaron los costos de la estructura metálica o de soporte para el panel fotovoltaico, es tas dimensiones han sido extraídas de empresas que fabrican piezas de transmisión o soporte como McMaster¹², la cual tiene un alto prestigio y utiliza medidas estandarizadas. Para su instalación y construcción se recurrieron a diversas empresas como tornos o carpinterías metálicas que pudieran realizar el proyecto, una de ellas DECARMAN realizó una proforma donde detallaba los costos (Anexo 10) que describe los costos referenciales al inspeccionar la información de la tabla 16.

¹² <https://www.mcmaster.com>

Tabla 16: Presupuesto Referencial - Estructura Metálica

Material Para Estructura	26	Chumaceras ($\varnothing_{eje}=1,125$ pulgadas)	2	UND	S/247,30	S/494,60
	27	Rodajes de chumaceras ($\varnothing_{eje}=1,125$ pulgadas)	2	UND		
	28	Tornillos(21/32 pulg)	4	UND	S/1,00	S/4,00
	29	Engranaje($\varnothing_{pitch}=3,5$ pulgadas)	2	UND	S/209,09	S/418,19
	30	Pernos para base ($\varnothing_{pemo}=1,5$ pulg)	4	UND	S/1,00	S/4,00
	31	Eje Chumaceras ($\varnothing_{eje}=1,125$ pulgadas)	30	mm		
	32	Eje sosten de Tubo Cuadrado ($\varnothing_{eje}=1,5$ pulgadas)	100	mm	S/25,00	S/25,00
	33	Eje para servomotor inferior($\varnothing_{eje}=0,625$ pulgadas)	80	mm		
	34	Eje base fijo($\varnothing_{eje}=3,5$ pulg)	300	mm	-	
	35	Base cuadrada para servo(6,5x1,75x0,12pulg)	2	UND	-	
	36	Tubo cuadrado (60x60x5mm)	1500	mm	-	
	37	Nervio Para base de chumacera(60x60x5 mm)	8	UND	-	
	38	base plato ($\varnothing_{eje}=4$ pulgadas - t=5 mm)	1	UND	-	
	39	base sosten de eje sosten de tubo cuadrado (t=5mm)	50	mm	-	
	40	Caja Para servomotor (62,5x62,5x32,5; t=2,5 mm)	1	UND	-	
	41	Base sevomotor superior(60x65x1 mm)	1	UND	-	
	42	Sosten Para Fotoresistencia (planchas 30x30x5mm)	3	UND	-	
	43	Perfil en ángulo (1 pulg de t=2,5 mm)	4360	mm	-	
	44	Soporte para Placa electrónica de seguidor lumínico	1	UND	-	
	SUB TOTAL					
Mano de Obra para construcción de Estructura	45	Aplicación de Pinturas para Barcos (Antioxidantes)	1	Global	-	
	46	Soldado de Perfil en ángulo	4	Global	-	
	47	Corte de Perfil en ángulo	4	Global	-	
	48	Pulido de estructura	1	Global	-	
	49	corte de eje chumaceras	2	Global	-	
	50	Perforación de base cuadrada($\varnothing=21/32$ pulg)	4	Global	-	
	51	Corte Tubos Cuadrados	1	Global	-	
	52	Soldado de Tubos Cuadrados con la base cuadrada	1	Global	-	
	53	Soldado de tubos cuadrados con la caja para servomotor inferior	1	Global	-	
	54	Soldado de Nervio con la Base Cuadrada y Tubo Cuadrado	2	Global	-	
	55	Soldado de Eje inferior y Tubo Cuadrado	1	Global	-	
	56	Instalación de eje y engranajes	2	Global	-	
	57	Soldado de Eje base a Base sosten	1	Global	-	
	58	Soldado de Base y Eje base	1	Global	-	
	59	Soldado de Caja para servomotor	1	Global	-	
	60	Elaboración de caja de servomotor	1	Global	-	
	61	*Corte de Laminas de Metal para Caja de Servo	1	Global	-	
	62	*Soldado de Laminas de Metal para caja de servo	1	Global	-	
	63	Perforación en el Tubo Cuadrado	2	Global	-	
	64	Soldado de Base servo superior a la base metálica	1	Global	-	
65	Soldado de Base para Fotoresistencia	1	Global	-		
66	Doblado de tubos	1	Global	-		
SUB TOTAL						S/41,00

FUENTE PROPIA

Cabe resaltar que el material que comúnmente se utiliza en estas carpinterías metálicas es el Hierro Negro, si bien no es el mejor metal para ser usado en la intemperie ya que es posible que la se oxide el metal y posteriormente se deteriore. Se optará por realizar un bañado con pintura de Barco que la protegerá contra el salitre y otros factores externos.

Con todos los costos que recaerán en el proyecto será necesario agregar un costo de envío del 5% del material, un 15 % del costo total para la Instalación de Equipos, Un Valor para Imprevisto como variación de precios u otros cargos del 5 % del material y finalmente se describen los costos totales con y sin IGV, los anteriores expuestos han sido descritos sin este impuesto, como se observa en la tabla 17.

Tabla 17: Costos Totales

Envío de Material (5% del costo del material)	S/388,92
Monto Por imprevistos(5% del Costo Total)	S/390,97
Instalación de los Equipos (15% del Costo Total)	S/1.172,90
COSTO TOTAL SIN IGTV	S/11.502,09
COSTO TOTAL CON IGTV (18%)	S/13.572,47

ELABORACIÓN PROPIA

Debido a que las estructuras solo pueden albergar un panel, se deberán duplicar los precios de las estructuras y el seguidor lumínico cuando se haga el conteo total.

9.2. Análisis de viabilidad

Para el análisis de viabilidad del proyecto se ha creído conveniente comparar el costo del proyecto con uno que no tenga seguidor lumínico, este proyecto tendrá las mismas condiciones que el expuesto, la diferencia será la estructura que será para un panel fijo de la distribuidora Autosolar, los parámetros expuestos en la tabla 17 serán aplicados en la tabla 18.

Tabla 18: Presupuesto Referencial Para el Proyecto 2

TIPO	N#	Nombre	Unidad	Tipo de unidades	Costo unitario	COSTO TOTAL
Sistemas de Generación	1	Baterías Ultracell UCG172-12	4	Global	S/850,90	S/3.403,59
	2	Panel Fotovoltaico TAI200Wp-156-54P	2	Global	S/675,00	S/1.350,00
	3	Regulador de Carga PWN PC1500B-40	1	Global	S/248,78	S/248,78
	4	Inversor de Corriente Must Solar 300W 12V	1	Global	S/521,95	S/521,95
	5	Cable unifilar 6 mm2 powerFlex RV-K	47	metros	S/3,83	S/180,01
	6	Cable unifilar 10 mm2 Solar PV ZZ-F	2	metros	S/5,76	S/11,52
		Cable unifilar 16 mm2 Solar PV ZZ-F	3	m	S/14,53	S/43,59
	7	Tubo PVC 1/2 pulgada (3m)	3	m	S/5,50	S/5,50
	8	Caja Estanca de Paso (150x120 mm)	1	global	S/22,94	S/22,94
	9	Codos para Tubería PVC	1	Global	S/57,00	S/57,00
	10	Bloque de Cemento 0,3x0,3m ² (10%)	1	Global	-	S/58,45
11	Estructura Metalica	2	Global	S/482,08	S/964,16	
SUB TOTAL						S/6.867,49

Envío de Material (5% del costo del material)	S/343,37
Monto Por imprevistos(5% del Costo Total)	S/343,37
Instalación de los Equipos (15% del Costo Total)	S/1.030,12
COSTO TOTAL SIN IGTV	S/8.584,36
igv 18%	S/10.129,55

ELABORACIÓN PROPIO

Por lo tanto, el costo difiere en un porcentaje de 34%, siendo el proyecto con seguidor lumínico el más costoso. Sin embargo, el proyecto sin el seguidor lumínico presenta un aumento de producción de energía del 21%, como se observa en la tabla 19.

Tabla 19: Análisis Costo/Beneficio

PROYECTO	COSTO	Aumento de producción	Aumento de Costo
DISEÑO CON SEGUIDOR	S/13.572,47	21%	33,989%
DISEÑO SIN SEGUIDOR	S/10.129,55	0%	0%

ELABORACIÓN PROPIA

X. CONCLUSIONES

- Se logró diseñar un sistema de generación fotovoltaico que permitirá el aprovechamiento del recurso solar en el poblado cucufana, atendiendo a sus necesidades cotidianas y a futuro, el seguidor lumínico permitirá obtener un 21% más de producción de energía, con ellos el sistema obtendrá mejoras como aumento de capacidad en las baterías, Incremento de Máxima Demanda y Disminución de Paneles Fotovoltaicos.
- Se logró demostrar a través de entidades del gobierno peruano como el MIDIS o la MINEM que hasta el 2016 el centro poblado cucufana no contaba con un proyecto de electrificación rural o siquiera estaba en proceso de gestionamiento, y la radiación solar que tiene según la Data de la Superficie meteorológica y Energía Solar de la Nasa 4,01 KW-h/m² diarios, por lo tanto, óptimos para su aprovechamiento a través de un sistema de generación fotovoltaico.
- Se logró determinar que para un centro poblado la calificación eléctrica es de 200 W/lote normada según la OSINERMIN, sin embargo, esto es demasiado pobre para que una casa atienda a sus necesidades básicas y crecer económicamente o mejorar su calidad de vida, muchos autores citados en el capítulo 6 mencionan que en promedio se requieren para zonas como la Costa hasta 600W/Lote esto significa que deberá tomar un valor entre estos rangos para dimensionar los equipos, de esta manera no se incumplirá la normativa y los ciudadanos obtendrán energía suficiente para desarrollarse adecuadamente. Con esto en mente y tomando en cuenta los aparatos que regularmente se usan en zonas rurales se obtuvo una Potencia total de 405 W con una cantidad de 10 equipos y teniendo en cuenta el número de horas que se mantienen encendidos en promedio durante un día se logró determinar que el consumo de energía será de 1055 Wh diarios.
- Se optó por utilizar el método ampere hora que se describe la Institución Española Censolar para el dimensionamiento de los equipos de los cuales se logró determinar que la energía necesaria que el equipo deberá suplir será de 1438,99 W-h diarios, con ello se determinaron las baterías a utilizar serían 4 en paralelo de 12 voltios y 172 Ah, los paneles a utilizar serían 2 en paralelo de 200 Wp, un Regulador de 40 A y un inversor de 12/220 V a 60 Hz de 300W.
- Para la selección del servomotor se bosquejó la estructura de la estructura metálica con el Acero A36, se logró encontrar que para cada estructura se necesitaba un mínimo de 22,14 KgF-cm y 18,056115 Kgf-cm. Por lo tanto, se seleccionó un servomotor de 38,75 KgF-cm ya que es el único disponible para suplir estos parámetros en el mercado peruano.
- La programación fue efectuada en el software gratuito C++ Online que permite realizar el código de programación y no muestra errores de escritura, cada elemento se ha seleccionado a partir de diferentes consejos y criterios de programados y fabricantes de electrónica, el elemento principal es el microcontrolador PIC18F4550. Que permite el control de servomotores; el funcionamiento que tendrá

este equipo se da a través de fotorresistencias que captaran una diferencia de luminiscencia que indicará hacia donde deberán girar los servomotores (tanto axial como radialmente), este error o precisión dependerá de un potenciómetro que podrá ser ajustado manualmente. Es decir que el programa podrá adaptarse a diferentes posiciones territoriales y no será necesario reprogramarse.

- La rentabilidad del sistema fue evaluada con el análisis de viabilidad, los diferentes elementos de transmisión se dimensionaron según el bosquejo hecho en SolidWorks y las dimensiones que el Fabricante McMaster. Los precios de la estructura han sido dados por la carpintería Metálica Decarman que junto con los diferentes equipos del sistema de generación y el sistema de Seguimiento lumínico los costos con IGV son de S/. 13 572,47 nuevos soles. A manera de comparación se tomaron los mismos datos del proyecto, es decir los cálculos para realizar un presupuesto referencial bajo las mismas condiciones, pero sin el seguidor lumínico y ver que tanto varían los costos de ambos para este último es necesario incluir un costo para la estructura estándar que se ha extraído del Distribuidor AutoSolar, se obtuvo un costo de S/10 129,55 nuevos soles. Esto quiere decir que con un seguidor lumínico se deberá invertir un 34% más que el sistema sin este; sin embargo, al analizar diferentes estudios hechos por autores con seguidores solare se obtiene en promedio un 21% más de producción de energía lo que es muy aceptable para la inversión que se está desarrollando por lo tanto el sistema es viable debido a que plantea una mejora frente a los sistemas fotovoltaicos convencionales.

XI. RECOMENDACIONES

- Este proyecto ha cumplido sus objetivos satisfactoriamente y ahora el autor desea que, si algún estudiante o lector está interesado en el tema, haga algún planteamiento de mejora para el sistema diseñado. Como la ejecución física o constructiva del mismo para poder analizar su comportamiento en la vida real y posiblemente estudiar puntos de rediseño que hagan el sistema más duradero y estable.
- Realizar un análisis para un plan mantenimiento basado en la confiabilidad que permita a los usuarios de este Sistema conservarlo en mejores condiciones según los parámetros climáticos o geográficos donde se diseñe el panel.
- Se recomienda además realizar un seguimiento con software como EATON para observar cómo es que el equipo aumenta su producción de rendimiento y compararla con los casos de estudios planteado en esta Tesis.
- Se recomienda que para la elaboración de la placa del Seguidor Lumínico se utilice disipadores de calor en los reguladores para que estos no se estresen y puedan operar mucho mejor. Además, es recomendable sellar la tarjeta del seguidor con placas aislantes de metal que impidan que el circuito sea perturbado por señales parasitas o externas, además de impedir que ocurra el rebote, que es la generación de ruido en las señales del sistema producto de suciedad, problemas de pulsadores, material elástico, etc.
- Este proyecto ha sido diseñado para sistemas domiciliarios que presentan una demanda relativamente pequeña, sin embargo, si se deseara aplicar a sistemas de potencia superiores, es probable que el código de programación deba modificarse en función a las especificaciones de los servomotores y sus elementos; un problema común que puede presentarse es la fuente de energía y el amperaje que pasara a través de los circuitos por lo tanto será recomendable utilizar equipos de potencia de mayor capacidad. Finalmente comparar los resultados para verificar la viabilidad del mismo.

XII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. G. d. O. Territorial, «CATEGORIZACION DE CENTROS POBLADOS,» Ucayali, 2013.
- [2] OSINERGMIN, «Clasificación de los sistemas de distribución eléctrica en Sectores de distribución típicos y cálculos de los factores de ponderación de valor agregado de distribución,» Lima, 2013.
- [3] M. d. M. y. Eneña, «Calificación Eléctrica para la elaboración de subsistemas de distribución secundaria,» El peruano, Lima, 2004.
- [4] J. Sumano Fuentes, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO DE SEGUIMIENTO FOTOVOLTAICO,» Universidad Tecnológica de la Mixteca, Mexico, 2012.
- [5] R. Arreola Gómez, A. Queved Nolasco, M. Castro Popoca, Á. Bravo Vinaja y D. Reyes Muñoz, «Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico,» Scielo, Mexico, 2015.
- [6] D. H. Guardado Gutiérrez y V. E. Rivera Chávez, «Implementación de seguidor solar en Dos ejes para el sistema fotovoltaico de la escuela de Ingeniería de la UES,» Universidad de El Salvador, El Salvador, 2012.
- [7] A. C. Alvarado Fajardo y H. Carvajal-Osorio, «Universidad Libre,» 10 Julio 2014. [En línea]. Available: <http://www.unilibre.edu.co/revistaavances/avances-11/art10.pdf>. [Último acceso: 15 Octubre 2017].
- [8] M. A. Rodriguez Meza, «Efecto Fotoelectrico,» CIENCIA ERGO SUM, Toluca, 2006.
- [9] ". d. C. D. D. d. F. d. I. U. C. d. Norte", «Experiencia N°9 : Efecto Fotoelectrico,» Universidad Católica del Norte, Antofagasta, 2016.
- [10] A. Cano, «Conceptos Fundamentales de La física, Física del Siglo XX,» JMLC, Sevilla, 2009.
- [11] J. A. García Barreto, «Radiación de un Cuerpo Negro,» Instituto de Astronomía UNAM, Mexico D.F., 2008.
- [12] F. A. Gutiérrez Mejía, «Revisión de Iso Trabajos de Planck En torno a la radiación de un cuerpo Negro,» Instituto Politécnico Nacional, Mexico D.F., 2009.
- [13] R. Zamora Ramos, «Estudio de la Radiación del Cuerpo,» Rafael Zamora, 2012.
- [14] M. Arlego, «Los fundamentos de la Mecánica Cuántica,» Scielo, La Plata, 2008.

- [15] W. Alvarez Samaniego, B. Alvarez Samaniego y D. Moya Alvarez, «Una interpretación física de la Constante de Plank,» Universidad Central de Ecuador, Quito, 2013.
- [16] I. A. Andaluz, «Naturaleza de La luz - Dualidad Onda Partícula,» Dept de Física y Química, Sevilla, 2016.
- [17] U. d. Cordoba, «Efecto Fotoelectrico Hipotesis de Einstein,» UCO, Cordoba, 2012.
- [18] E. Alomá y M. Malaver, «Análisis de Los conceptos de Energía, Calor, Trabajo y el Teorema de Carnot,» Universidad Simon Bolivar, Vargas, 2007.
- [19] C. Argentina, «Transformaciones de La energía,» Servicios ABC, Buenos Aires, 2007.
- [20] I. T. d. Canarias, «Clasificación de fuentes de Energía,» de *Energías Renovables y Eficiencia Energética*, Canarias, Instituto Tecnológico de Canarias, 2008, pp. 16-17.
- [21] O. Edenhofer, M. Ramón Pichhs y Y. Sokoma, «Fuentes de Energía Renovables,» de *Fuentes de Energía Renovables y mitigación del Cambio Climático*, Potsdam, Instituto de Investigación sobre el Impacto del Clima de Potsdam, 2011, pp. 19-20.
- [22] F. Gonzales Longatt, «Sistemas Fotovoltaicos, Sistemas de Generación Distribuida,» Loughborough University, Loughborough, 2008.
- [23] M. A. Abella, «Sistemas Fotovoltaicos,» Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas., Madrid, 2008.
- [24] J. Romero, «Análisi del Funcionamiento de Paneles Fotovoltaicos y Su utilización en las Regiones de la Costa y Sierra del Ecuador,» Escuela Politecnica Superior de Barcelona, Cataluña, 2015.
- [25] IUSA, «Interruptor Termomagnético,» [En línea]. Available: <http://ws.iusa.com.mx/Documentacion/Interruptores/Ficha/616634.pdf>. [Último acceso: 30 Mayo 2018].
- [26] INSTALECTRA, «Interruptor diferencial,» SONEPAR, Pontevedra, 2016.
- [27] M. d. E. y. Minas, «Plan Energetico de Electrificación Rural 2016-2025,» Archivos DGER, Lima, 2015.
- [28] M. d. E. Y. minas, «Plan Energetico Nacional 2014-2025,» Lima, 2015.
- [29] D. d. Pueblo, «La electrificación Rural en el Perú: Derechos y Desarrollo para todos,» Ivn Lanegra Quispe, Lima, 2010.

- [30] OSINERMINING, «Electrificación Rural,» SNIP, lima, 2011.
- [31] Y. A. Gamboa Palacios, «Gestión de Sistemas Fotovoltaicos para la generación de Energía Eléctrica En Zonas No Inerconectadas en el Pacífico Colombiano,» Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2016.
- [32] F. Morante, R. Zilles, E. Rafael y M. Horn, «Consumo de Energía Eléctrica en Sistemas Fotovoltaicos Domiciliarios de las Comunidades de los Uros, Taquile, Amantaní y Huancho Lima de la Región Puno, Perú,» Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, 2005.
- [33] S. A. Santa García, «Diseño de una Instalación Fotovoltaica autónoma para la Finca Mis Delirio en Pereira - Colombia,» Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, Pereira, 2014.
- [34] Censolar, «tipología y Dimensionamiento de los Sistemas Fotovoltaicos,» de *Curso de Experto Profesional en Energía Fotovoltaica*, España, Progensa, p. 121.
- [35] U. d. C. L. Mancha, «UCLM,» ATERSA, [En línea]. Available: <http://edii.uclm.es/~arodenas/Solar/componentes2.htm>. [Último acceso: 19 Mayo 2018].
- [36] Ultracell, «AutosolarPeru,» Autosolar, 2016. [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/pdf/Ultracell-UCG172-12.pdf>. [Último acceso: 12 Septiembre 2018].
- [37] eraeco, «eraeco,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.eraeco.es/index.php/informacion/biblioteca/baterias-acumuladores>. [Último acceso: 19 Mayo 2018].
- [38] MIT, «A Guide to Understanding Battery Specifications,» 05 Mayo 2018. [En línea]. Available: http://web.mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf. [Último acceso: Diciembre 2008].
- [39] M. A. Abella, «Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos,» Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas., Madrid, 2010.
- [40] ENERGYTAI, *PANELES POLICRISTALINOS*, Peru: AUTOSOLAR, 2016.
- [41] AUTOSOLAR, «AUTOSOLAR,» Solar System, 12 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/pdf/Controladores-Solares-PWM-Must-Solar.pdf>. [Último acceso: 12 Septiembre 2018].
- [42] MUSTSOLAR, *Inversor de Corriente AUTOSOLAR*, Lima: Autosolar, 2018.

- [43] P. D. Valdiviezo Salas, «Diseño de un Sistema Fotovoltaico Para el Suministro de Energía Eléctrica a 15 Computadoras Portátiles en la PUCP,» PUCP, Lima, 2014.
- [44] R. Alvarado, *Interruptores Termomagnética para uso domiciliario*, Santiago: Kersting S.A., 2011.
- [45] BTICINO, «Interruptor Termomagnético,» Promart, 2018. [En línea]. Available: <https://www.promart.pe/interruptor-termomagnetico-2x16a-220v-10ka-btdin/p>. [Último acceso: 01 Junio 2018].
- [46] EATON, *Elctro Dos NEORED*, San Martín: Electro Dos Ventas, 2014.
- [47] . U. h. *SEGUIDOR SOLAR CON MOTORES A PASO + ARDUINO*, Mexico DF: Instructables, 2015.
- [48] E. Pro, *Servomotor Digital XQ-S5040D 39.8kgf.cm*, Piura: Electro Pro, 2018.
- [49] J. Viera Rivero, *Microchip PIC*, Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 2009.
- [50] F. Miyara, *Conveesores D/A y A/D*, Argentina: Universidad Nacional de Rosario, 2004.
- [51] J. J. Guevara, *Generando Señales PWM con el PIC18F4550*, Unas guías Mas, 2016.
- [52] MicroChip, *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet 28/40/44-Pin, High-Performance, Enhanced Flash, USB Microcontrollers with nanoWatt Technology*, U.S.A.: Microchip Technology, 2006.
- [53] C. Electronica, *Crsital de 4MHz*, Mexico: Carrod Electrónica Online S. de R.L. de C.V., 2014.
- [54] A. Carretero Montera, F. J. Ferrero Forero, P. Sanchez- Infantes Hernandez de Madrid, J. A. Sanchez y F. J. Valero Sanchez, «Oscilador LC,» de *Electrónica*, Madrid, EDITEX, 2009, pp. 219-220.
- [55] J. A. Romana Yousuf, *Light Dependent Resistor (LDR) Based Low Cost Light Intensity Measurement Circuit Design (LUX Meter)*, India: slamic University of Science & Technology, 2016.
- [56] Trastejant, *Electrónica : Fotorresistencias*, HardWare Libre, 2012.
- [57] F. Candelas Herías y J. Corrales Ramón, *Servomotores*, Alicante: Universidad de Alicante, 2007.
- [58] A. McWilliams, *Servo Motors and Transistors*, Jahya, 2011.

- [59] FAIRCHILD, *MC78XX/LM78XX/MC78XXA*, USA: Fairchild Semiconductor Corporation, 2001.
- [60] J. Huircán, *Reguladores de Voltaje*, Mexico: Universidad de la Frontera.
- [61] ElectronicTools, *COMO FUNCIONA EL REGULADOR DE VOLTAJE 7805*, ETools, 2016.
- [62] M. d.oo, *Microcontroladores PIC – Programación en BASIC*, Belgrado: Ebooks, 2018.
- [63] COEL, «Interruptor Horario,» *Conheça A amazônia*, Sao Paulo.
- [64] U. E. d. Tachira, «UNET,» 2015. [En línea]. Available: <http://ve/~ielectro/EI%20Amplificador%20Operacional.htm>. [Último acceso: 15 noviembre 2018].
- [65] U. T. F. S. Maria, «Universidad Técnica Federico Santa María,» 2014. [En línea]. Available: <http://www2.elo.utfsm.cl/~ild208/apuntes/cap4.pdf>. [Último acceso: 15 Noviembre 2018].
- [66] P. M. Electronics, *DataSheet XQ-Power*, Shenzhen: Power Model Electronics, 2014.
- [67] U. T. d. Pereira, «Programando Microcontroladores PIC en lenguaje C,» Redalyc, Pereira, 2009.
- [68] A. Mora Campos, «Guía del Compilador C de CCS para microcontroladores PIC de microchip,» Instituto Tecnológico de Querétaro, Querétaro, 2017.
- [69] A. Cánovas López, «MANUAL DE USUARIO DEL COMPILADOR CCS,» Punto Flotante, España.
- [70] C. Frances, «Programação & Construção,» de *Programação & Construção*, 2015, pp. 55-56.
- [71] u. A. Unknown, «Apuntes de Electronica y Control,» 2 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://apuntesdeelectronicacontrol.blogspot.com/2014/02/usb-bootloader-pic-ccs-pic18f4550.html>. [Último acceso: 13 Junio 2019].
- [72] P. Martín Turiel, «Determinación Experimental del Incremento de Producción en Sistemas Solares Fotovoltaicos con Seguimiento en un Eje y en dos Ejes,» Universidad de Valladolid, Valladolid, 2016.

XIII. ANEXOS

ANEXO 1: CALIFICACIÓN ELÉCTRICA

Cuadro N° 2 - Calificación Eléctrica para la Elaboración de Proyectos de Subsistemas de Distribución Secundaria de acuerdo a la R.D. N° 015-2004-EM/DGE

Tipo de habilitación	Sector de Distribución Típico 1 W	Sector de Distribución Típico 2 W	Sector de Distribución Típico 3 W	Sector de Distribución Típico 4 W	Sector de Distribución Típico 5 W
a) Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 1 (Zonas R1-S y R1)	1 500 + 3 W/m ² hasta un máximo de 10 kW (suministro trifásico)	800 + 1 W/m ² hasta un máximo de 5 kW (suministro trifásico)	—	—	—
b) Habilitaciones de baja densidad poblacional, tipo 2 (Zona R2)	1 500	800	—	—	—
c) Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 3 (Zona R3)	1 300	700	500	—	—
d) Habilitaciones de media densidad poblacional, tipo 4 (Zona R4)	900 (suministro monofásico)	900 (suministro monofásico)	700 (suministro monofásico)	—	—
e) Habilitaciones de alta densidad poblacional, para viviendas multifamiliares	11 W/m ² del área techada total, con un mínimo de 900 W	11 W/m ² del área techada total, con un mínimo de 700 W	—	—	—
f) Habilitaciones para vivienda taller (Zona I1-R)	1 000	1 000	1 000	—	—
g) Habilitaciones para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificados como Centros Poblados, incluyendo agrupaciones de vivienda en zonas rurales	700 300 (*) (suministro monofásico)	300 200 (*) (suministro monofásico)	250 200 (*) (suministro monofásico)	250 200 (*) (suministro monofásico)	200 (suministro monofásico)
h) Habilitaciones para vivienda en vías de regularización (parcial o totalmente edificadas), calificados como Asentamientos Humanos Marginales o Pueblos Jóvenes	700 (suministro monofásico)	400 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	300 (suministro monofásico)	250 (suministro monofásico)
i) Habilitaciones pre-Urbanas, tipos pecuarios o huertas (Zona P-U)	2 000	1 500	1 500	1 000	1 000
j) Lotizaciones para la industria elemental y complementaria de apoyo a la industria de mayor escala (Zona I1)	4 000	1 100	—	—	—

(*) Se autorizan Demandas Máximas menores, si se sustentan con estudios justificativos.

Nota1: El Cuadro N° 2 será de aplicación a partir del 2005-11-01.

Nota2: Donde no se indica el tipo de suministro, puede ser monofásico o trifásico, debiendo precisarse mediante coordinación con el Concesionario.

ANEXO 2: Conductores Para sistemas Eléctricos Domésticos

TABLA 4
INTENSIDAD DE CORRIENTE ADMISIBLE PARA CONDUCTORES DE COBRE
(Secciones AWG)

AISLADOS TEMPERATURA DE SERVICIO: 60° 75° 90°C

SECCION	SECCION	GRUPO A TEMPERATURA DE SERVICIO			GRUPO B TEMPERATURA DE SERVICIO			DESNUDO
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
Nominal (mm) ²	AWG							
0,32	22	3	3					
0,51	20	5	5					
0,82	18	7,5	7,5					
1,31	16	10	10					
2,08	14	15	15	25	20	20	30	
3,31	12	20	20	30	25	25	40	
5,26	10	30	30	40	40	40	55	
8,36	8	40	45	50	55	65	70	90
13,30	6	55	65	70	80	95	100	130
21,15	4	70	85	90	105	125	135	150
26,67	3	80	100	105	120	145	155	200
33,62	2	95	115	120	140	170	180	230
42,41	1	110	130	140	165	195	210	270
53,49	1/0	125	150	155	195	230	245	310
67,42	2/0	145	175	185	225	265	285	360
85,01	3/0	165	200	210	260	310	330	420
107,2	4/0	195	230	235	300	360	385	490
127	250 MCM	215	255	270	340	405	425	540
152,0	300 MCM	240	285	300	375	445	480	610
177,3	350 MCM	260	310	325	420	505	530	670
202,7	400 MCM	280	355	360	455	545	575	730
253,4	500 MCM	320	380	405	515	620	660	840
304	600 MCM	355	420	455	475	690	740	
354,7	700 MCM	385	460		630	755		
380	750 MCM	400	475	500	655	785	845	
405,4	800 MCM	410	490		680	815		
456	900 MCM	435	520		730	870		
506,7	1000 MCM	455	545	585	780	925	1000	
633,4	1250 MCM	495	590		890	1065		
760,1	1500 MCM	520	625		980	1175		
886,7	1750 MCM	545	650		1070	1280		
1013	2000 MCM	560	665		1155	1385		

Grupo A: hasta 3 conductores en tubo o en cable o directamente enterrados. Grupo B: Conductor simple al aire libre.

ANEXO 3: HOJA DE CALCULO PARA DIMENSIONAMIENTO

DATOS			Rendimiento del Sistema		Energía Necesaria		Acumulador		Paneles FV		Regulador		Inversor		Conductores			Protección				
			R	0,733148148	E	1438,99975	W-h															
Vsist	12	V	Ka	0,001851852	Et	1055	W-h	CU(WH)	4316,99924	W-h	Ep	1598,88861	W-h/día	I.MAX.panel	33,3333333	A	PV - REGULADOR			ITM		
HSP	4,01	Horas		Prof de desc.	0,5		CU(AH)	359,749937	A-h					I.MAX.CARGA	33,75	A	Id(PV-R)	41,66666667	A	Icon	20	A
PI	405	W	Kb	0,12			C	599,583228	A-h								%V perm	0,03	-	Inom	18	A
FP	0,9	-	Kc	0,05													Scon	8,37	mm ²	linc	20,34	A
p	0,0171	Ωmm ² /m	Kd	0,6													Lmax	2,114526316	m	Idis	26,1	A
			Kv	0,09													INVERSOR CARGA AC					
PAC	245	W		Soleado	3												Id(C-R)	1,546717172	A			
PDC	160	W	N	Instalación doméstica													%V perm	0,05	-			
																	Scon	3,31	mm ²			
																	Lmax	41,71571787	m			
																	REGULADOR - INVERSOR					
																	Id(C-R)	35,44560185	A			
																	%V perm	0,05	-			
																	Scon	5,26	mm ²			
																	Lmax	2,603445757	m			
																	REGULADOR - CARGA DC					
																	Id(C-R)	16,66666667	A			
																	%V perm	0,05	-			
																	Scon	3,31	mm ²			
																	Lmax	3,484210526	m			
																	Acumulador - REGULADOR					
																	Id(A-R)	40	A			
																	%V Perm	0,01	-			
																	Scon	8,37	mm ²			
																	Lmax	0,734210526	m			

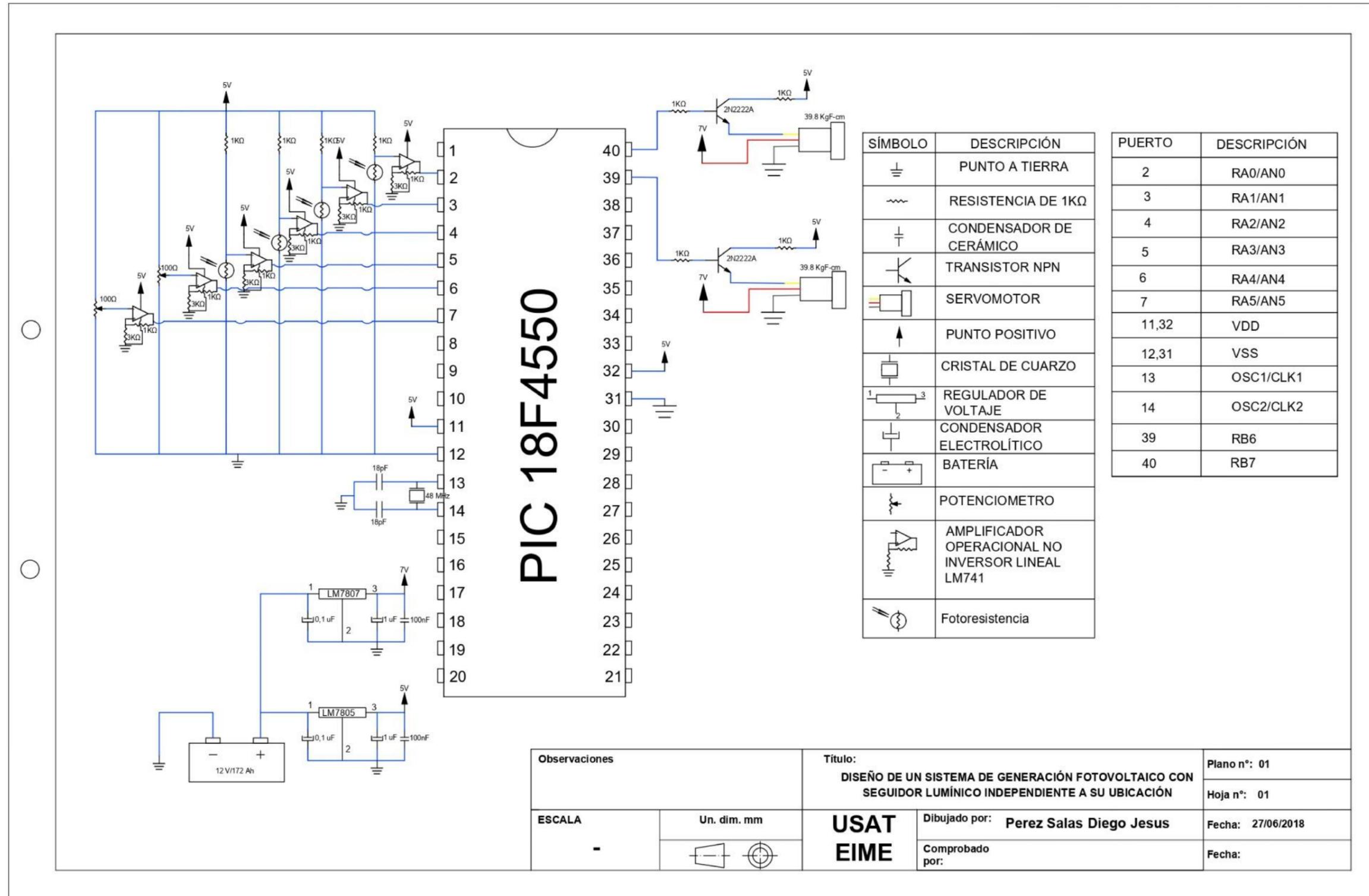
ANEXO 4: POSIBLES SERVOMOTORES

n°	TORQUE	VOLTAJE	Velocidad				Desplazamiento máximo	Masa	FUENTE
			Sexa/s	Rad/s	RPM	RPM dis			
1	38,57 Kg cm	7	323,07742	5,63876714	53,8462598	16,1538779	165	0,165 kg	<u>MARKELAB</u>
2	58 Kg cm	7	442,106194	7,71621203	73,6843972	22,1053192	180	0,2 kg	<u>ColdFire</u>
3	38,75	7	327,273322	5,71199948	54,5455771	16,3636731	220	0,176	<u>ELECTRO PRO</u>

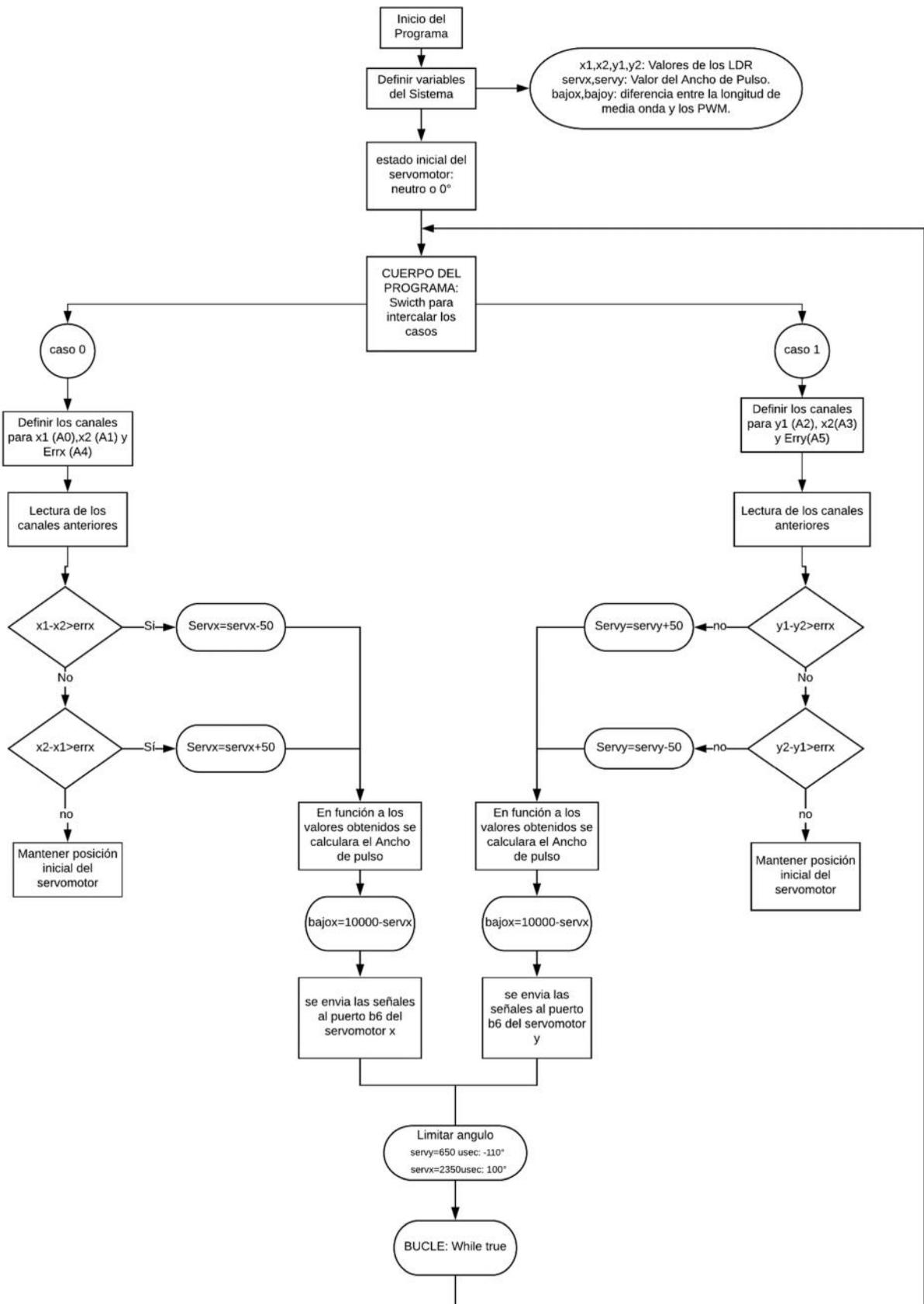
ANEXO 5: VALORES NOMINALES DE RESISTENCIAS

x 1	x 10	x 100	x 1.000 (K)	x 10.000 (10K)	x 100.000 (100K)	x 1.000.000 (M)
1 Ω	10 Ω	100 Ω	1 KΩ	10 KΩ	100 KΩ	1 M Ω
1,2 Ω	12 Ω	120 Ω	1K2 Ω	12 KΩ	120 KΩ	1M2 Ω
1,5 Ω	15 Ω	150 Ω	1K5 Ω	15 KΩ	150 KΩ	1M5 Ω
1,8 Ω	18 Ω	180 Ω	1K8 Ω	18 KΩ	180 KΩ	1M8 Ω
2,2 Ω	22 Ω	220 Ω	2K2 Ω	22 KΩ	220 KΩ	2M2 Ω
2,7 Ω	27 Ω	270 Ω	2K7 Ω	27 KΩ	270 KΩ	2M7 Ω
3,3 Ω	33 Ω	330 Ω	3K3 Ω	33 KΩ	330 KΩ	3M3 Ω
3,9 Ω	39 Ω	390 Ω	3K9 Ω	39 KΩ	390 KΩ	3M9 Ω
4,7 Ω	47 Ω	470 Ω	4K7 Ω	47 KΩ	470 KΩ	4M7 Ω
5,1 Ω	51 Ω	510 Ω	5K1 Ω	51 KΩ	510 KΩ	5M1 Ω
5,6 Ω	56 Ω	560 Ω	5K6 Ω	56 KΩ	560 KΩ	5M6 Ω
6,8 Ω	68 Ω	680 Ω	6K8 Ω	68 KΩ	680 KΩ	6M8 Ω
8,2 Ω	82 Ω	820 Ω	8K2 Ω	82 KΩ	820 KΩ	8M2 Ω
						10M Ω

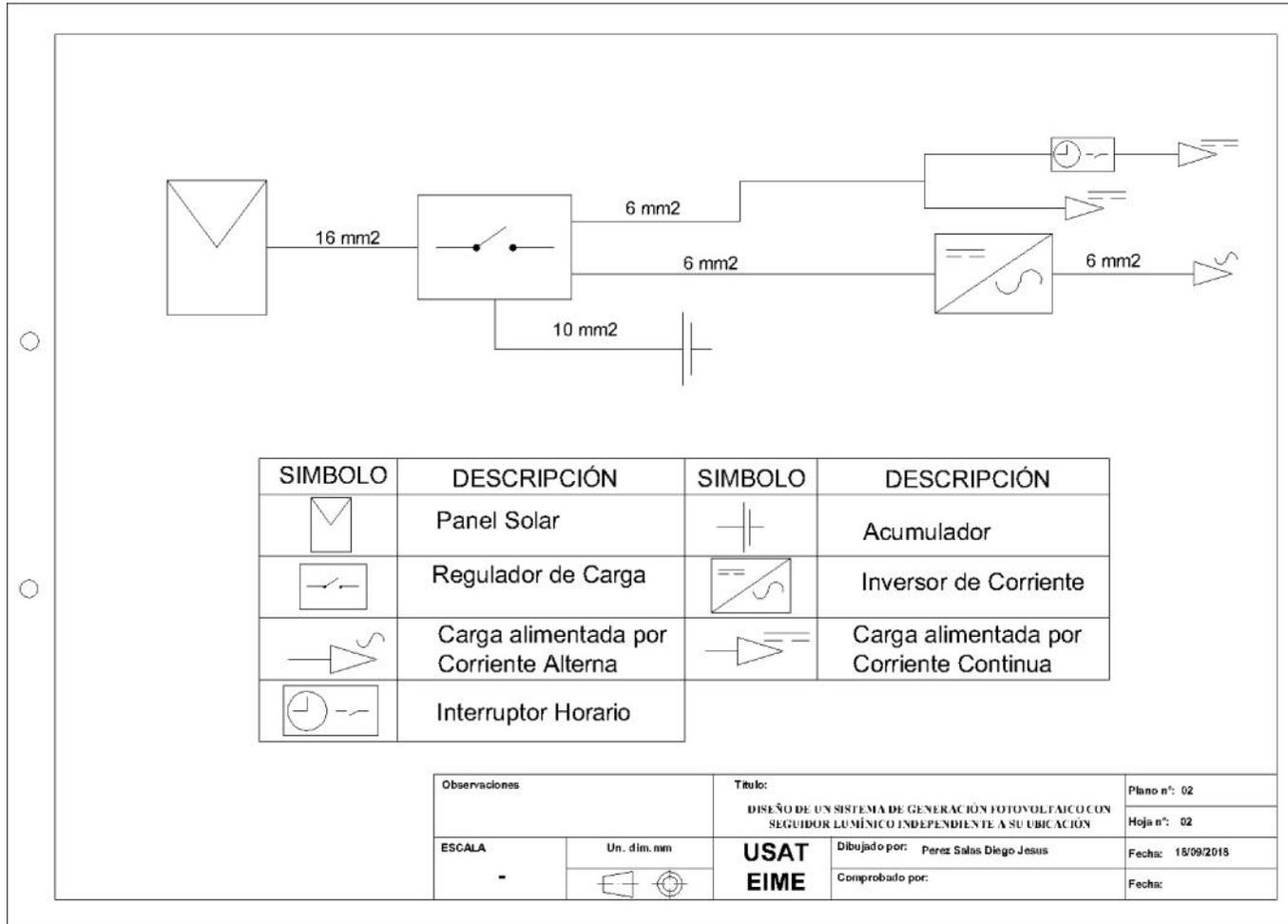
ANEXO 6: PLANO DE CIRCUITO GENERAL DEL SEGUIDOR LUMÍNICO



ANEXO 7: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA



ANEXO 8: DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN



ANEXO 9: CALCULOS DE MEJORAS DEL SISTEMA

		PANEL FV							ACUMULADOR								CARGA			
		Parametros	SIN SEGUIDOR	CON SEGUIDOR	Unidades	Parametros	SIN SEGUIDOR	CON SEGUIDOR	Unidades	Parametros	SIN SEGUIDOR	CON SEGUIDOR	Unidades	Parametros	SIN SEGUIDOR	CON SEGUIDOR	Unidades			
NECESARIA	EP		1598,888608	1598,888608	KWh/día	E	1438,999747	1741,189694	W-h	E	1438,999747	1438,999747	W-h	Et	1055	1276,55	W-h			
	EP-real-1p		802	970,42		Cu(wh)	4316,999242	5223,569083	W/h	Cu(Ah)	359,7499369	435,2974236	Ah							
	EP-real-2p		1604	1940,84		C	599,5832281	725,495706	Ah											
PRODUCCIÓN					Nbp	3,485949001	4,217998291	-												
					4	5														

ANEXO 10: PROFORMA DE LA CARPINTERÍA METÁLICA




CARPINTERÍA METÁLICA "DECARMAN"

Fabricamos Puertas Enrollables, Techos Metálicos, Portones Corredizos, Ventanas Plegadixas, Puertas Levadizas, Portón Acanaladas, Rejas, Puertas Contraplacadas, Andamios, Escaleras Caracol
 Ofrecemos al Público en general todo tipo de Plegado y Cortado de Planchas a la vez todo tipo de doblado de tubos en general.

JUAN CUGLIEVAN 1835 - CEL. 913442151 - CHICLAYO

CONTRATO PROFORMA

Señor (es): DIEGO PÉREZ SACAS **FECHA**
 10 / 10 / 2018

Dirección: _____ CEL.: _____

CANT.	DESCRIPCION	P. UNIT.	TOTAL
	MANO DE OBRA		50.00
	MATERIAL		70.00

TOTAL S/ 120.00 A CTA. S/ 50 SALDO S/ 70.00

DIA DE ENTREGA S/ _____

Después de 15 días hábiles no hay derecho a reclamo antes de llegar al Taller llamar por el Tel: POR SU TRABAJO POR FAVOR A LA HORA DE LLEVAR SU TRABAJO REBICELO.

[Firma]
 CLIENTE

[Firma]
 CARP. METÁLICAS "DECARMAN"

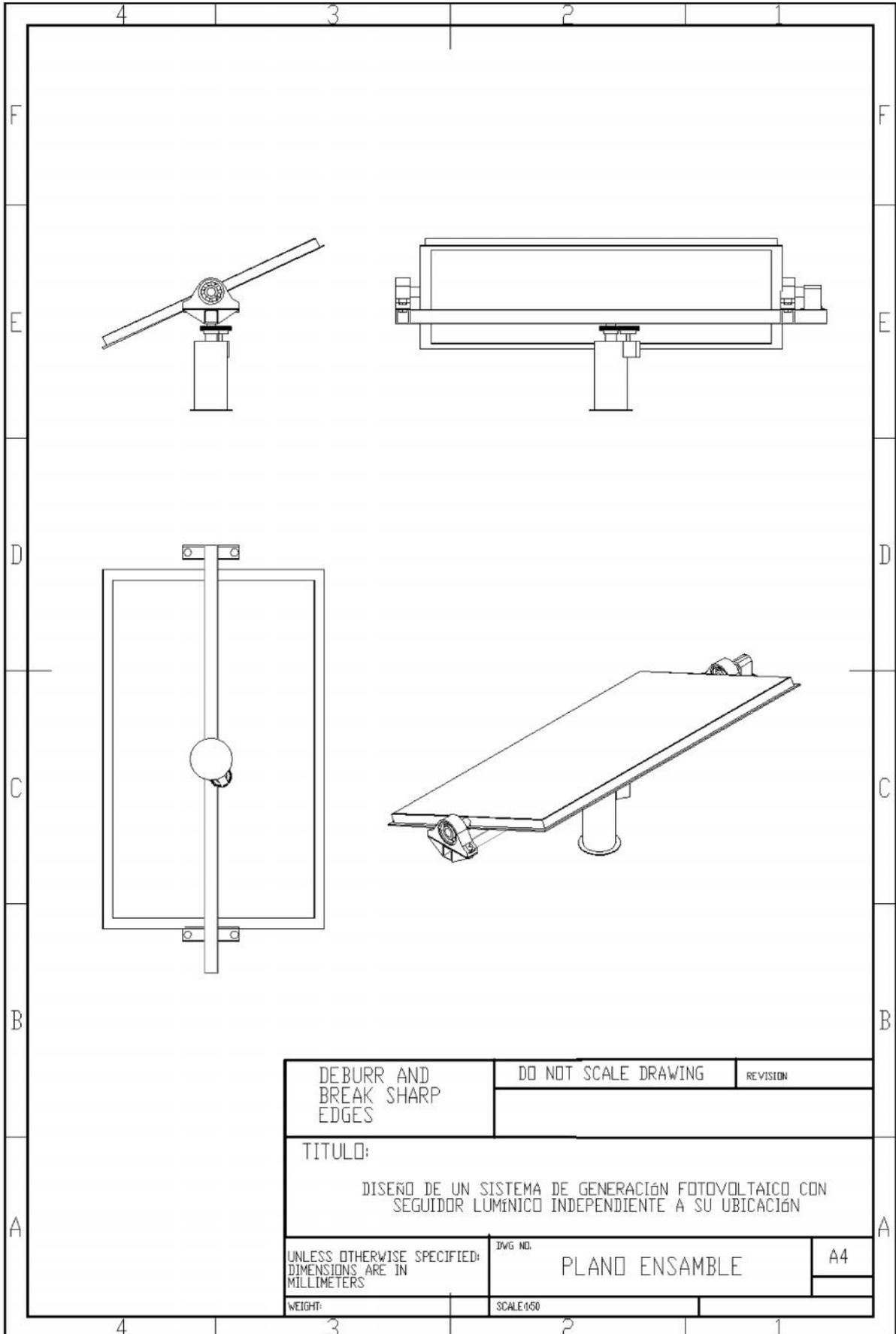




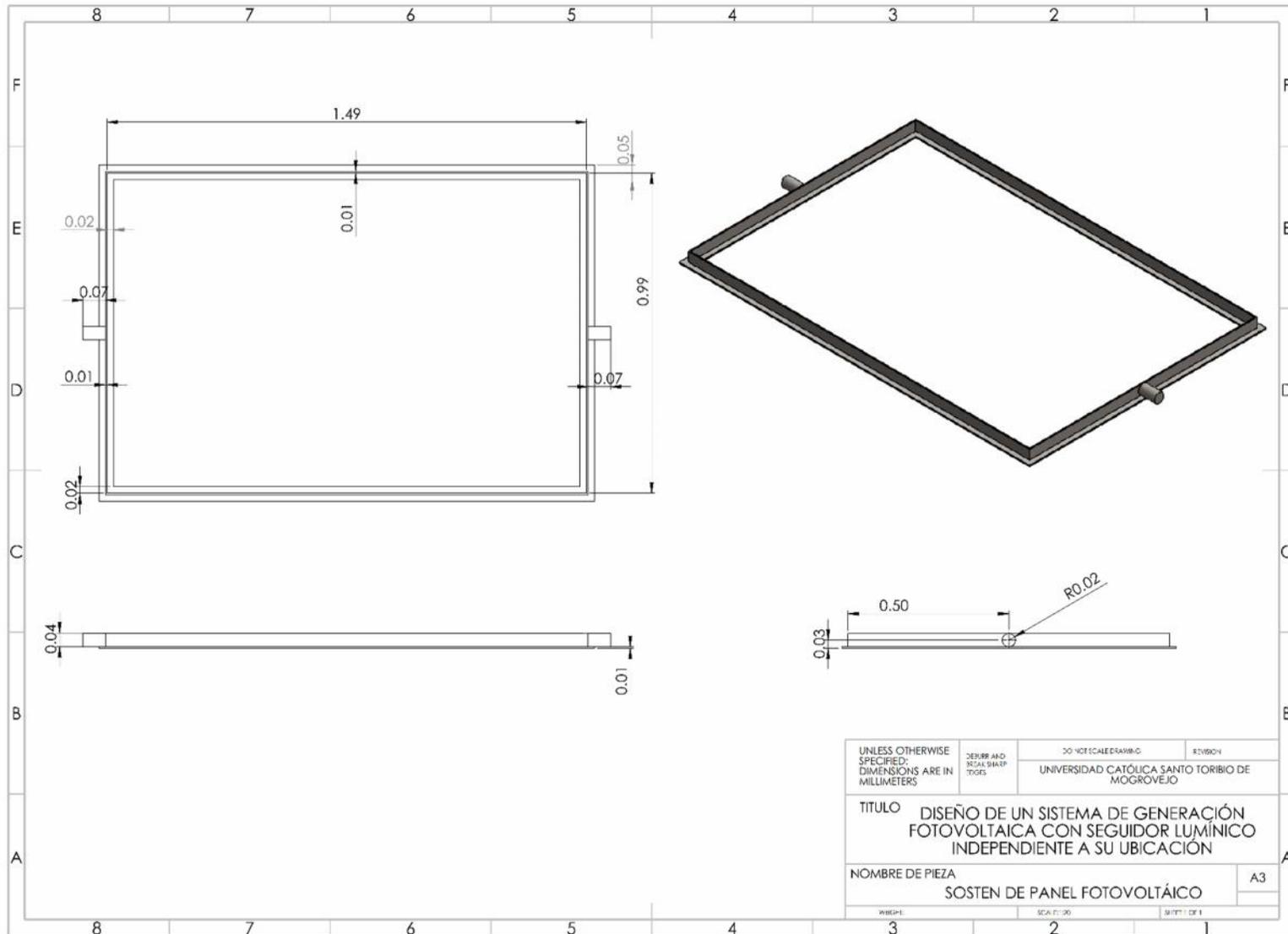

ANEXO 11: PRESUPUESTO REFERENCIAL DEL PROYECTO

TIPO	N#	Nombre	Unidad	Tipo de unidades	Costo unitario	COSTO TOTAL
Sistemas de Generación	1	Baterías Ultracell UCG172-12	4	UND	S/850,90	S/3.403,59
	2	Panel FotovoltaicoTAI200Wp-156-54P	2	UND	S/675,00	S/1.350,00
	3	Regulador de Carga PWN PC1500B-40	1	UND	S/248,78	S/248,78
	4	Inversor de Corriente Must Solar 300W 12V	1	UND	S/521,95	S/521,95
	5	Cable unifilar 6 mm2 powerFlex RV-K	48	m	S/7,62	S/365,76
	6	Cable unifilar 10 mm2 Solar PV ZZ-F	1	m	S/9,94	S/9,94
	7	Cable unifilar 16 mm2 Solar PV ZZ-F	3	m	S/14,53	S/43,59
	8	Tubo PVC 1/2 pulgada (3m)	3	m	S/5,50	S/5,50
	9	Caja Estanca de Paso (150x120 mm)	1	UND	S/22,94	S/22,94
	10	Codos para Tuberia PVC	1	UND	S/57,00	S/57,00
	11	Bloque de Cemento 0,3x0,3m ² (10%)	2	Global	-	S/60,29
SUB TOTAL						S/6.089,34
Seguidor Lumínico	12	PIC18F4550	1	UND	S/38,14	S/38,14
	13	Fotoresistencias	4	UND	S/0,85	S/3,39
	14	Resistencias 1KΩ	6	UND	S/0,08	S/0,51
	15	Servomotor Digital XQ-S5040D 39.8kgf.cm	2	UND	S/165,25	S/330,51
	16	Transistor NPN 2N2222/A	2	UND	S/0,25	S/0,51
	17	Regulador de Voltaje LM78XX	2	UND	S/2,12	S/4,24
	18	Capacitor 0,33/0,1 uF	2	UND	S/0,85	S/1,69
	19	Potenciómetro 100Ω	2	UND	S/4,24	S/8,47
	20	Interruptor Horario	1	UND	S/254,24	S/254,24
	21	Cable flexible	2	Metros	S/10,85	S/21,70
	22	Plancha de Fibra de Vidrio 10x10 cm2	1	m	S/12,71	S/12,71
	23	Estaño	1	m	S/1,69	S/1,69
	24	Amplificador Operacional Unitario	4	UND	S/2,00	S/8,00
	25	Proceso de Elaboración de la Placa Electrónica	2	Global	S/33,89	S/67,78
SUB TOTAL						S/685,80
Material Para Estructura	26	Chumaceras (Øeje=1,125 pulgadas)	2	UND	S/247,30	S/494,60
	27	Rodajes de chumaceras (Øeje=1,125 pulgadas)	2	UND		
	28	Tornillos(21/32 pulg)	4	UND	S/1,00	S/4,00
	29	Engranaje (Øpitch=3,5 pulgadas)	2	UND	S/209,09	S/418,19
	30	Pernos para base (Øperno=1,5 pulg)	4	UND	S/1,00	S/4,00
	31	Eje Chumaceras (Øeje=1,125 pulgadas)	30	mm	S/25,00	S/25,00
	32	Eje sosten de Tubo Cuadrado (Øeje=1,5 pulgadas)	100	mm		
	33	Eje para servomotor inferior(Øeje=0,625 pulgadas)	80	mm		
	34	Eje base fijo(Øeje=3,5 pulg)	300	mm	-	S/57,40
	35	Base cuadrada para servo(6,5x1,75x0,12pulg)	2	UND	-	
	36	Tubo cuadrado (60x60x5mm)	1500	mm	-	
	37	Nervio Para base de chumacera(60x60x5 mm)	8	UND	-	
	38	base plato (Øeje=4 pulgadas - t=5 mm)	1	UND	-	
	39	base sosten de eje sosten de tubo cuadrado (t=5mm)	50	mm	-	
	40	Caja Para servomotor (62,5x62,5x32,5; t=2,5 mm)	1	UND	-	
	41	Base sevomotor superior(60x65x1 mm)	1	UND	-	
	42	Sosten Para Fotoresistencia (planchas 30x30x5mm)	3	UND	-	
	43	Perfil en ángulo (1 pulg de t=2,5 mm)	4360	mm	-	
44	Soporte para Placa electrónica de seguidor lumínico	1	UND	-		
SUB TOTAL						S/1.003,18
Mano de Obra para construcción de Estructura	45	Aplicación de Pinturas para Barcos (Antioxidantes)	1	Global	-	S/41,00
	46	Soldado de Perfil en ángulo	4	Global	-	
	47	Corte de Perfil en ángulo	4	Global	-	
	48	Pulido de estructura	1	Global	-	
	49	corte de eje chumaceras	2	Global	-	
	50	Perforación de base cuadrada(Ø=21/32 pulg)	4	Global	-	
	51	Corte Tubos Cuadrados	1	Global	-	
	52	Soldado de Tubos Cuadrados con la base cuadrada	1	Global	-	
	53	Soldado de tubos cuadrados con la caja para servomotor inferior	1	Global	-	
	54	Soldado de Nervio con la Base Cuadrada y Tubo Cuadrado	2	Global	-	
	55	Soldado de Eje inferior y Tubo Cuadrado	1	Global	-	
	56	Instalación de eje y engranajes	2	Global	-	
	57	Soldado de Eje base a Base sosten	1	Global	-	
	58	Soldado de Base y Eje base	1	Global	-	
	59	Soldado de Caja para servomotor	1	Global	-	
	60	Elaboración de caja de servomotor	1	Global	-	
61	*Corte de Laminas de Metal para Caja de Servo	1	Global	-		
62	*Soldado de Laminas de Metal para caja de servo	1	Global	-		
63	Perforación en el Tubo Cuadrado	2	Global	-		
64	Soldado de Base servo superior a la base metalica	1	Global	-		
65	Soldado de Base para Fotoresistencia	1	Global	-		
66	Doblado de tubos	1	Global	-		
SUB TOTAL						S/41,00
Envío de Material (5% del costo del material)						S/388,92
Monto Por imprevistos(5% del Costo Total)						S/390,97
Instalación de los Equipos (15% del Costo Total)						S/1.172,90
COSTO TOTAL SIN IGV						S/11.502,09
COSTO TOTAL CON IGV (18%)						S/13.572,47

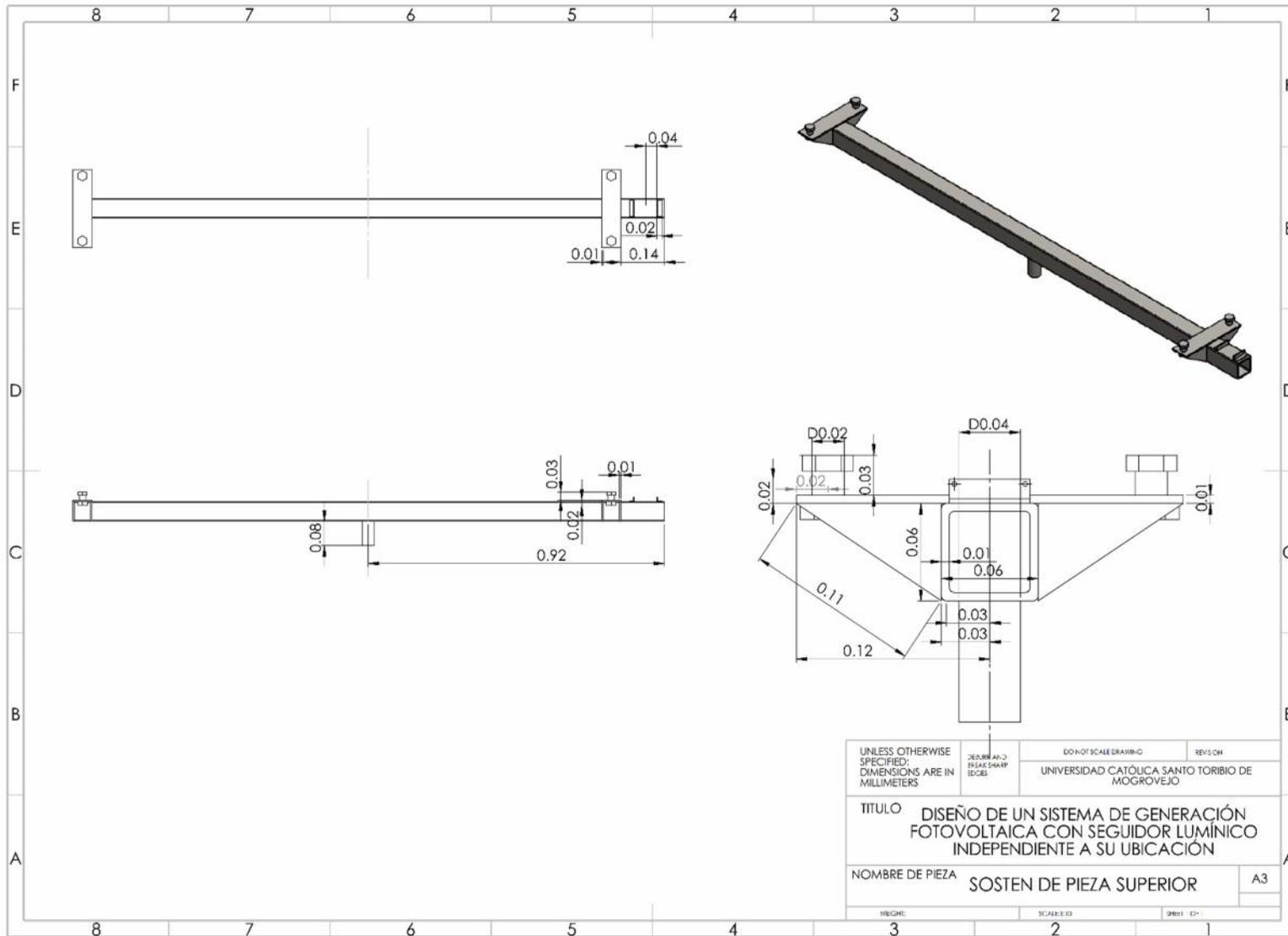
ANEXO 12: PLANO MECANICO ENSAMBLE TOTAL



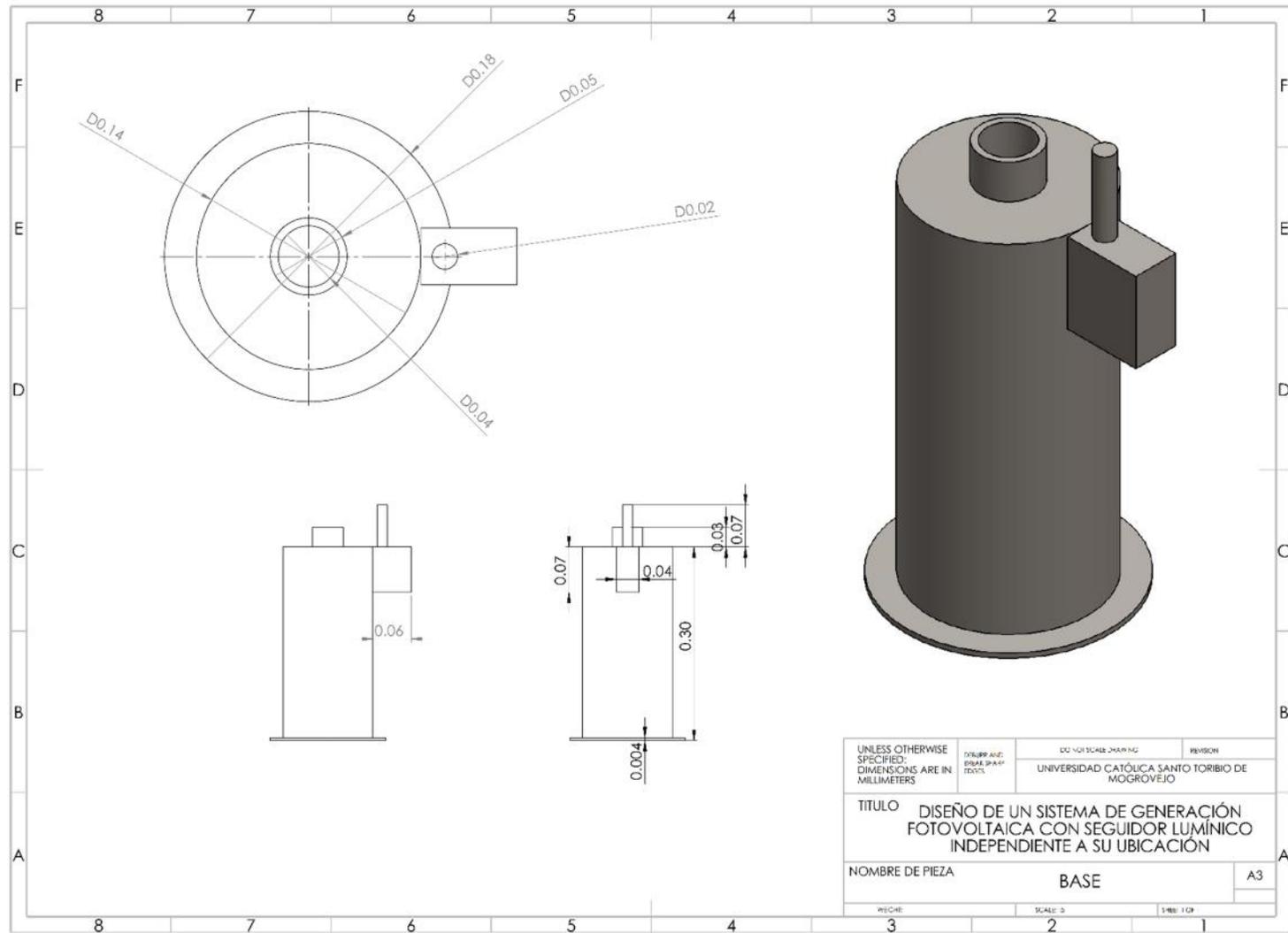
ANEXO 13: PLANO DE SOPORTE DEL PANEL SOLAR



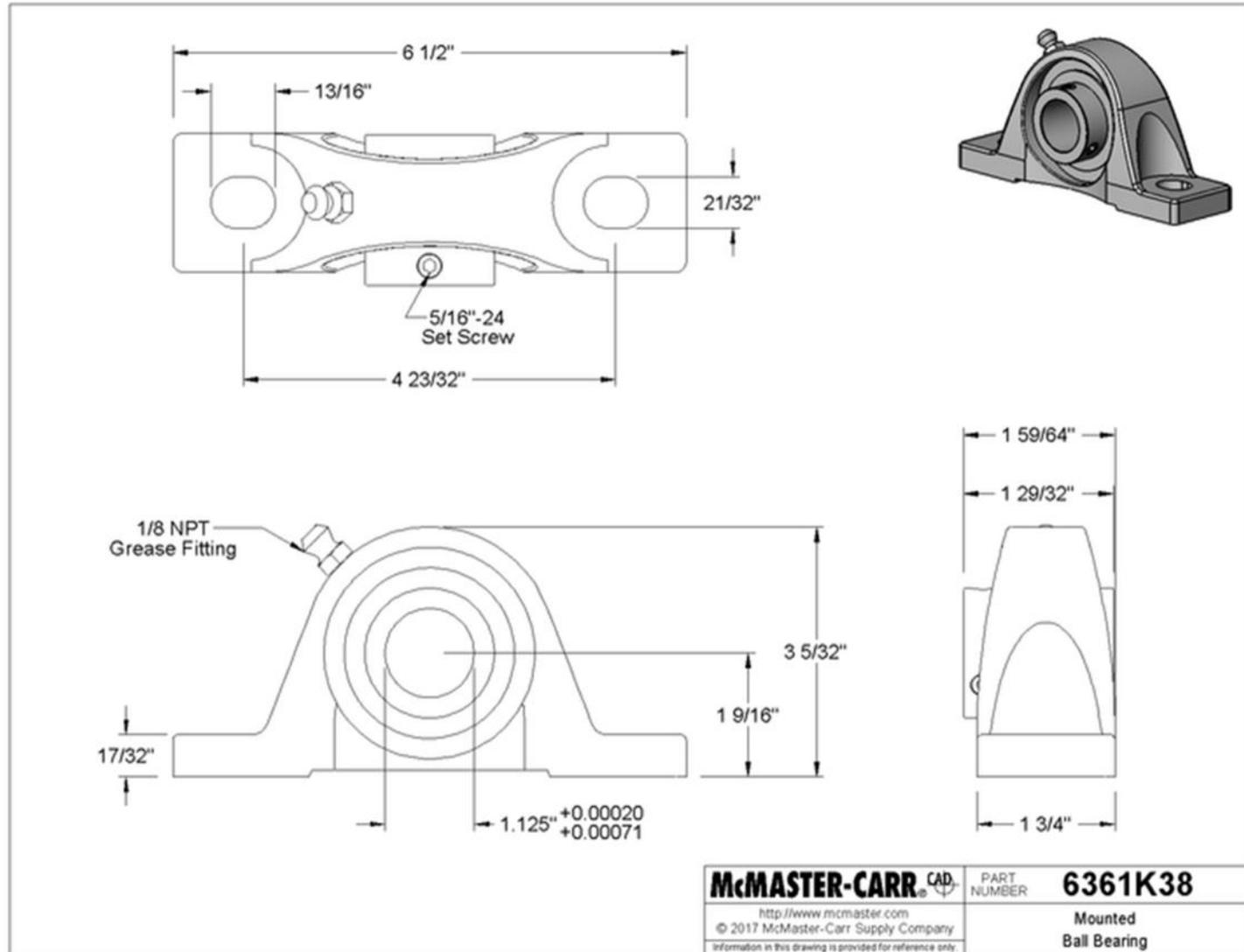
ANEXO 14: ESTRUCTURA SOSTEN DE PIEZA SUPERIOR:



ANEXO 15: ESTRUCTURA BASE



ANEXO 16: CHUMACERAS



ANEXO 17: ENGRANAJES

