

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,

Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACIÓN DE LOS LABORATORIOS DE ELECTRICIDAD DEL PABELLÓN “R” DE LA U.C.S.M.

Tesis presentada por la Bachiller

Mamani Ramos, Mariela Inés

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecánico

Asesor: Ing. Cesar Castillo Cáceres

Arequipa – Perú

2019



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL PLAN DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACION DE LOS
LABORATORIOS DE ELECTRICIDAD DEL PABELLON - R
DE LA UCSM”**

Presentado por el (os) Bachiller (es):

MAMANI RAMOS MARIELA INES

Nuestro **DICTAMEN** es:

— — Aprobado — —

OBSERVACIONES: *Señal levantada en el desarrollo del mismo*

1470.

ING. CESAR CASTILLO CACERES

Arequipa, 02 Julio 2018

1^a 2398

ING. VÍCTOR RIVERA ACOSTA



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGIA SOLAR
FOTOVOLTAICO PARA LA ILUMINACION DE LOS
LABORATORIOS DE ELECTRICIDAD DEL
PABELLON - R DE LA UCSM”**


Presentado por el Bachiller:

MAMANI RAMOS MARIELA INES

Nuestro **DICTAMEN** es:

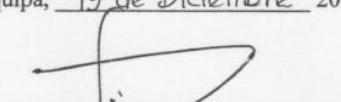
— *Aprobado* —

OBSERVACIONES: *Sin observaciones*



ING. CESAR CASTILLO CACERES
1470.

Arequipa, *19 de Diciembre* 2018.



ING. VICTOR RIVERA ACOSTA
2388



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax:(51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado:1350

AREQUIPA - PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS FÍSICAS Y FORMALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

INFORME DE ASESORÍA DE TESIS

VISTO

EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TESIS:

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO
PARA LA ILUMINACION DE LOS LABORATORIOS DE
ELECTRICIDAD DEL PABELLON - R DE LA UCSM”.**

Presentado por el Bachiller:

MAMANI RAMOS MARIELA INES

I N F O R M E

Etapa de asesoría concluida

OBSERVACIONES: *ninguna*

Arequipa, *22 de noviembre* 2018 .

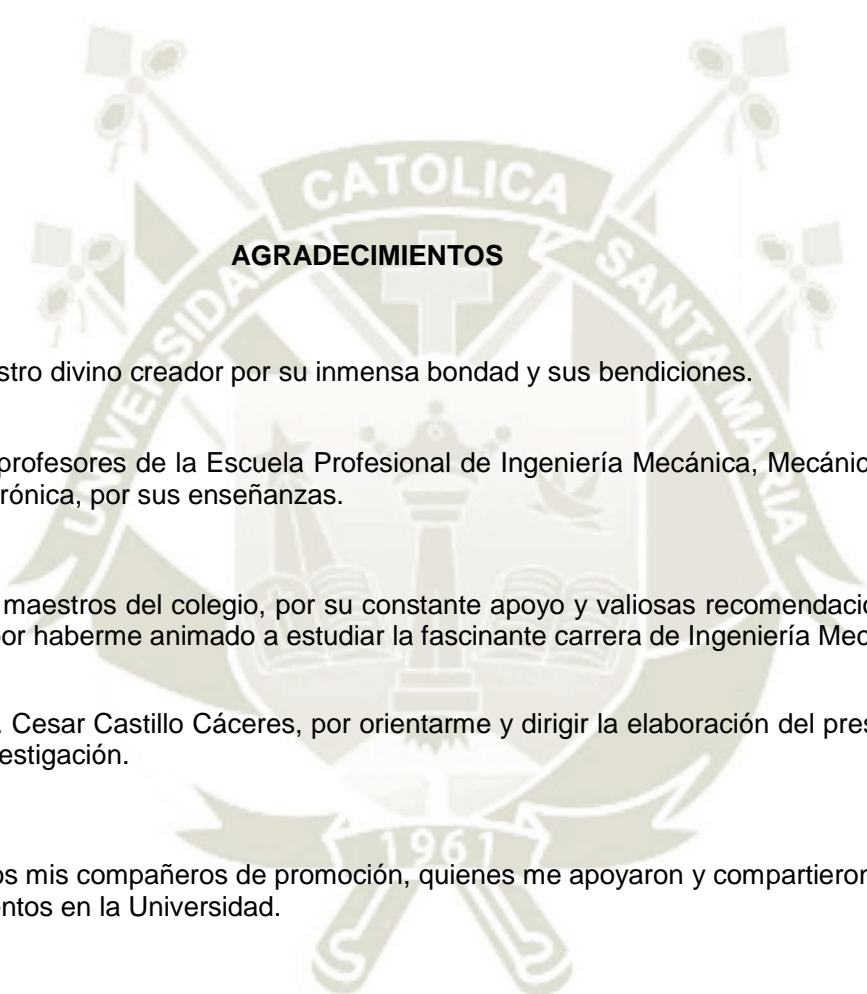
ING. CESAR CASTILLO CACERES
1470.



DEDICATORIA

A mis hermanos Julio Cesar y Yahaira.

Mariela Inés Mamani Ramos



AGRADECIMIENTOS

A nuestro divino creador por su inmensa bondad y sus bendiciones.

A los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica, por sus enseñanzas.

A mis maestros del colegio, por su constante apoyo y valiosas recomendaciones y sobre todo por haberme animado a estudiar la fascinante carrera de Ingeniería Mecánica.

Al Ing. Cesar Castillo Cáceres, por orientarme y dirigir la elaboración del presente trabajo de investigación.

A todos mis compañeros de promoción, quienes me apoyaron y compartieron los mejores momentos en la Universidad.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene contemplado un diseño de un sistema de energías no convencionales energía solar fotovoltaica para la iluminación de bajo consumo los laboratorios de electricidad del cuarto nivel Pabellón R de la Universidad Católica de Santa María.

Cada día se registran niveles más alarmantes de contaminación en el medio ambiente, esto se debe principalmente a la generación de energía mediante métodos convencionales, los cuales generan altas cantidades de CO₂, y así disminuyen la calidad del aire que consumimos y dañan irremediablemente la capa de ozono.

Actualmente la Universidad Católica de Santa María tiene un consumo de potencia en promedio mensual de 400KW, de acuerdo a los 12 últimos registros mensuales, de los cuales un aproximado de 30% es el consumo de iluminación de aulas, laboratorios, oficinas y áreas externas, por otra parte, todas las azoteas de los diferentes pabellones se encuentran vacías y disponibles

El presente trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos: El Primer Capítulo denominado Planteamiento Metodológico corresponde al desarrollo de la descripción del problema, los objetivos generales y específicos, alcances y la justificación del estudio.

En el Segundo Capítulo se presenta el Marco Teórico que ha servido como base teórica para el sistema de energía solar fotovoltaico.

El Tercer Capítulo trata del Diseño del sistema de energía solar fotovoltaicos para los laboratorios de electricidad del Pabellón R de la Universidad Católica de Santa María.

En el Cuarto Capítulo donde se observa el análisis y presentación de los resultados.

Finalmente se presentan las Conclusiones, Recomendaciones, Referencias Bibliográficas y sus anexos respectivos.

RESUMEN

Debido a que nuestra ciudad cuenta con recursos energéticos, como es la radiación solar en todos los meses del año, y que esta energía del sol puede utilizarse para producir electricidad. Este trabajo pretende utilizar dicho recurso en la producción de la energía eléctrica a partir de los paneles fotovoltaicos, logrando así no solo alimentar la carga eléctrica planteada sino y sobre todo fomentar el interés e investigación en este tipo de energía renovable por parte de la comunidad universitaria de la Universidad católica de Santa María.

Entonces el principal del presente trabajo de investigación es el diseño de un sistema de energía no convencional como es la energía solar fotovoltaica para la iluminación de bajo consumo de los laboratorios de electricidad del tercer nivel del Pabellón "R" de la Universidad Católica de Santa María. El periodo de funcionamiento diario estimado es de 12 horas y se ha hecho un análisis considerado para 20 años de utilización del sistema y compararlo con un sistema de energía convencional.

Palabras claves: Sistema de energía solar fotovoltaico – Iluminación.

ABSTRACT

Because our city has energy resources, such as solar radiation in all months of the year, and that this energy from the sun can be used to produce electricity. This work intends to use this resource in the production of electrical energy from photovoltaic panels, thus achieving not only to feed the electric charge raised but above all to promote interest and research in this type of renewable energy by the university community of the Catholic University of Santa María.

Then the main of this research work is the design of an unconventional energy system such as photovoltaic solar energy for low consumption lighting in the third level electricity laboratories of Pavilion "R" of the Catholic University of Santa Maria. The estimated daily operating period is 12 hours and a considered analysis has been done for 20 years of system use and compared with a conventional energy system.

Key words: Photovoltaic solar energy system - Lighting.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	vi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. Descripción del Problema	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Alcances y Limitaciones.....	2
1.4. Justificación del estudio	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	4
2.1. Conceptos de la luz y análisis comparativo de eficiencia de ampollas incandescentes, fluorescentes y LED	4
2.1.1. Conceptos Generales de la Luz.....	4
2.1.2. Análisis Comparativo de Eficiencia de Ampollas Incandescentes, Fluorescentes y Led	9
2.2. Irradiación	29
2.3. Insolación.....	31
2.4. Celda fotovoltaica.	32
2.5. Funcionamiento de un Panel Fotovoltaico.	33
2.5.1. Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico	36
2.6.1. Carácter cíclico de las energías renovables	40
2.6.2. Diferencias sustanciales entre las energías renovables y las otras energías.....	40
2.6.3. Tecnologías comerciales con energías renovables y sus aplicaciones	41
2.7. Naturaleza de la Energía Solar	42
2.8. Tipos de radiación terrestre	43

2.9. Tipos de Colectores Solares	45
2.9.1. Los colectores planos o de placa plana	45
2.9.2. Colectores de tubo evacuado	48
2.9.3. Colectores concentradores	49
2.10. Sistema de Generación Eléctrica Solar	51
2.11. Composición Física y Fabricación de los Dispositivos Fotovoltaicos	52
2.12. Conceptos Eléctricos.	54
2.12.1. Conexión en Serie	54
2.12.2. Conexión en paralelo	56
2.12.3. Potencia	56
2.12.4. Pérdidas de potencia	57
2.12.5. Cantidad de Energía	58
2.13. Curvas Características de las celdas fotovoltaicas	58
2.14. Conformación de los Sistemas de Generación	60
2.14.1. Directamente conectados a una carga	60
2.14.2. Sistema módulo batería	60
2.14.3. Sistema fotovoltaico, batería y regulador	61
2.14.4. Batería, inversor	61
2.14.5. Reguladores de carga de baterías	62
2.15. Baterías.	63
2.16. Arreglos Fotovoltaicos	65
2.17. Reguladores de Carga	66
2.18. Acumuladores o Baterías	66
2.19. Inversores	69
CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICOS PARA LOS LABORATORIOS DE ELECTRICIDAD DEL PABELLÓN R DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	74
3.1. Condiciones del lugar de instalación	74
3.2. Ubicación	79
3.3. Selección del Tipo de Lámpara	80
3.4. Calculo de iluminación	82
3.5. Cálculo de iluminación de los ambientes	85
3.6. Calculo de la instalación fotovoltaica.	93

3.7. Cálculo del Banco de Baterías	96
3.8. Cálculo de los paneles solares	97
3.9. Cálculo del regulador	102
3.10. Cálculo del inversor	102
3.11. Conmutador	104
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	105
4.1. Memoria descriptiva	105
4.1.1. Generalidades	105
4.1.2. Ubicación Geográfica	105
4.1.3. Alcances del proyecto	105
4.1.4. Parámetros de diseño	106
4.1.5. Protocolo de pruebas	106
4.1.6. Bases de cálculo	106
4.2. Resultados de la iluminación de los laboratorios de electricidad	107
4.3. Elección de los equipos	107
4.4. Disposición del generador fotovoltaico.	108
4.4. Rentabilidad y Periodo de Recuperación de la Inversión	111
4.5. Especificaciones técnicas de montaje	115
4.6. Especificaciones técnicas de materiales	117
4.6.1. Especificaciones Técnicas Mínimas a Cumplir por Equipo	118
4.6.2. Regulador Solar o Regulador de Carga	118
4.6.3. Batería	120
4.6.4. Inversor	120
4.6.5. Garantía y Mantenimiento	121
CONCLUSIONES	122
RECOMENDACIONES	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	127
ANEXOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1:	Resumen Unidades de Fotometría del Sistema Internacional (SI)	9
Tabla 2.2:	Características generales para los distintos colores de LED	17
Tabla 2.3:	MEPS países de APEC	20
Tabla 2.4:	Resumen de características para lámparas incandescentes	23
Tabla 2.5:	Resumen de Ampolletas LFC	25
Tabla 2.6:	Resumen de Ampolletas LED	29
Tabla 2.7:	Placa de datos entregada por fabricante de un panel Solarex VLX-53	36
Tabla 2.8:	Algunos materiales que se emplean para los componentes del colector	48
Tabla 2.9:	Analogía entre modelo eléctrico e hidráulico	54
Tabla 3.1:	Estimación de Consumos de Iluminación	93
Tabla 3.2:	Características del sistema de acumulación	97
Tabla 3.3:	Irradiación Solar Mensual para la Ciudad de Arequipa	97
Tabla 3.4:	Variación de las Horas Sol Pico	101
Tabla 4.1:	Resumen de los cálculos de iluminación	107
Tabla 4.2:	Resumen de los Equipos para el Sistema de iluminación	107
Tabla 4.3:	Resumen de los Equipos para el Sistema de energía solar	108
Tabla 4.4:	Costo del sistema de generación solar	111
Tabla 4.5:	Costo de la implementación total del sistema de generación solar	112
Tabla 4.6:	Resumen del tiempo de vida útil de los componentes	112
Tabla 4.7:	Resumen del consumo de la energía convencional en HP y HFP	114
Tabla 4.8:	Resumen del costo de la energía convencional	114
Tabla 4.9:	Resumen del costo de la energía solar fotovoltaica	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Espectro Electromagnético	4
Figura 2.2: Curva de Visibilidad Relativa, Eficiencia Lumínica/Longitud de Onda	5
Figura 2.3: Representación de ángulo Sólido y Estereorradián	5
Figura 2.4: Nivel de Iluminancia según Distancia	7
Figura 2.5: Niveles de Temperatura de color	8
Figura 2.6: Estructura de una Lámpara Incandescente	11
Figura 2.7: Distintos tipos de Lámparas Incandescentes.....	11
Figura 2.8: Símbolo de un Diodo LED	14
Figura 2.9: Material Dopado con impurezas tipo P y N	15
Figura 2.10: Polarización directa del diodo.....	16
Figura 2.11: Encapsulado de un Diodo LED para distintas Potencias	16
Figura 2.12: Superficies Iluminadas usando LED Discretos	18
Figura 2.13: Curvas de Intensidad Relativa vs Longitud de onda	18
Figura 2.14: Diagrama de Cromaticidad	19
Figura 2.15: Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 25 W	21
Figura 2.16: Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 40 W	21
Figura 2.17: Flujo y Eficiencia para las lámparas incandescentes de 60W... ..	22
Figura 2.18: Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 100 W	23
Figura 2.19: Flujo y eficiencia para lámparas LFC de 15 W	24
Figura 2.20: Flujo y eficiencia para lámparas LFC de 20 W	25
Figura 2.21: Flujo y eficiencia para lámparas LED de 2 W.....	26
Figura 2.22: Flujo y eficiencia para lámparas LED de 3 W.....	27
Figura 2.23: Flujo y eficiencia para lámparas LED de 2 W.....	28
Figura 2.24: Flujo y eficiencia para lámparas LED de 18,6 W.....	28
Figura 2.25: Esquema de distribución de radiación	30
Figura 2.26: Mapa Irradiación horizontal de Latinoamérica y el Caribe	31
Figura 2.27: Curva de Irradiación Diaria y horas solares pico	32
Figura 2.28: Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar	33
Figura 2.29: Celda Fotovoltaica de Silicio Policristalino	33

Figura 2.30: Desplazamiento de Electrones mediante la captación de Fotonos	34
Figura 2.31: Esquema de Funcionamiento de un Panel solar	35
Figura 2.32: Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a 1000 W/m² y 25 °C	36
Figura 2.33: Factor de Forma (FF)	37
Figura 2.34: Niveles de Radiación Solar en el Mundo	38
Figura 2.35: Costos de generación de Energía.....	41
Figura 2.36: Órbita terrestre	43
Figura 2.37: Tres clases de radiación solar	44
Figura 2.38: Un colector plano típico	46
Figura 2.39: Corte transversal de un colector plano del tipo que usa un líquido. Se indican los componentes básicos del colector y su circuito	47
Figura 2.40: Corte transversal de un colector plano del tipo de aire. Se indican los componentes básicos del colector y su circuito	47
Figura 2.41: Un colector de tubo evacuado	49
Figura 2.42: Un colector concentrador lineal.....	50
Figura 2.43: Colector lineal de cubeta con lente de Fresnel	50
Figura 2.44: Colector parabólico compuesto, con espejos parabólicos. Este diseño utiliza dos espejos especiales y un tubo al vacío	51
Figura 2.45: Placas fotovoltaica	52
Figura 2.46: Celda solar	53
Figura 2.47: Conexión en serie	55
Figura 2.48: Conexión en serie para aumentar voltaje	55
Figura 2.49: Conexión en paralelo	56
Figura 2.50: Curva de corriente vs tensión	59
Figura 2.51: Sistema fotovoltaico directo	60
Figura 2.52: Sistema fotovoltaico - batería	61
Figura 2.53: Sistema fotovoltaico, batería y regulador	61
Figura 2.54: Sistema fotovoltaico inversor	61
Figura 2.55: Curva de demanda de la batería	63
Figura 2.56: Partes de una batería	66
Figura 2.57: Funcionamiento de batería plomo-ácido	68

Figura 2.58: Tensiones en la batería 12V	69
Figura 2.59: Curva típica de eficiencia del Inversor	70
Figura 3.1: Temperatura maxima y minima promedio	75
Figura 3.2: Categorías de nubosidad	76
Figura 3.3: Horas de luz natural y crepúsculo	76
Figura 3.4: Velocidad promedio del viento	77
Figura 3.5: Energía solar de onda corta incidente diaria promedio.....	78
Figura 3.6: Vista en planta del campus de la UCSM.....	79
Figura 3.7: Vista en planta del Pabellón R de la UCSM.....	80
Figura 3.8: Factor de utilización en función de las características del local (cielo/pared/piso) y coeficiente de reflexión	84
Figura 3.9: Variación de Energía producida vs meses	98
Figura 3.10: Diagrama de funcionamiento del sistema fotovoltaico	104
Figura 4.1: Distribución de paneles por fila. Fuente propia	109
Figura 4.2: Esquema para el cálculo de distancia entre paneles.....	110
Figura 4.3: Esquema de disposición de paneles por columnas	111

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción del Problema

En la actualidad se ha tratado en forma recurrente el tema generado por la crisis energética, la cual se debe principalmente al aumento desproporcionado de la demanda de energía eléctrica, especialmente por parte de las industrias que cada vez consumen mayor cantidad de energía en sus procesos productivos. El aumento de la población también contribuye en este tema.

Cada día se registran niveles más alarmantes de contaminación en el medio ambiente, esto se debe principalmente a la generación de energía mediante métodos convencionales, los cuales generan altas cantidades de CO₂, y así disminuyen la calidad del aire que consumimos y dañan irremediablemente la capa de ozono.

La utilización de sistemas alternativos de generación eléctrica, como lo son los sistemas fotovoltaicos, han permitido disminuir la demanda de energía eléctrica de la red de distribución, o bien alimentar de energía a aquellos sectores en los que no existen servicios eléctricos. Además, Arequipa cuenta con condiciones excepcionales de radiación solar y horas de sol diarias.

El Perú, por firmar el protocolo de Kyoto, incentiva activamente la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, Asimismo, el Decreto Legislativo N°1002 declara de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de nueva generación eléctrica mediante el uso de Recursos Energéticos Renovables (RER), dentro de las cuales, destaca la energía fotovoltaica.

La Universidad Católica de Santa María actualmente tiene un consumo de potencia en promedio mensual de 400KW, de acuerdo a los 12 últimos registros mensuales, de los cuales un aproximado de 30% es el consumo de iluminación de aulas, laboratorios, oficinas y áreas externas, por otra parte todas las azoteas de los diferentes pabellones se encuentran vacías y disponibles, por lo que en esta tesis se propone el diseño de un sistema fotovoltaico en la azotea del

Pabellón R para alimentar la iluminación de los laboratorios de electricidad del cuarto nivel de dicho pabellón, lo cual se podría replicar posteriormente a todo el campus universitario en los diferentes pabellones lo cual no solo permitiría un ahorro económico sino también a una mejor utilización de los recursos energéticos existentes, en el mismo contexto anterior, también se plantea el uso de la tecnología LED en los sistemas de iluminación, dadas sus ventajas de eficiencia en la conversión y su bajo consumo de energía.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Diseñar un sistema de energía solar fotovoltaica para la iluminación de bajo consumo eléctrico en los laboratorios de electricidad del Pabellón “R” de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar un proyecto teórico que consista en el análisis de un sistema de iluminación, basado en lámparas de bajo consumo.
- Diseñar un sistema de energía solar alimentado por paneles fotovoltaicos.
- Diseñar un sistema que permita conmutar en forma automática entre energía eléctrica proporcionada por paneles solares y red eléctrica convencional.
- Analizar la eficiencia y calidad de luz de las lámparas de bajo consumo.

1.3. Alcances y Limitaciones

1.3.1. Alcances

El alcance del tema consiste en realizar el Diseño de un Sistema de Iluminación, Utilizando Lámparas de Bajo Consumo y Alimentado por Paneles Fotovoltaicos, para lo cual se estudiarán los distintos factores involucrados en el diseño de este sistema.

A continuación, se listan los alcances más importantes:

- Eficiencia Energética aplicado a la energía eléctrica.

- Energía Solar, irradiación, insolación y condiciones necesarias para un mejor aprovechamiento de esta.
- Condiciones ambientales para la instalación de sistemas solares en la ciudad de Arequipa.
- Paneles Solares Fotovoltaicos, tecnologías de fabricación, posición y orientación al Sol.
- Características Técnicas de Lámparas LED.
- Descripción de los siguientes equipos: Inversor, Baterías, regulador.
- Determinación de la energía consumida.
- Diseño de un Sistema de Iluminación Alimentado por Paneles FV, utilizando lámparas LED.

1.4. Justificación del estudio

a) Justificación social.

Actualmente tenemos un problema mundial de contaminación que está ocasionando graves efectos al medio ambiente, este estudio realizado plantea el uso de la tecnología fotovoltaica de la ciudad de Arequipa como una fuente de generación eléctrica alternativa respecto a los métodos convencionales para promover el desarrollo sostenible mediante la utilización de energías limpias y aprovechamiento de los altos niveles de radiación solar disponibles.

b) Justificación tecnológica.

Generar energía eléctrica sin contaminación al medio ambiente utilizando la tecnología moderna y de gran eficiencia. La tecnología fotovoltaica es aplicada a nivel mundial. Se puede tener acceso a gran cantidad de documentos que muestran estudios similares en diferentes lugares, pero se debe tener en cuenta que los entornos tecnológico, político, socioeconómico y cultural son distintos; y que las condiciones medioambientales varían para cada sector geográfico.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos de la luz y análisis comparativo de eficiencia de ampolletas incandescentes, fluorescentes y LED

2.1.1. Conceptos Generales de la Luz

- **La Luz:** se produce por una radiación electromagnética que es percibida por el ojo humano como claridad, esta radiación posee una longitud de onda que va desde los 380 a los 780 (nm), a este rango visible se le llama Flujo Lumínico, esto es mostrado en la Figura

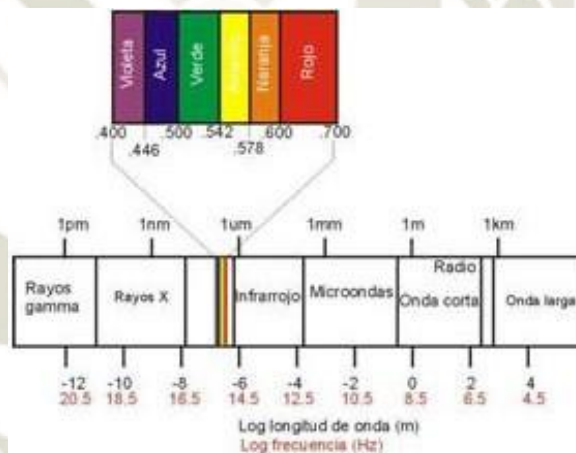


Figura 2.1: Espectro Electromagnético

- **Energía Lumínica (Qv):** corresponde al flujo lumínico emitido (Im) en una unidad de tiempo (s), su unidad de medida según el SI es el lumen segundo y la expresión que la representa se encuentra en la Ecuación

$$Q_v = \int I_m \, dt \quad (\text{lumen} \cdot \text{segundo})$$

- **Lumen (Im):** Es el flujo lumínico que atraviesa en un segundo un ángulo sólido de un estereorradián, emitido por una fuente puntual cuya intensidad es de una candela (Toledo, Héctor, 2004. Pág. 23-29).

- **Candela (cd):** es la unidad básica del SI de intensidad luminosa en una dirección dada, de una fuente que emite una radiación monocromática de frecuencia 540×10^{12} Hz equivalente a 555 nm en el vacío y de la cual la intensidad radiada en esa dirección es 1/683 Watt por estereorradián. El factor 683 fue definido en 1948 como una sexagésima parte de la luz emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido a la temperatura de su punto de fusión (2046° K). La Figura 2.2 muestra la curva de visibilidad relativa del ojo humano, donde se aprecia un haz de luz verde para una longitud de onda de 555 nm. (http://www.cne.cl/destacados/f_politica_energetica.htm)

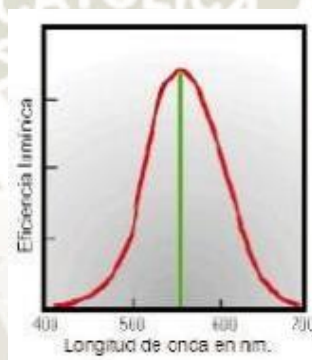


Figura 2.2: Curva de Visibilidad Relativa, Eficiencia Lumínica/Longitud de Onda

- **Estereorradián (sr):** corresponde a la superficie iluminada de una esfera por un cono de luz propagado desde el centro de la esfera de radio r , por una fuente de luz. Por lo tanto, un estereorradián equivale a un metro cuadrado de superficie iluminada de una esfera de un metro de radio. Esto se puede apreciar en la Figura 2.3, donde A representa un sr.

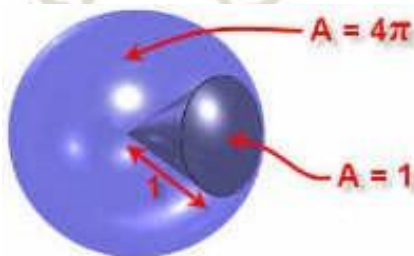


Figura 2.3: Representación de ángulo Sólido y Estereorradián

- **Ángulo Sólido (W):** corresponde al cono de luz emitido por una fuente concéntrica a una esfera de radio r , su unidad de medida es estereorradián (sr) y su expresión es mostrada en la Ecuación

$$W = S \frac{(sr)}{R^2}$$

Donde S corresponde a la superficie de la esfera ($4\pi r^2$) y r es el radio de la esfera) y R es el radio de la superficie proyectada por el cono de luz.

El ángulo sólido máximo y está dado por la Ecuación

$$W(\max) = \frac{4\pi r^2}{R^2} (sr)$$

Cuando $S=R^2$ el ángulo sólido corresponderá a un estereorradián

- **Flujo Lumínico (F):** corresponde a la cantidad de energía luminosa emitida por una fuente de luz, su unidad de medida es el lumen (lm). La máxima sensibilidad del ojo humano se encuentra en 683 lúmenes por Watt emitidos por una fuente de luz de longitud de onda de 555 nm, lo que corresponde a la luz verde.
- **Manantial patrón:** también llamado fuente patrón, corresponde a la radiación de energía emitida por un centímetro cuadrado de platino puro en estado sólido calentado a una temperatura equivalente a su punto de fusión (2046° K), aunque no toda la energía que radia corresponde a energía luminosa, sino que parte de esta se transforma en calor y radiaciones no visibles.
- **Intensidad Lumínica (Iv):** La intensidad luminosa es la característica fundamental de una fuente de radiación, viene dada por el flujo lumínico (F) emitido por unidad de ángulo sólido W en una dirección especificada, o dicho de otra forma, la potencia luminosa propia de la fuente, expresada en Watts, esta se encuentra expresado en la Ecuación

$$I = \frac{W}{w} (cd)$$

Como el flujo lumínico se mide en lumen, la unidad de medida de la intensidad lumínica será el lumen por estereorradián, lo cual corresponde a una unidad llamada candela (cd).

- **Luminancia (Lv):** Es la densidad superficial de la intensidad luminosa y se expresa como la relación entre la intensidad luminosa y la superficie desde la cual se emite, dicho de otra forma, es la magnitud que determina la impresión de mayor o menor claridad producida por una superficie, expresado en candela por metro cuadrado. También es definida como la sensación luminosa, que por efecto de la luz, se produce en la retina del ojo, esto es representado en la Ecuación

$$L = \frac{I}{S} \left[\frac{cd}{m^2} \right]$$

- **Iluminancia (Ev):** Es la cantidad de flujo lumínica (lm) que incide sobre una superficie (m²). Esta depende de la distancia del foco al objeto iluminado, esto se puede ver en la Figura 2.4. Su unidad de medida en el SI es el lux (1 lux = 1 Lumen/m²).

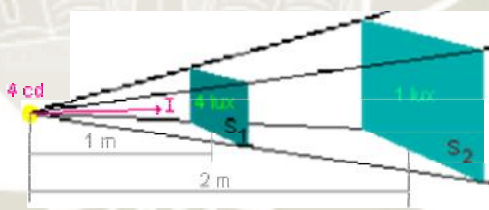


Figura 2.4: Nivel de Iluminancia según Distancia

- **Lux (lx):** equivale a un flujo lumínico de un lumen (1lm) que incide y se distribuye uniformemente sobre una superficie de un metro cuadrado.
- **Emisión Lumínica (Mv):** es la cantidad de flujo lumínico (lm) emitida por una superficie (m²), su unidad de medida según el SI es el lux.
- **Índice de Reproducción Cromática (CRI):** Dependiendo del lugar de aplicación y de la tarea visual a realizar, la luz artificial debe procurar una percepción de color adecuada. La capacidad de una fuente de luz de reproducir los colores se mide con el concepto de índice de reproducción

cromática (Ra o CRI), su rango va de 0 a 100, el valor máximo lo constituye la luz solar a las 12:00 hrs. del día y sin nubes.

- **Vida Útil:** Horas de encendido de la lámpara cuando ya el 50% de una muestra se ha apagado.
- **Temperatura de Color (K°):** Parámetro físico que indica la temperatura del haz luminoso. Usualmente se toma de referencia al blanco, el cual en términos físicos corresponde a la suma de todas las frecuencias disponibles, indicando su valor en grados kelvin (°K) (temperatura absoluta $0^{\circ} = -273,15^{\circ}\text{K}$). La temperatura de color de la luz solar es de 5.000°K aproximadamente, en el cenit (al mediodía) y de 2.000°K aproximadamente cuando está en el horizonte. Esto puede ser observado en la Figura 2.5¹, la cual muestra la temperatura de color para distintas radiaciones de luz.



Figura 2.5: Niveles de Temperatura de color

- **Potencia:** corresponde a la cantidad de energía eléctrica consumida por una ampolla para ejercer su función durante un período de tiempo establecido, su unidad es el Watt (W).
- **Eficiencia Luminosa:** Vincula la magnitud de luz emitida por la lámpara, con el consumo de energía realizado para ello. Corresponde al cociente entre el flujo luminoso medido y la potencia activa consumida (lm/W). Este parámetro sirve para conocer el desempeño energético de distintas lámparas, las que en nuestro caso corresponde a lámparas incandescentes, LFC (lámpara fluorescente compacta) y LED (diodos emisores de luz). En la Ecuación se muestra la expresión matemática que la representa.

¹ <http://www.gechile.cl/cl/nuestra.html>

$$\eta = \frac{\Phi}{W} \left(\frac{lm}{W} \right)$$

- **Factor de Potencia:** Corresponde a la relación entre la potencia de trabajo y la potencia total consumida.
- **Tiempo de estabilización de flujo lumínico y potencia:** Es el tiempo que demora una ampolleta en alcanzar la estabilidad total en iluminación y potencia.

Tabla 2.1: Resumen Unidades de Fotometría del Sistema Internacional (SI)

Magnitud	Símbolo	Unidad del SI	Abrev.	Magnitud radiométrica asociada	Notas
Energía lumínica	Qv	lumen segundo	lm·s	Energía radiante	A veces se usa la denominación Talbot, ajena al SI
Flujo luminoso	F	lumen (cd·sr)	lm	Flujo radiante o potencia radiante	Medida de la potencia luminosa percibida
Intensidad lumínica	Iv	candela (lm/sr)	cd	Intensidad radiante	Una Unidad básica del SI
Luminancia	Lv	candela por metro cuadrado	cd/m ²	Radiancia	A veces se usa la denominación Nit, ajena al SI
Iluminancia	Ev	lux (lm/m ²)	lx	Irradiancia	Usado para medir la incidencia de la luz sobre una superficie
Emisión lumínica	Mv	lux (lm/m ²)	lx	Emitancia	Usado para medir la luz emitida por una superficie
Eficiencia lumínica	?	lumen por Watt	lm/W	Eficiencia	razón entre flujo luminoso y la energía consumida

2.1.2. Análisis Comparativo de Eficiencia de Ampolletas Incandescentes, Fluorescentes y Led²

Es común a la hora de comprar una lámpara, usar como primer criterio de selección el precio de esta, lo cual es perfectamente entendible, el segundo parámetro corresponde a la potencia de la lámpara, lo cual se asocia a una mayor o menor luminosidad. Gracias al etiquetado de eficiencia energética y a la información que poco a poco se ha ido difundiendo en bien de utilizar eficientemente la energía, es posible darse cuenta de que ninguno de los criterios nombrados anteriormente permite elegir correctamente la ampolleta. Si bien es cierto el precio del equipo es un factor fundamental, no es conveniente realizar la elección solo por el ahorro que se podría conseguir al momento de la compra, sino que es necesario evaluar otros factores tanto o más importantes como la

² Reporte Interno de la Comisión Federal de Electricidad “Las fuentes de energía”, 2000 Museo Tecnológico D.F., CFE.

eficiencia del equipo. Por otro lado, un error común es atribuir a la potencia la total responsabilidad de iluminar más o menos, aunque si depende en parte de esta, la gran responsable de iluminar más o menos es la eficiencia de la lámpara, ya que mientras más eficiente sea, mayor será la cantidad de luz (lm) generada por cada Watt de potencia consumido.

Las lámparas residenciales pueden consideradas eficientes cuando poseen un rendimiento mayor a 40 lm/W, esto quiere decir que por cada Watt consumido la lámpara genera una luminosidad de 40 lumens. Por ejemplo, si se considera una lámpara de 15 Watt con una eficiencia de conversión de 40 lm/W, esta generará un flujo luminoso de 600 lumens. Por otro lado, si consideramos una lámpara menos eficiente como una incandescente de 50 Watt, cuyo rendimiento se encuentra alrededor de 12 lm/W, se obtendrá un flujo lumínico de 600 lumens, idéntico al anterior pero con la salvedad de que la lámpara eficiente consume 35 Watt menos para realizar el mismo trabajo, lo que equivale a ahorrar un 70% de energía con respecto a la incandescente, además las eficientes poseen otras ventajas como la vida útil, calidad de luz, etc.

- **Lámparas Incandescentes³**: Están formadas por una ampolla o bulbo de vidrio, que contiene un gas inerte (normalmente kriptón) y un filamento muy fino (0,043 mm de diámetro) y frágil de wolframio (también llamado tungsteno) de alta resistencia, el cual al ser excitado por una corriente eléctrica se calienta para generar luz. En dicho proceso, el 85% a 90% de la energía eléctrica consumida se transforma en calor, y el 10% a 15 % restante en luz. Son las de mayor consumo eléctrico, las más baratas y las de menor duración (aprox.1.000 horas), en la Figura 2..6 se muestra la estructura de una lámpara incandescente.

La cantidad de luz que emite una lámpara incandescente depende fundamentalmente de la potencia de esta. Mientras que la longitud del filamento, el tamaño y forma de la ampolla o bulbo de cristal dependen directamente de la potencia de la lámpara, ya que la temperatura del filamento es proporcional a la potencia, el desprendimiento de calor aumenta, por lo

³ www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=1437 - 20k

tanto, es necesario aumentar la superficie de enfriamiento. En la Figura 2.7 se muestran distintos tipos de lámparas incandescentes.

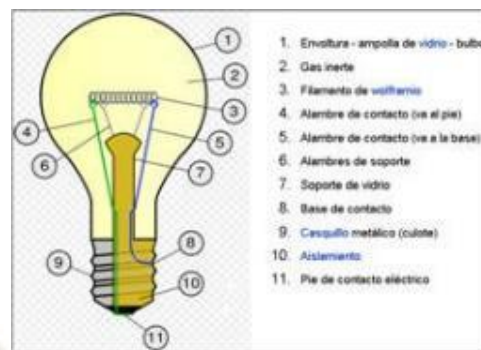


Figura 2.6: Estructura de una Lámpara Incandescente



Figura 2.7: Distintos tipos de Lámparas Incandescentes

- Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC)⁴:** corresponden a una versión mejorada de las lámparas de tubos rectos fluorescentes, los cuales utilizan balastos electromagnéticos o electrónicos para su encendido, diferenciándose de ellas en su forma y dimensiones. La ventaja de las LFC frente a las lámparas incandescentes es la eficiencia de conversión de la energía. La estructura posee entre uno y tres tubos, de 10 a 16 mm de diámetro, conectados eléctricamente en serie por medio de filamentos y doblados en forma de U invertida, su estructura es mostrada en la Figura 2.8, los tubos pueden estar a la vista, o incluirse dentro de una ampolla o bulbo de vidrio, similar al de las lámparas incandescentes, también existen en forma de espiral, según muestra la Figura 2.9. Es posible elegir entre lámparas de temperatura de color frío con tono azulado, o cálidas semejante a las lámparas incandescentes.

⁴ www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=1437 - 20k

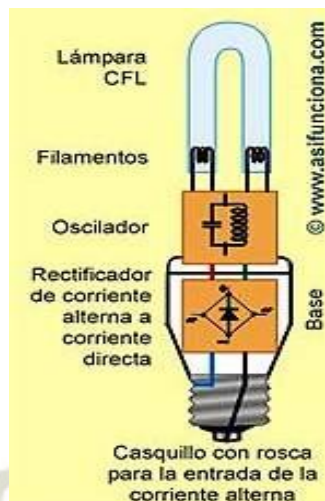


Figura 2.8 Estructura de una Lámpara LFC



Figura 2.9 Distintos tipos de Lámparas LFC

El objetivo de elevar la frecuencia es evitar o disminuir el parpadeo que provoca el arco eléctrico que se crea dentro de las lámparas fluorescentes cuando se encuentran encendidas. De esa forma se anula el efecto estroboscópico que normalmente se crea en las antiguas lámparas fluorescentes de tubo recto que funcionan con balastos electromagnéticos. En las lámparas fluorescentes antiguas el arco que se origina posee una frecuencia de sólo 50 Hertz, la cual corresponde a la frecuencia de la red.

Por otro lado, a pesar de los beneficios entregados por las lámparas LFC, estas presentan una serie de inconvenientes descritos a continuación:

- ✓ **Contaminación:** las lámparas LFC contienen mercurio, compuesto muy contaminante que obliga a extremar las precauciones de reciclado, ya que la rotura de estas puede generar complicaciones a la salud y contaminación del medio ambiente expuesto. Los fabricantes redujeron la cantidad de mercurio

en las lámparas, el cual es menor al de un tubo fluorescente normal y mil veces menor al que contiene un termómetro.

- ✓ **Vida útil:** Los ciclos de encendido y apagado de algunas lámparas LFC afectan la duración de su vida útil, de manera que las lámparas sometidas a frecuentes encendidos y apagados pueden disminuir su vida útil, es por esto que no se recomienda utilizarlas en sectores donde se expongan a constantes ciclos de encendido y apagado. No obstante, hoy en día, son mucho menos vulnerables a estos cambios de estado, habiendo incluso lámparas que prácticamente cubren toda su vida teórica en estas condiciones.
- ✓ **Lentitud de respuesta:** existen algunas lámparas que demoran alrededor de un segundo en arrancar y que tardan hasta 2 minutos en alcanzar su máxima luminosidad. Hoy en día, suelen iluminar intensamente desde el primer instante, aumentando su luminosidad en forma proporcional a su temperatura interna. En el caso de un arranque a muy baja temperatura, por ejemplo en invierno y en recinto frío, puede ocurrir que emita menos luz los primeros dos minutos mientras se calienta el gas en su interior.
- ✓ **Zumbido:** es frecuente que con el tiempo algunas lámparas comiencen a emitir un zumbido, aunque casi imperceptible. Hoy en día es muy poco frecuente, dado que los balastos electrónicos reducen ese problema. Si una lámpara con balasto electromagnético zumba, se recomienda su reemplazo lo antes posible, por un modelo electrónico, que es mucho más eficiente y mucho más confiable.
- ✓ **Parpadeo:** Algunas lámparas de bajo consumo pueden presentar parpadeos, especialmente las que usan transformador o balasto electromagnético, este parpadeo se debe a que trabajan a una frecuencia de 50 Hertz, la cual es baja para este tipo de dispositivos. En cambio, las lámparas con balasto electrónico, las que corresponden al 99% de las actuales, trabajan a altas frecuencias, por lo cual no sufren este problema.

- **Ampolletas LED⁵:** los LED (diodo emisor de luz) en un comienzo solo eran utilizados como señales visuales, para representar un estado u otro tipo de señal en dispositivos electrónicos. Esto se debió a la baja intensidad luminosa con la que contaban. Hoy los LED han avanzado de forma impresionante, logrando alcanzar una categoría de iluminación totalmente nueva, aportando sentido y simplicidad a nuestra iluminación diaria.

La iluminación LED ha revolucionado el mundo de la iluminación, esto por su eficacia, durabilidad, respeto con el medio ambiente y controlable, permitiendo aplicaciones novedosas y tradicionales

Comparándolos con ampolletas incandescentes y LFC, los LED poseen muchas ventajas. Alcanzan elevados niveles de eficiencia, no generan calor, han mejorado enormemente su nivel lumínico, no generan residuos tóxicos, poseen mayor durabilidad (hasta 100000 horas), bajo consumo energético, entre otras.

Diodo Led (Light Emitting Diode - diodo emisor de luz): es un dispositivo semiconductor que emite luz monocromática cuando por él circula una corriente eléctrica al ser polarizado en forma directa. El color depende del material semiconductor del que está construido el Led, ya que de acuerdo al material que se utilice será la longitud de onda de la luz emitida. Esta puede variar desde el ultravioleta, pasando por todo el espectro de luz visible, hasta el infrarrojo, éstos últimos reciben la denominación de diodos IRED (Infra-Red Emitting Diode). La Figura 2.10 muestra el símbolo que representa a un diodo LED.



Figura 2.8: Símbolo de un Diodo LED

Unión P-N: el Led, al igual que otros tipos de diodos (rectificador, zener, etc.), basa su funcionamiento en la unión de materiales semiconductores del dopados con impurezas, generalmente Silicio, existiendo también otros

⁵ http://enciclopedia.us.es/index.php/Diodo_LED

materiales como: Germanio (Ge), Fosfuro Arseniuro de Galio (GaAsP), fosfuro de Galio (GaP), etc. El dopado consiste en inyectar impurezas al material semiconductor del tipo P (rico en huecos) y N (rico en electrones) provenientes de otro material, de esta forma el material dopado con impurezas tipo P tendrá un exceso de huecos (iones positivos), lo cual se puede conseguir inyectando átomos del grupo III en la red cristalina, por ejemplo: boro, mientras que el material tipo N dispondrá de un exceso de electrones, provenientes de átomos del grupo V, como el fósforo, por ejemplo. En ambos casos se tienen también portadores de signo contrario, aunque en una concentración varios órdenes de magnitud inferior (portadores minoritarios). Los cristales P y N, por separado representan cristales eléctricamente neutros (carga eléctrica igual a 0), ya que por cada electrón existe un Ion positivo y por cada hueco existe un Ion negativo, por lo que no existen distribuciones de carga neta, ni campos eléctricos internos. La Figura 2.11 muestra la unión de dos cristales dopados, uno con rico en huecos y otro rico en electrones.

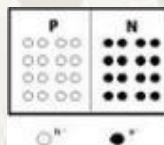


Figura 2.9: Material Dopado con impurezas tipo P y N

Principio de Funcionamiento del Led: el diodo entra en funcionamiento al polarizar directamente la unión P-N (Figura 2.13), es decir, que el polo positivo de la fuente se conecte al ánodo del diodo y el polo negativo se debe conectar cátodo del diodo, esto genera una corriente eléctrica, provocando una recombinación de huecos y electrones (al paso de la corriente). Esta recombinación requiere que la energía que posee un electrón libre no ligado se transfiera a otro estado. En todas las uniones P-N una parte de esta energía se convierte en calor y otro tanto en fotones. En el Si y el Ge el mayor porcentaje de la energía se transforma en calor, mientras que la luz emitida es insignificante. Por esta razón se utiliza otro tipo de materiales para fabricarlos, como por ejemplo: Fosfuro Arseniuro de Galio (GaAsP) o fosfuro de Galio (GaP).

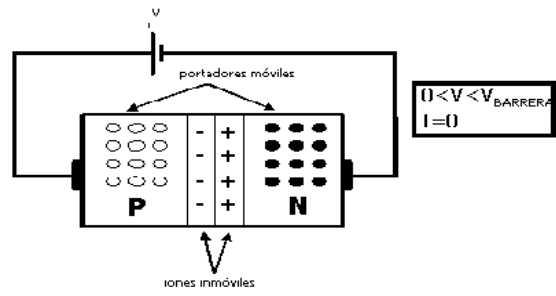


Figura 2.10: Polarización directa del diodo

En esta se aprecia que el LED viene provisto de dos terminales de conexión, correspondientes al ánodo y cátodo de aproximadamente 2 a 2,5 cm de largo y sección generalmente de forma cuadrada. El terminal del cátodo es mas grande que el del ánodo en el interior del Led, esto se debe a que el cátodo esta encargado de sujetar al sustrato de silicio, por lo que deberá disipar el calor generado hacia el exterior ya que el terminal del ánodo se conecta al chip por un delgado hilo de oro, el cual prácticamente no conduce calor. Además este terminal cumple la función de reflejar la luz, por lo cual tiene forma parabólica o su aproximación semicircular. Lo anterior representa un punto muy crítico en la fabricación del Led ya que un mal enfoque puede ocasionar una pérdida considerable de energía o una proyección dispareja.

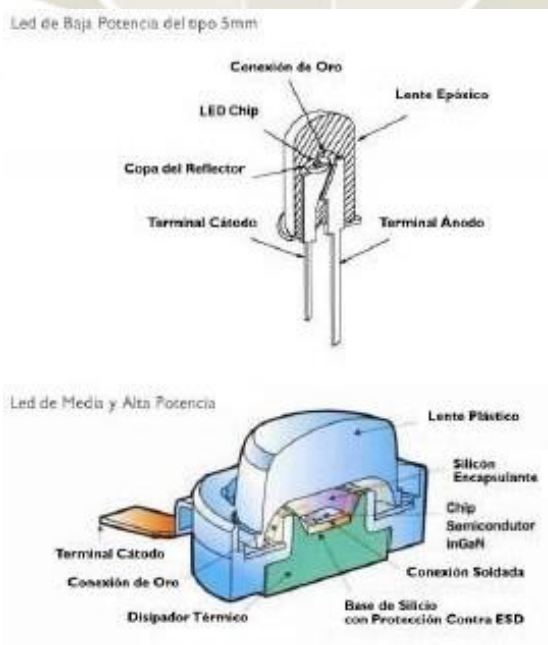


Figura 2.11: Encapsulado de un Diodo LED para distintas Potencias

La Tabla 2.2 muestra las características generales de los LED, esto es: color, longitud de onda, ángulo de visión, etc.

Tabla 2.2: Características generales para los distintos colores de LED⁶

	Peak Wave length (nm)	Dominant Wave length (nm)	X Coordinate (typ)	Y Coordinate (typ)	Color Name	Nominal Fwd Voltage (Vf@20ma)	Intensity (mcd) 5mm LEDs (For Reference)	Radiant Power mW/sr	Viewing Angle	LED Die Material
IR	940	N/A			Infrared	1.3	N/A	16mW@20mA	22°-30°	GaAlAs/GaAs
IR	885	N/A			Infrared	1.6	N/A	31mW@50mA	12°-20°	GaAlAs/GaAs
IR	843	N/A			Infrared	1.7	N/A	86mW@50mA	12°-20°	GaAlAs/GaAs
	654	641	0.72	0.28	Ultra Red	1.9	1000mcd@20mA	13mW@20mA	22°-30°	GaAlAs/GaAlAs
	640	625	0.70	0.30	HE Red	2.0	220mcd@20mA	1.8mW@20mA	12°-20°	GaAsP/GaP
	634	624	0.70	0.29	Super E.Red	2.2	8000mcd@20mA	45mW@20mA	12°-20°	InGaAlP
	616	610	0.66	0.33	Super Orange	2.0	2000mcd@20mA	7mW@20mA	22°-30°	InGaAlP
	609	604	0.64	0.35	Orange	2.0	220mcd@20mA	0.7mW@20mA	12°-20°	GaAsP/GaP
	598	593	0.60	0.40	Super Yellow	2.0	5000mcd@20mA	10mW@20mA	12°-20°	InGaAlP
	592	589	0.57	0.42	Super P.Yellow	2.3	4000mcd@20mA	8mW@20mA	22°-30°	InGaAlP
	582	584	0.54	0.45	Yellow	2.1	170mcd@20mA	0.3mW@20mA	12°-20°	GaAsP/GaP
	3000K	N/A	0.44	0.41	Warm White	3.3	5500mcd@20mA	17mW@20mA	12°-20°	InGaN
	6000K	N/A	0.31	0.34	Pure White	3.3	5500mcd@20mA	17mW@20mA	40°-50°	InGaN
	8000K	N/A	0.26	0.25	Cool White	3.3	5800mcd@20mA	23mW@20mA	12°-20°	InGaN
	8000K	N/A	0.28	0.27	Cool White	3.4	8400mcd@20mA	33mW@20mA	12°-20°	InGaN
	8000K	N/A	0.28	0.28	Cool White	3.3	16000mcd@20mA	60mW@20mA	12°-20°	InGaN
	575	573	0.47	0.53	Super L.Green	2.0	1800mcd@20mA	3mW@20mA	12°-20°	InGaAlP
	563	569	0.44	0.55	HE Green	2.3	210mcd@20mA	0.03mW@20mA	12°-20°	GaP/GaP
	563	564	0.41	0.59	Super P.Green	2.1	400mcd@20mA	0.6mW@20mA	40°-50°	InGaAlP
	557	560	0.37	0.61	Pure Green	2.2	140mcd@20mA	0.2mW@20mA	12°-20°	GaP/GaP
	522	528	0.18	0.71	Aqua Green	3.4	15,000mcd@20mA	30mW@20mA	12°-20°	InGaN
	501	502	0.08	0.52	Blue Green	3.4	4300mcd@20mA	16mW@20mA	40°-50°	InGaN
	455	460	0.14	0.04	Super Blue	3.2	3000mcd@20mA	61mW@20mA	12°-20°	InGaN
	425	447	0.15	0.05	Ultra Blue	4.0	250mcd@20mA	5mW@20mA	12°-20°	SiC/GaN
UV	402	420	0.17	0.006	Ultra Violet	3.8	39mcd@20mA	53mW@20mA	12°-20°	SiC/GaN
UV	397	419	0.17	0.006	Ultra Violet	3.7	35mcd@20mA	39mW@20mA	12°-20°	SiC/GaN
UV	378	N/A	0.35	0.32	Ultra Violet	3.3	150mcd@20mA	18mW@20mA	10°	GaN

⁶ <http://www.ledtronics.com/html/ColorChart.htm>

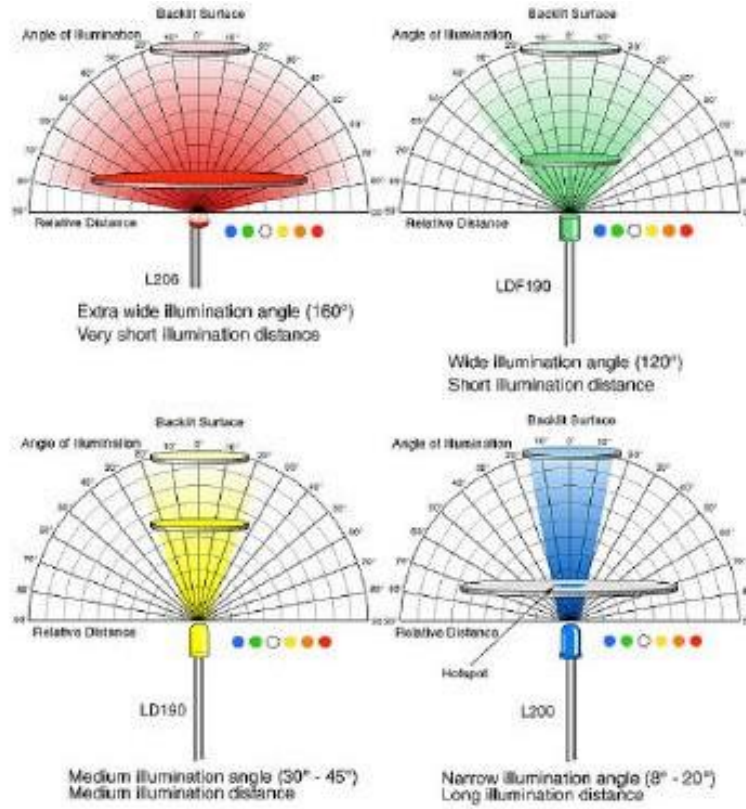


Figura 2.12: Superficies Iluminadas usando LED Discretos

La Figura 2.16 muestra un plano cartesiano que compara la intensidad relativa (eje y), con las longitudes de onda para distintos colores (eje x). Por otro lado, la Figura 2.17 muestra un diagrama de cromaticidad con las coordenadas correspondientes a cada color y sus respectivas longitudes de onda.

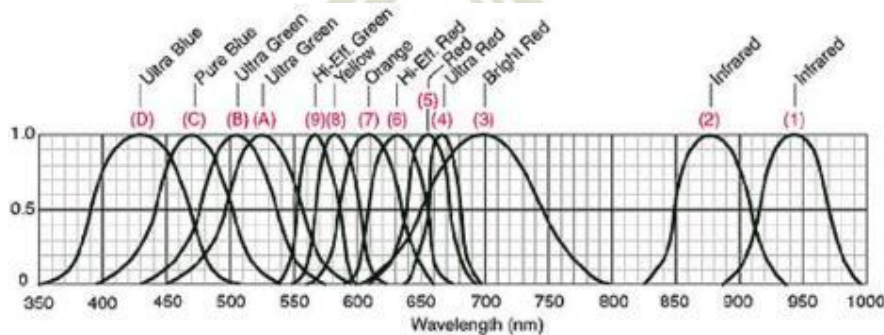


Figura 2.13: Curvas de Intensidad Relativa vs Longitud de onda

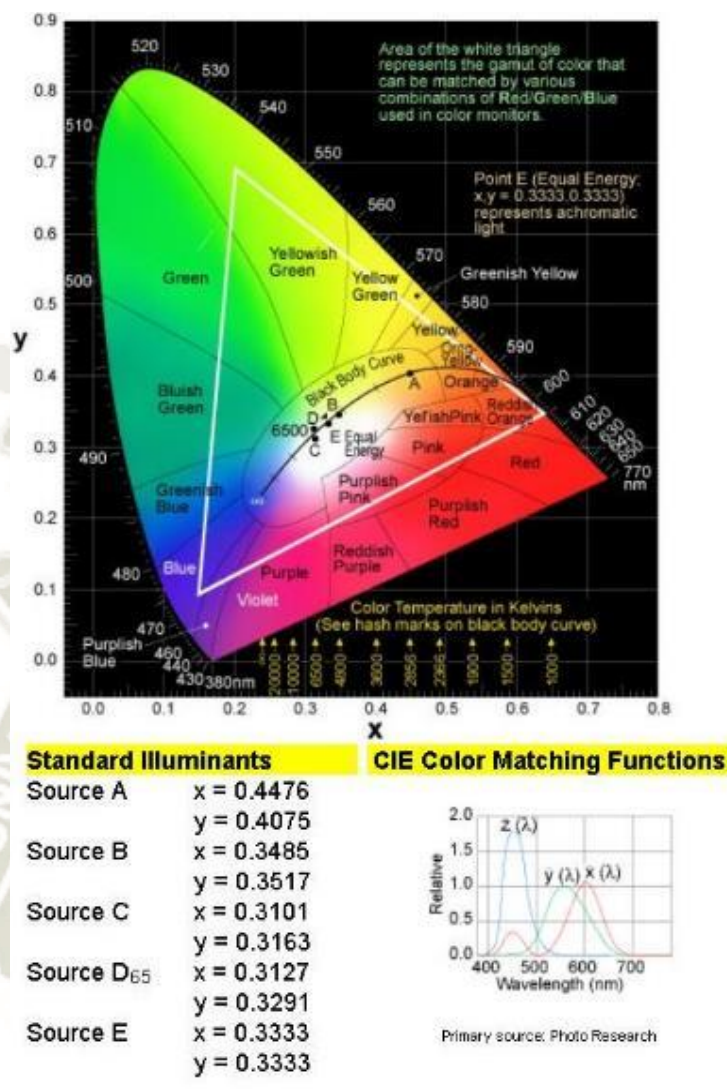


Figura 2.14: Diagrama de Cromaticidad⁷

- Comparación de Ampolletas Incandescentes, LFC y Led:** Actualmente Chile se encuentra en proceso de evaluación de un proyecto de Ley que permita regularizar la eficiencia energética de artefactos eléctricos, el cual es denominado “Estándares Mínimos de Desempeño Energético EMDE21. Por el momento el proyecto despachado por el Senado dispone de un reglamento dictado por el Ministerio de Economía en base a un informe desarrollado por la Comisión Nacional de Energía, el cual busca establecer el procedimiento con que se fijarán los estándares que deberán cumplir las luminarias y la periodicidad de su revisión en nuestro país. Por el momento solo está en

⁷ <http://www.ledtronics.com/html/1931ChromaticityDiagram.html>

evaluación la regulación para luminarias, pero se espera que este sea el primer paso para regular otro tipo de equipos eléctricos y electrónicos.

Por lo tanto, debido a que aún no existe una normativa que permita regularizar el uso de este tipo de equipos en nuestro país, se tomará como referencia los estándares fijados por los países pertenecientes a la APEC, parte de los cuales son mostrados en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: MEPS países de APEC

Lámparas Incandescentes			
País	Descripción	MEPS (lm/W)	lm
Canadá	60 W Normal	11	660
Corea	60 W Normal	10,8 - 13	648 - 780
USA	60 W Normal	11	660
Lámparas Fluorescentes Compactas (LFC)			
Corea	Menos de 10 W	42	420
	10 - 15 W	48	480
	Sobre 15 W	58	870
Japón	Lámparas de escritorio que utilizan lámparas fluorescentes de casquillo simple	62,5	

En primer lugar, se realizará una comparación entre lámparas incandescentes de 25, 40, 60, 75 y 100 Watt, clásica tipo globo, 220 Volt y base E-27. Luego se mostrarán algunas características para ampollas LFC de 15 y 20 Watt, doble tubo tipo U, 220 Volt y base E-27. Para terminar, dando a conocer las características principales de las ampollas LED disponibles en el mercado actualmente, 220 Volt, base E-27.

Esta comparación no busca realzar a un fabricante por sobre otro, sino más bien busca conocer las características de eficiencia de cada grupo en general, esto es: Incandescente, LFC ó LED.

Lámpara incandescente de 25 Watt. Para comenzar con las ampollas incandescentes, la figura 2.18 muestra el flujo lumínico y la eficiencia de conversión de la energía para tres fabricantes de lámparas de 25 Watt, en esta se puede apreciar que la máxima eficiencia entre las muestras apenas alcanza los 10,4 lm/W, con un flujo lumínico de 260 lm en el caso de la lámpara Philips, mientras que la de menor flujo y eficiencia corresponde a la marca Osram, con 8,8 lm/W y 220 lm, confirmando con esto el bajo nivel de eficiencia que poseen las lámparas de este tipo. En promedio alcanzan una eficiencia de 9,5 lm/W y un

flujo de 237 lm. Además su valor comercial alcanza un promedio de \$354 aproximadamente.

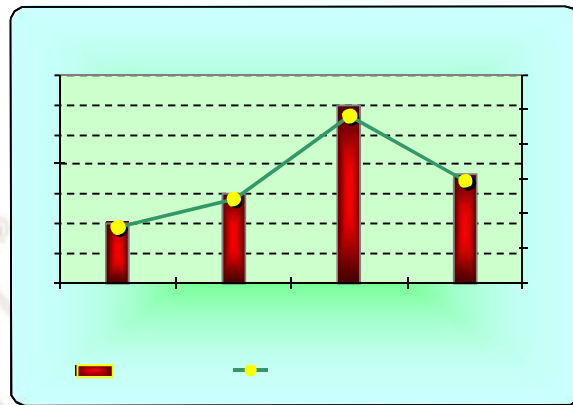


Figura 2.15: Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 25 W

Lámpara incandescente de 40 Watt. En el caso de la lámpara de 40 Watt, las diferencias se acortan, existiendo un mínimo de 415 lm para las dos primeras lámparas y un máximo de 420 lm, situándose el promedio en 427 lm. Mientras tanto la eficiencia, a pesar de no percibirse claramente en la figura 2.19, es muy similar entre las muestras, siendo 10,4 lm/W la eficiencia para las marcas GE y Philips y de 10,5 lm/W para la Osram. El promedio se encuentra en 417 lm para el flujo y en 10,42 lm/W para la eficiencia, mientras que su valor comercial promedio es de \$364.

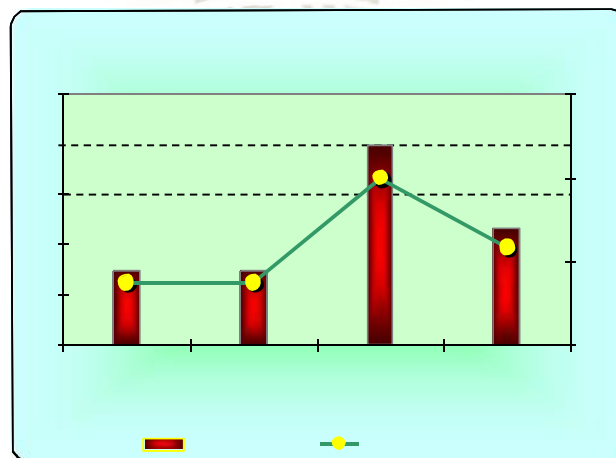


Figura 2.16: Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 40 W

Lámpara incandescente de 60 Watt. En este caso fueron evaluadas cuatro muestras, según se muestra en el Gráfico 2.3.3, adicionalmente a las marcas anteriores se adiciona la marca Ecolight, los resultados son los siguientes: el mínimo de eficiencia (10,5 lm/W) y flujo (630 lm) lo posee la marca Ecolight, la GE y Osram alcanzan 11,8 lm/W de eficiencia y 710 lm de flujo, mientras que la lámpara Philips es la de mayor eficiencia (11,9 lm/W) y flujo (715 lm). El promedio se encuentra en 11,9 lm/W de eficiencia y 691 lm de flujo. Por último el valor comercial promedio esta en \$316, siendo la más barata pero menos eficiente la marca Ecolight.

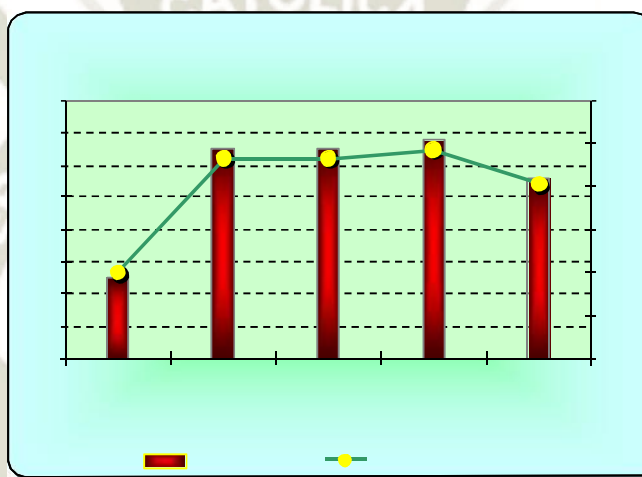


Figura 2.17: Flujo y Eficiencia para las lámparas incandescentes de 60W.

Lámpara incandescente de 75 Watt. Para la lámpara de 75 W se mantiene el orden de eficiencia y flujo de la anterior, esto porque la lámpara Ecolight es la menos eficiente (11,9 lm/W) y 890 lm de flujo, la GE y la Osram poseen 940 lm de flujo y 12,5 lm/W de eficiencia, mientras que la Philips alcanza los 990 lm de flujo y 13,2 lm/W de eficiencia. El promedio se encuentra en los 940 lm de flujo y 12,53 lm/W de eficiencia (ver figura 2.21), según se observa en la Tabla 2.4 el costo promedio es de \$316.

Lámpara incandescente de 100 Watt. Por último, se encuentra la lámpara de 100 W, la cual se muestra en la figura 2.4, nuevamente la lámpara de menor desempeño corresponde a la Ecolight con un flujo de 1250 lm y 12,5 lm/W de eficiencia, la GE posee un flujo de 1340 lm y eficiencia de 13,4 lm/W, la Philips por su parte tiene un flujo de 1350 lm y 13,5 lm/W de eficiencia, por último, la Osram

alcanza 1360 lm de flujo lumínico y 13,6 lm/W de eficiencia. El promedio de las muestras se encuentra en 1.325 lm y 13,25 lm/W de eficiencia. El costo promedio es de \$316.

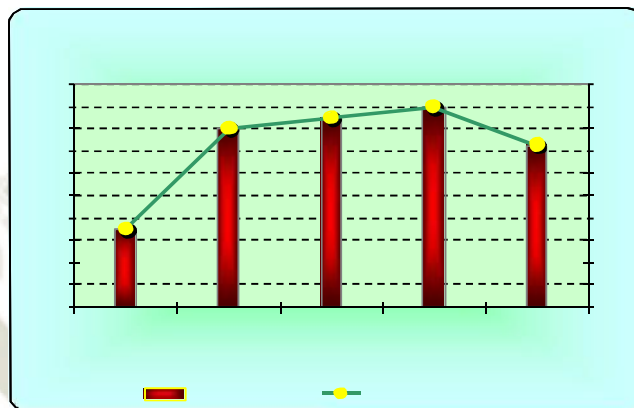


Figura 2.18: Flujo y eficiencia para lámparas incandescentes de 100 W

A continuación, la Tabla 2.4 muestra un resumen para los distintos tipos de lámparas antes mencionadas.

Tabla 2.4: Resumen de características para lámparas incandescentes

Fabricante	Potencia (W)	Voltaje (V)	Lúmenes (lm)	Eficiencia (lm/W)	Etiqueta	T. de Color (°K)	Base	Vida Útil (Horas)	Costo (\$)
Osram	25	220	220	8,8	E	2.700	E-27	1.000	309
GE	25	220	230	9,2	E	2.700	E-27	1.000	285
Philips	25	220	260	10,4	E	2.700	E-27	1.000	399
Promedio	25	220	237	9,47		2700		1000	331
GE	40	220	415	10,4	E	2.700	E-27	1.000	285
Philips	40	220	415	10,4	E	2.700	E-27	1.000	399
Osram	40	220	420	10,5	E	2.700	E-27	1.000	329
Promedio	40	220	417	10,42		2700		1000	338
Ecolight	60	220	630	10,5	E	2.700	E-27	1.000	250
GE	60	220	710	11,8	E	2.700	E-27	1.000	285
Osram	60	220	710	11,8	E	2.700	E-27	1.000	329
Philips	60	220	715	11,9	E	2.700	E-27	1.000	399
Promedio	60	220	691	11,52		2700		1000	316
Ecolight	75	220	890	11,9	E	2.700	E-27	1.000	250
GE	75	220	940	12,5	E	2.700	E-27	1.000	285
Osram	75	220	940	12,5	E	2.700	E-27	1.000	329
Philips	75	220	990	13,2	E	2.700	E-27	1.000	399
Promedio	75	220	940	12,53		2700		1000	316
Ecolight	100	220	1250	12,5	E	2.700	E-27	1.000	250
GE	100	220	1340	13,4	E	2.700	E-27	1.000	285
Philips	100	220	1350	13,5	E	2.700	E-27	1.000	399
Osram	100	220	1360	13,6	E	2.700	E-27	1.000	329
Promedio	100	220	1325	13,25		2700		1000	316

Fuente: Datos indicados por fabricante

Lámpara Fluorescente Compacta (LFC) 15 W. En la figura 2.22 se pueden apreciar las características de eficiencia y flujo luminoso para distintos fabricantes de ampollas LFC de 15 W. Las lámparas más deficientes corresponden a las Ecolight y Elfa, ambas con un flujo de 470 lm y apenas 31,3 lm/W de eficiencia, mientras que la más eficiente corresponde a la GE con 62,7 lm/W y 940 lm de flujo. Luego se encuentran la Home Works y Osram, ambas con 750 lm de flujo lumínico y 53,6 y 50 lm/W de eficiencia respectivamente, la Philips posee un flujo de 850 lm y 56,7 lm/W de eficiencia, finalmente se encuentra la Westinghouse con 800 lm y 53,3 lm/W de eficiencia. En promedio el conjunto de muestras alcanza un valor de 719 lm de flujo luminoso y 48,4 lm/W de eficiencia, además de un costo comercial promedio de \$1.452 aproximadamente.

Lámpara Fluorescente Compacta (LFC) 20 W. A continuación se detallan las características de flujo y eficiencia para ampollas LFC de 20 W. Al igual que para el caso de las lámparas de 15 W, las marcas Ecolight y Elfa corresponden a las ampollas menos eficientes, 39 lm/W y 780 lm de flujo. La GE posee un flujo luminoso de 880 lm y una eficiencia de 44 lm/W, luego la Osram alcanza los 1.000 lm de emisión luminosa y 50 lm/W de eficiencia, la Westinghouse llega a 1.155 lm de flujo y 57,8 lm/W de eficiencia. Home Works y Philips corresponden a las marcas que mejor aprovechan la energía, ya que poseen un flujo de 1.170 lm y 58,5 lm/W de eficiencia de utilización de la energía. El conjunto de muestras poseen un promedio de flujo luminoso de 991 lm y 49,5 lm/W de eficiencia energética. la figura 2.23 muestra los datos antes mencionados.

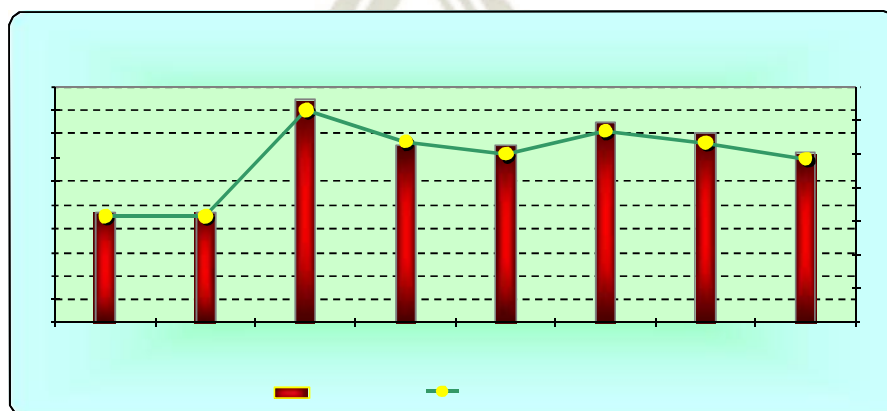


Figura 2.19: Flujo y eficiencia para lámparas LFC de 15 W

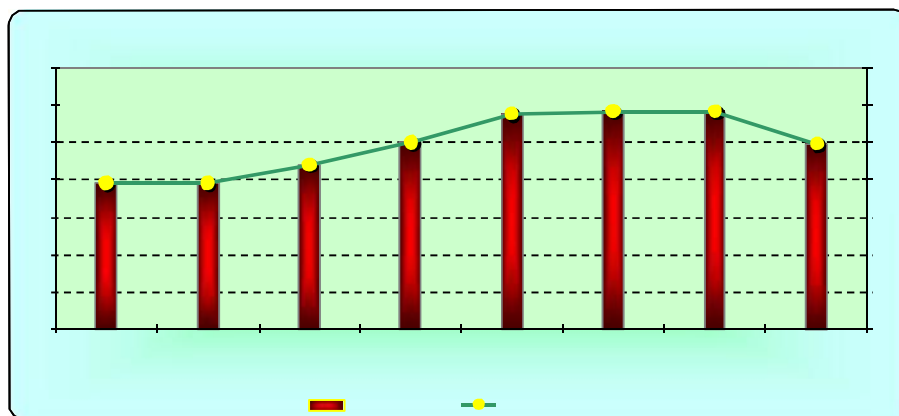


Figura 2.20: Flujo y eficiencia para lámparas LFC de 20 W

A continuación, se muestra en la Tabla 2.5 un resumen de las características de las ampollas LFC antes mencionadas:

Tabla 2.5: Resumen de Ampolletas LFC

Marca	Tipo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Lúmenes (lm)	Eficiencia (lm/W)	Etiqueta	T. de Color (%)	Base	Vida Útil (Horas)	Costo (\$)	Encendido
Ecolight	Bitubo	15	220	470	31,3	B	2.700	E-27	3.000	690	Instantáneo
Elfa	Tritubo	15	220	470	31,3	B	2.700	E-27	5.000	1.609	Instantáneo
Cosram	Tritubo	15	220	750	50,0	A	2.700	E-27	3.000	1.889	Progresivo
Westinghouse	Bitubo	15	220	800	53,3	A	3.000	E-27	6.000	1.990	Progresivo
Home Works	Bitubo	14	220	750	53,6	A	2.700	E-27	6.000	799	Progresivo
Philips	Bitubo	15	220	850	56,7	A	2.700	E-27	6.000	2.190	Instantáneo
GE	Bitubo	15	220	940	62,7	A	2.700	E-27	4.000	995	Progresivo
Promedio		15	220	719	48,4		2743	E-27	4714	\$ 1.452	
Ecolight	Tritubo	20	220	780	39,0	B	2.700	E-27	3.000	850	Instantáneo
Elfa	Tritubo	20	220	780	39,0	B	2.700	E-27	3.000	1.290	Instantáneo
GE	Tritubo	20	220	880	44,0	A	4.000	E-27	4.000	1.695	Progresivo
Cosram	Tritubo	20	220	1000	50,0	A	2.700	E-27	3.000	1.990	Progresivo
Westinghouse	Tritubo	20	220	1.155	57,8	A	3.000	E-27	6.000	1.990	Progresivo
Home Works	Tritubo	20	220	1.170	58,5	A	2.700	E-27	6.000	1.695	Progresivo
Philips	Tritubo	20	220	1.170	58,5	A	2.700	E-27	6.000	2.190	Instantáneo
Promedio		20	220	991	49,5		2.929	E-27	4.429	\$ 1.671	

Fuente: Datos indicados por fabricante

- **Ampolletas LED:** poco a poco se han ido introduciendo en nuestro país las ampolletas LED, que como se explicó anteriormente, están formadas por diodos LED de alta luminosidad y bajo consumo de energía. La gran barrera existente hasta el momento, corresponde a su alto costo, lo cual hace lenta la recuperación de la inversión en aplicaciones domésticas u otra, donde el tiempo de utilización generalmente no supera las 3 a 4 horas. Sin embargo, en aplicaciones donde se necesite mantener iluminado por largos periodos de tiempo, como supermercados, estacionamientos subterráneos, salas de exposición, etc., el uso de este tipo de lámparas genera ahorros económicos a

corto plazo y ahorros energéticos inmediatos. A continuación, se muestran algunas de las lámparas existentes en el mercado.

Ampolleta LED de 2 W. En este caso las muestras corresponden a la marca Osram, como se puede apreciar en la figura 2.25. El flujo y eficiencia mínima es de 117 lm y 58,5 lm/W respectivamente, mientras que el flujo y eficiencia máxima son de 165 lm y 82,5 lm/W. El promedio se encuentra en 138 lm de flujo y 69 lm/W de eficiencia luminosa. Si bien es cierto poseen un bajo flujo luminoso, se puede comprobar que tienen una alta eficiencia de conversión de energía.

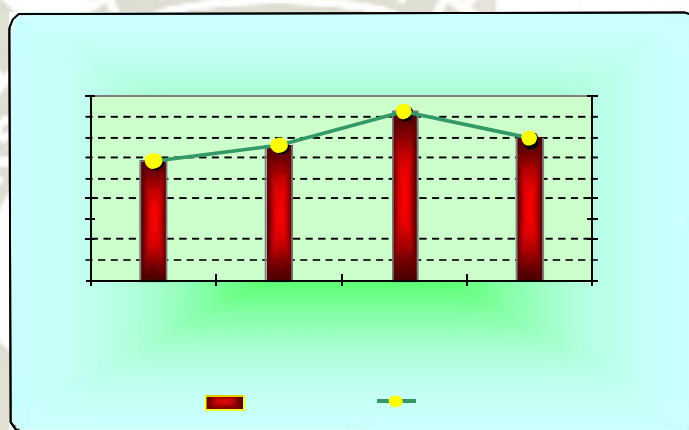


Figura 2.21: Flujo y eficiencia para lámparas LED de 2 W

Ampolleta LED de 3 W. En este caso, existen 2 marcas adicionales, las cuales corresponden a los modelos Energy Market y SP50, la primera es distribuida por la empresa del mismo nombre, la cual además fabrica algunos modelos de ampollitas LED, su flujo es de 150 lm y su eficiencia de 50 lm/W, mientras que la segunda alcanza los 190 lm de flujo luminoso y 63,3 lm/W de eficiencia de conversión y es comercializada por la empresa Solener, dedicada principalmente a la venta de equipos solares. Por último, se encuentran 2 modelos de la marca Osram, de idéntico flujo y eficiencia luminosa, con 165 lm y 55 lm/W respectivamente, la única diferencia entre ambas se encuentra en su tonalidad de luz, la Osram 80845 de color blanco frío, mientras que la 80846 es blanco cálido. la figura 2.25 muestra los datos antes mencionados.

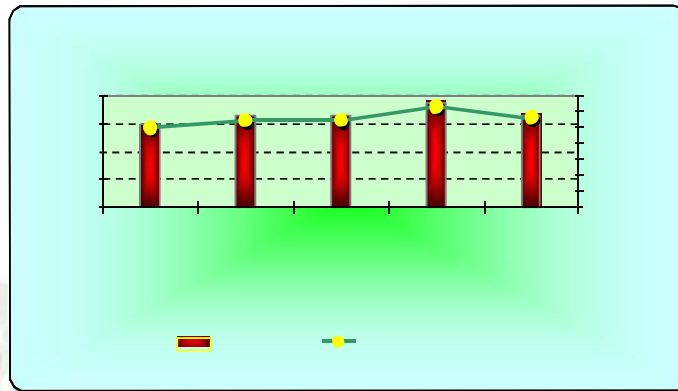


Figura 2.22: Flujo y eficiencia para lámparas LED de 3 W

Ampolleta LED de 5 W. En este caso, encontramos distribuidores que comercializaban modelos de lámparas de similares características, como se puede ver en la figura 2.26 No se encuentra el origen de la referencia., que aparece más adelante. Se tomó solo una de estas tres lámparas, la cual corresponde a la Energy Market, con un flujo de 250 lm y 50 lm/W de eficiencia, mientras que los dos restantes son de la marca Osram, ambas con flujos de 370 lm y 74 lm/W de eficiencia. El promedio se encuentra en 298 lm de flujo y 59,6 lm/W de eficiencia.

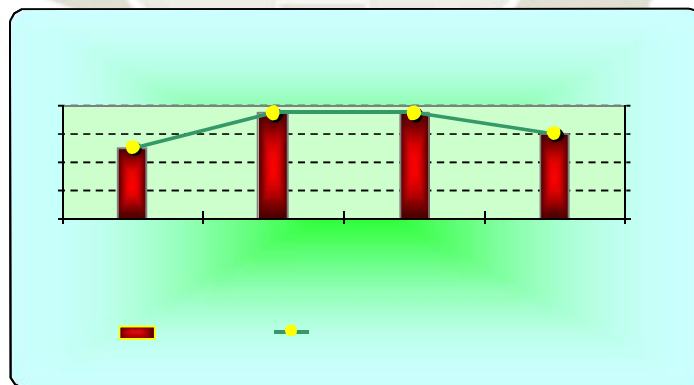


Figura 2.26 Flujo y eficiencia para lámparas LED de 5 W

Ampolleta LED de 10 W. De las cuatro lámparas consideradas, la de menor flujo y eficiencia corresponde a la polybrite R20, con un flujo 372 lm y una eficiencia de 37,2 lm/W, luego se encuentran la SB80 y la KSP -80B (casa Keim), ambas con un flujo de 500 lm y 50 lm/W de eficiencia respectivamente. Finalmente, la KSP80 de Casa Keim, es la que alcanza mayor flujo luminoso,

igual a 750 lm y una eficiencia de 75 lm/W. El promedio esta situado en los 530,5 lm de flujo luminoso y 53,1 lm/W de eficiencia luminosa. Esto se puede apreciar en la figura 2.27.

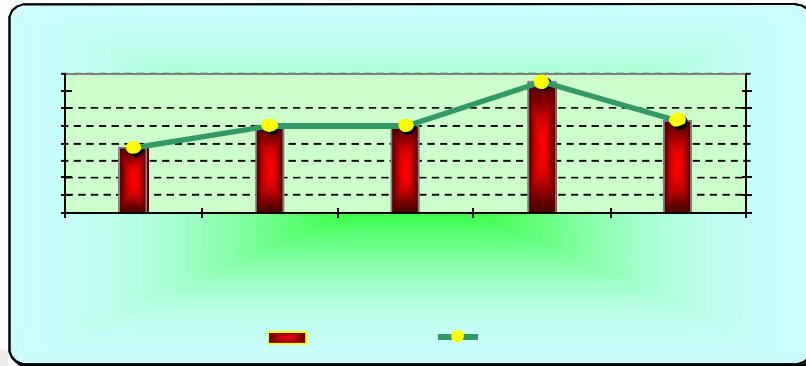


Figura 2.23: Flujo y eficiencia para lámparas LED de 2 W

Ampolleta LED de 18,6 W. Finalmente para la lámpara de 18,6 W, la marca Polybrite, distribuida por Led Chile, dispone de tres modelos como se observa en la figura 2.28, la Par 38 WW es la de menor flujo y eficiencia, con 440 lm y 23,7 lm/W respectivamente, luego la Par 38 CW posee un flujo de 550 lm y una eficiencia de 29,6 lm/W, por último, la Par 30 alcanza un flujo de 656 lm y 35,3 lm/W de eficiencia.

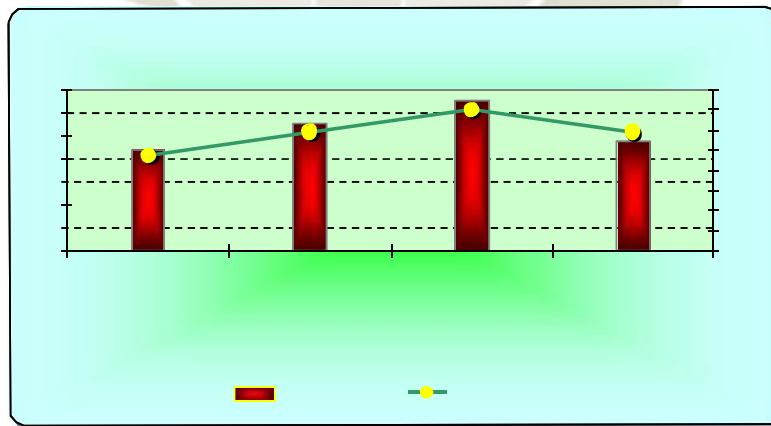


Figura 2.24: Flujo y eficiencia para lámparas LED de 18,6 W

A continuación, la Tabla 2.6 muestra resumen que contiene los datos antes mencionados:

Tabla 2.6: Resumen de Ampolletas LED

Marca/Modelo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Lúmenes (lm)	Eficiencia (lm/W)	Color de luz	T. de Color (°K)	V. Útil (Horas)
Osram 80059	2	220	117,0	58,5	Blanco frío	5500	25000
Osram 80061	2	220	132,0	66,0	Blanco calido	3000	25000
Osram 80309	2	220	165,0	82,5	Blanco frío	6500	20000
PROMEDIO	2	220	138,0	69,0	-	-	23333
Energy Market	3	220	150,0	50,0	Blanco Calido	5.000-6.000	50000
Osram 80845	3	220	165,0	55,0	Blanco frío	5500	25000
Osram 80846	3	220	165,0	55,0	Blanco Calido	3000	25000
SP50 (Solener)	3	220	190,0	63,3	-	-	50000
PROMEDIO	3	220	167,5	55,8	-	-	37500
SP70 (Solener)	5	220	250,0	50,0	Blanco Calido	-	50000
SKP-70 (Casa Keim)	5	220	250,0	50,0	Blanco calido, frío	5.000-7.000 / 3.000-4.000	50000
Energy Market	5	220	250,0	50,0	Blanco Calido	5.000-6.000	50000
Osram 80321	5	220	370,0	74,0	Blanco frío	6500	15000
Osram 80322	5	220	370,0	74,0	Blanco calido	3000	15000
PROMEDIO	5	220	298,0	59,6	-	-	32500
Polybrite R20 (LCh)	10	220	372,0	37,2	Blanco frío	4.600-5.600	50000
SB80	10	220	500,0	50,0	Blanco Calido	-	
KSP-80B (Casa Keim)	10	220	500,0	50,0	Blanco: frío, calido	5.000-7.000 / 3.000-4.000	50000
KSP80 (Casa Keim)	10	220	750,0	75,0	Blanco: frío, calido	5.000-7.000 / 3.000-4.000	50000
PROMEDIO	10	220	530,5	53,1	-	-	50000
Polybrite Par 38 WW (LCh)	18,6	220	440,0	23,7	incandescente	2.800-3.200	50000
Polybrite Par 38 CW (LCh)	18,6	220	550,0	29,6	blanco fluorescente	3.800-4.600	50000
Polybrite Par 30 (LCh)	18,6	220	656,0	35,3	blanco frío	4.600-5.600	50000
PROMEDIO	18,6	220	479,8	29,5	-	-	50000

Fuente: Datos indicados por fabricante

Para concluir con esta etapa, se puede decir que la cantidad de luz entregada por las ampolletas LED consideradas anteriormente es aún baja como para alcanzar los niveles de luminosidad de las Incandescentes o LFC, además sus costos las superan ampliamente. Pero, sin embargo, el bajo consumo de energía, larga vida útil, emisión nula de UV o IR, no contaminantes al no contener mercurio o plomo, etc., hacen de estas lámparas una gran opción para reducir el consumo de energía y los niveles de contaminación.

2.2. Irradiación

La radiación solar absorbida por la atmósfera terrestre no es aprovechada al 100%. Según el Instituto Geofísico del Perú, en términos generales, el 24% de la radiación llega directamente, el 21% de la radiación no llega directamente. Mientras que el 29% se pierde en el espacio.

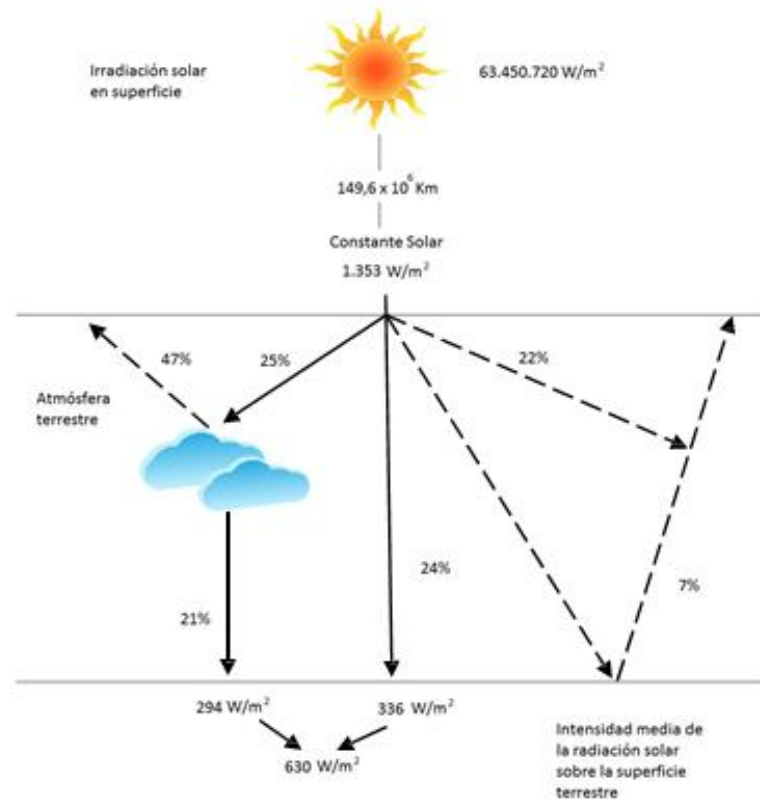


Figura 2.25: Esquema de distribución de radiación⁸

Existen tres componentes de la radiación solar:

- Directa: Es la que proviene del sol, sin desviar su paso por la atmósfera.
- Difusa: Sufre cambios debidos a la reflexión difusión en la atmósfera.
- Albedo: Es la que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas, puede ser directa o difusa.

La radiación directa es la mayor y la más importante en el diseño de un sistema fotovoltaico.

El Perú es uno de los países que cuenta con mayor radiación solar en el mundo, por ello cuenta con un gran potencial de desarrollo en el sector de energía fotovoltaica. Dentro de la región, solo Chile lo supera. Esto se puede observar en la Figura 2.30.

⁸ Energía Solar Fotovoltaica” 4ta Edición. Autor: Javier Méndez Muñiz



Figura 2.26: Mapa Irradiación horizontal de Latinoamérica y el Caribe⁹

2.3. Insolación.

La Insolación corresponde a la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a un lugar de la Tierra en un día concreto (insolación diaria) o en un año (insolación anual). En otras palabras, es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el Watts-hora por metro cuadrado (W-h/m²). La insolación también se expresa en términos de horas solares pico. Una hora solar de energía es equivalente a la energía recibida durante una hora, a una irradiancia promedio de 1.000 W/m². La energía útil que entrega el panel(es) fotovoltaico(s) es directamente proporcional a la insolación incidente.

⁹ "GeoModel Solar" es un consultor técnico con bases de datos online de mapas y servicios.
<http://geomodelsolar.eu>

Para calcularla se puede asumir que no hay atmósfera o que se mide en la parte alta de ella y se denomina insolación diurna o anual no atenuada, otra forma es medir en la superficie de la Tierra teniendo en cuenta la presencia de la atmósfera, en este caso se denomina insolación atenuada siendo más complejo calcularla. En la Figura 2.31 se muestra la insolación correspondiente a un día, la cual es representada por el área amarilla de la figura.

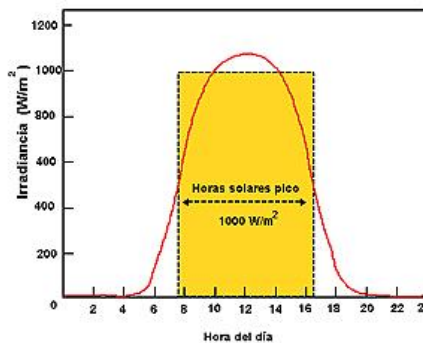


Figura 2.27: Curva de Irradiación Diaria y horas solares pico

La insolación es un parámetro muy importante en el diseño de sistemas solares. Los factores climáticos y el ángulo de posicionamiento del panel con respecto al sol afectan en demasía la insolación sobre la superficie de captación.

2.4. Celda fotovoltaica.

Una celda fotovoltaica, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. A su vez el efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética, estos electrones libres, al ser capturados generan una corriente eléctrica (ver Figura 2.32). La Figura 2.33 muestra una celda fotovoltaica policristalina.

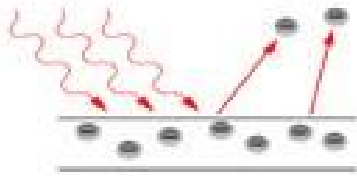


Figura 2.28: Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar

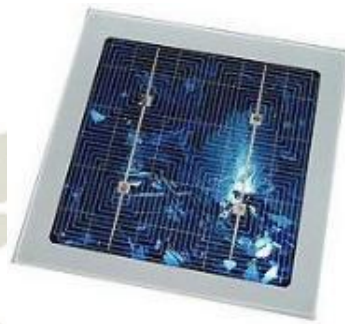


Figura 2.29: Celda Fotovoltaica de Silicio Policristalino

Un panel fotovoltaico es la conexión de varias células en paralelo y/o en serie, se conectan en serie para aumentar la corriente y en paralelo para incrementar el voltaje.

Para ensamblar un panel fotovoltaico, se cuentan con plantas que deben estar certificadas con altos estándares de calidad sobretodo en soldadura. Se utilizan principalmente, metales (buenos conductores) y vidrios.

Es un requisito que los módulos se fabriquen de acuerdo a la norma internacional IEC- 61215 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Cualificación del diseño y aprobación de tipo” o equivalente¹⁰.

2.5. Funcionamiento de un Panel Fotovoltaico.

El principio de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos se basa en el efecto fotovoltaico o efecto fotoeléctrico, mediante la captación de fotones provenientes de la luz solar, los cuales inciden con una cierta cantidad de energía en la superficie del panel, esta interacción provoca el desprendimiento de los

¹⁰ “Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp” Minem 2005

electrones de los átomos de silicio, rompiendo y atravesando la barrera de potencial de la capa semiconductor (ver Figura 1.6). Esto genera una diferencia de potencial en la capa N con respecto a la P. Luego si se conecta una carga eléctrica o elemento de consumo entre los terminales del panel se iniciará una circulación de corriente continua, tal como se puede apreciar en la Figura 2.35.

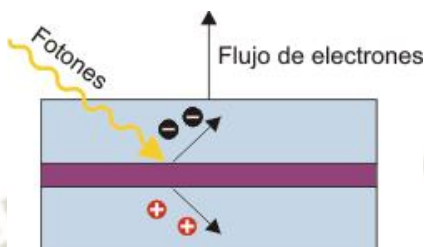


Figura 2.30: Desplazamiento de Electrones mediante la captación de Fotones

El nivel de energía proporcionado por un panel fotovoltaico depende de lo siguiente:

- Tipo de panel y área del mismo
- Nivel de radiación e insolación
- Longitud de onda de la luz solar

Una celda fotovoltaica común de silicio monocristalino de 100 cm² de superficie, puede producir aproximadamente 1.5 Watt de energía, a 0.5 volt (CC) y 3 amperes de corriente bajo condiciones óptimas (luz solar en pleno verano a una radiación de 1000W/m²). La energía entregada por la celda es casi directamente proporcional al nivel de radiación solar.

El nivel de potencia de salida por panel es denominado potencia pico, la cual corresponde a la potencia máxima entregable por el conjunto de celdas bajo las siguientes condiciones estándares de prueba (STC: Standard Test Conditions):

- Radiación de 1000 W/m²
- Temperatura de celda de 25° C (no corresponde a la temperatura ambiente).
- Masa de aire (AM=1,5).

Bajo estas condiciones es posible medir los siguientes parámetros¹¹:

- **Corriente de corto circuito (I_{sc}):** corresponde a la máxima corriente en amperes generada por cada panel, al conectar una carga de resistencia cero en sus terminales de salida. Su valor depende de la superficie del panel y de la radiación solar.
- **Voltaje de circuito abierto (V_{oc}):** corresponde al voltaje máximo que genera un panel solar y medido en los terminales de salida cuando no existe carga conectada, es decir, a circuito abierto.

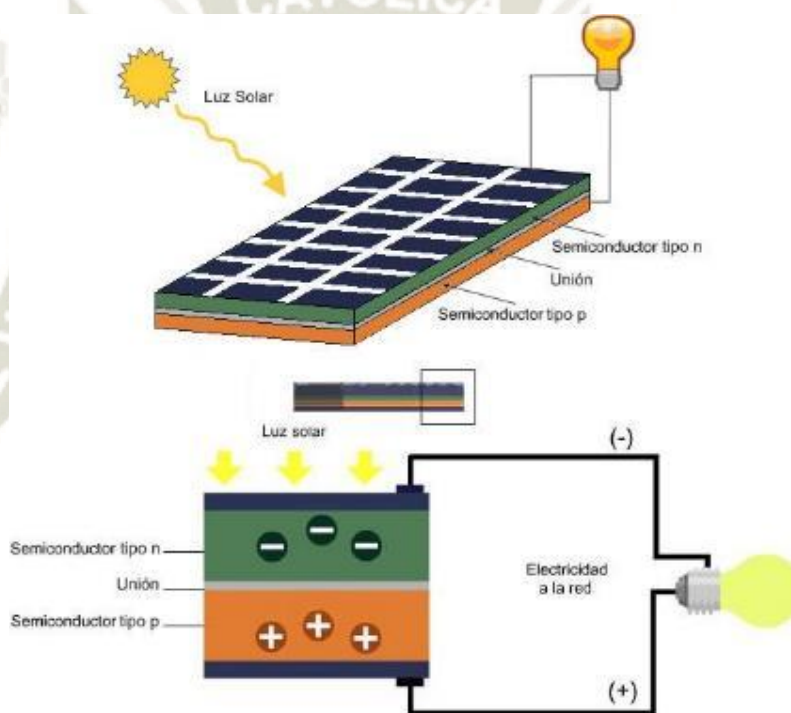


Figura 2.31: Esquema de Funcionamiento de un Panel solar

El comportamiento eléctrico de los paneles está dado por las curvas de corriente v/s voltaje (curva IV) o potencia v/s voltaje (curva PV). La curva de potencia está dada por el producto entre la corriente y el voltaje en cada punto de la curva IV. La Figura 1.8 muestra las curvas IV y PV características de un panel típico Solarex VLX-53, disponible comercialmente. Bajo las condiciones estándares de prueba mencionadas anteriormente, cada modelo de panel tiene una curva IV o PV característica. La corriente nominal (I_{mp}) y el voltaje nominal (V_{mp}) del panel

¹¹ www.sernac.cl/estudios/detalle.php?id=1437 - 20k, Estudio de Eficiencia de ampolletas

se alcanzan en el punto de máxima potencia. Mientras el panel opere fuera del punto de máxima potencia, la potencia de salida será significativamente más baja. La Tabla 2.74 muestra los datos entregados por el fabricante de paneles Solarex VLX-53

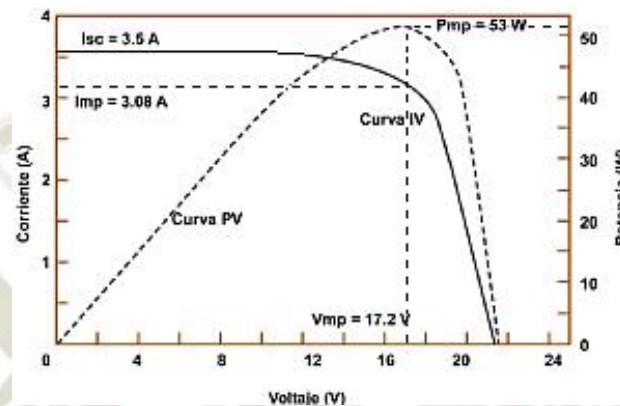


Figura 2.32: Curva IV y PV para un módulo fotovoltaico típico a 1000 W/m² y 25 °C

Tabla 2.7: Placa de datos entregada por fabricante de un panel Solarex VLX-53

Modelo	VLX-53
Pmp	53 W
Vmp	17,2 V
Imp	3,08 A
Voc	21,5 V
Isc	3,5 A
Condiciones	1000 2, 25°C

2.5.1. Factores de eficiencia de un panel fotovoltaico

- Punto de máxima potencia (Pmp):** corresponde a la máxima potencia que el panel puede entregar, la cual se da cuando el voltaje y la corriente alcanzan sus valores máximos en forma simultánea, esto se puede ver en el rectángulo inscrito dentro la curva IV de la Figura 2.37, donde el vértice sobre la curva, denominado Pmp, representa el valor de máxima potencia. Este valor se consigue de acuerdo a la Ecuación

$$Pmp = Vmp \times Imp$$

- Eficiencia en la conversión de energía** La eficiencia de un panel fotovoltaico, corresponde al porcentaje de energía eléctrica generada en relación a la cantidad de energía luminosa recibida desde el sol, cuando el

panel se encuentra conectado a un circuito eléctrico. La Ecuación siguiente define la eficiencia

$$y = \frac{P_{mp}}{E \times A_c} = \frac{V_{mp} * I_{m p}}{P_i}$$

Donde:

y : representa a la eficiencia de la conversión de la energía.

P_{mp} : punto de potencia máxima (W).

E : nivel de radiación solar en la superficie del panel (W/m²), bajo condiciones STC.

A_c : Superficie del panel fotovoltaico (m²).

P_i : Potencia Recibida por el panel

- **Factor de forma (FF).** También se conoce como Fill Factor en inglés y define la eficacia de un panel solar, relacionando el punto de máxima potencia (P_m), dividido por el producto entre el voltaje a circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito (I_{sc}). Esto se muestra en la Ecuación

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{y \times A_c \times E}{V_{oc} \times I_{sc}}$$

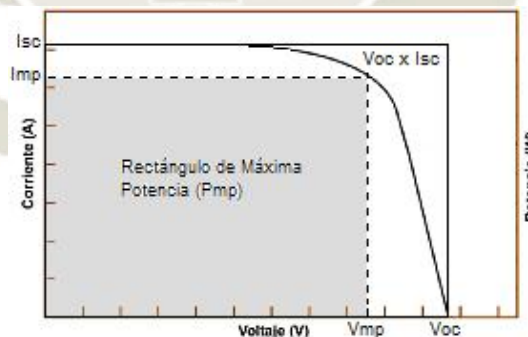


Figura 2.33: Factor de Forma (FF)

- **Potencia y Costos.** En un día despejado de nubosidad, el Sol irradia cerca de 1 kW/m² a la superficie de la Tierra. Teniendo en cuenta que actualmente la eficiencia de un panel fotovoltaico puede estar entre el 12 y 25%, se alcanzaría una producción de energía aproximada de 120 a 250 W/m², dependiendo eso sí de la insolación solar. La Figura 2.39 muestra los niveles

de radiación para distintos lugares del mundo, donde se puede observar que la zona norte de nuestro país cuenta con los niveles de radiación más altos del mundo.

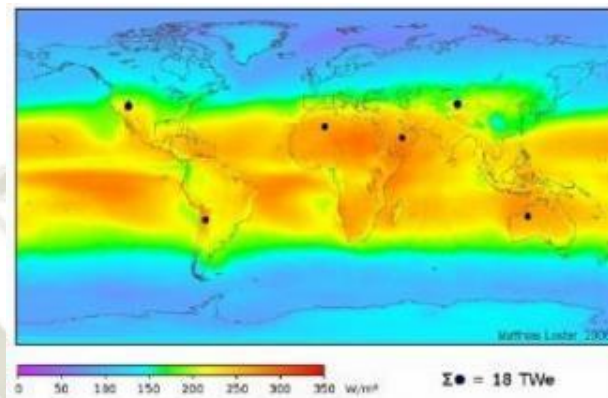


Figura 2.34: Niveles de Radiación Solar en el Mundo

A latitudes medias y septentrionales (regiones del norte), de acuerdo a las estaciones del año y las condiciones atmosféricas, en invierno el nivel de radiación promedio en la superficie terrestre es de 100 W/m^2 y 250 W/m^2 en verano. Con paneles de 12% de eficiencia de conversión de la energía, se pueden obtener 12 Watt y 30 Watt respectivamente.

Tomando como referencia un panel de un metro cuadrado de superficie y que entrega en promedio 30 Watt (0,03 KWh), además de un costo de la energía de $135 \text{ \$/KWh}$, se obtiene una generación de $\$4,05$ hora ($\$97,2$ día), promedio en la superficie terrestre.

Ahora bien, un Km² genera 30 MW (30 KWh) y un equivalente en pesos de 4.050.000 por hora y $\$97.200.000$ por día.

2.6. Tecnologías de Energías Renovables¹²

Entendemos por energía renovable aquella fuente de energía primaria que se renueva al finalizar el proceso en el que tomó parte o es tan grande su disponibilidad en el tiempo que para tiempos humanos ésta es como si fuera renovable.

¹² La solución es energía solar. Grupo PIM, S.A. de C.V. ECOPIIM

Por otro lado, es importante hacer diferencias entre los distintos tipos de energías renovables en función de las tecnologías que la aprovechan. Una podría ser en términos de los tamaños de los sistemas, de micro, meso o macro escala, pero parece más adecuado hacer esta diferenciación en términos del lugar donde se usa la energía secundaria que produce. Así se tiene, por un lado, las tecnologías de energías renovables cuyo producto en energía secundaria es usado en el mismo lugar donde están instalados los sistemas, y por otro lado, aquellas donde el uso de la energía secundaria está alejado o fuera de lugar donde se produjo la energía secundaria. A las primeras se les puede llamar energías renovables de uso local y a las segundas energías renovables de uso remoto. Las primeras incluyen a:

- La energía solar pasiva en edificaciones
- La producción de calor por captadores de radiación solar
- Los arreglos fotovoltaicos para generación de electricidad
- La producción de energía eléctrica con celdas combustibles
- El uso del calor ambiental en bombas de calor
- La conversión del viento en energía eléctrica
- La conversión de biomasa en energía eléctrica, etc

Todas estas tecnologías tienen en común que son capaces de producir energía secundaria derivada de la energía solar en casi todos los climas de la tierra. Sin embargo, el tipo y la cantidad de energía renovable dependen del lugar.

Las aplicaciones de las energías renovables de uso remoto tienen la característica de coleccionar y convertir la energía renovable en un lugar, y tener el consumo de la energía secundaria en otro lugar, alejado del primero. Estas aplicaciones incluyen a:

- Plantas de potencia termosolares y Fotovoltaicas
- Plantas de potencia hidroeléctrica
- Plantas de potencia de viento
- Sistemas de conversión de energía térmica oceánica
- Plantas de potencia geotérmicas.

Las cuatro primeras aplicaciones corresponden al aprovechamiento de la energía solar en su forma directa como energía radiante o en su forma indirecta como viento, el agua almacenada en presas y gradientes térmicos en los océanos. Todas esas energías por venir del sol se consideran renovables. En rigor, el sol tiene una vida finita, pero para los tiempos de la especie humana se considera infinita y por eso el atributo de energía renovable. La quinta aplicación corresponde al uso de la energía geotérmica que también es finita.

Sin embargo, por la dinámica del subsuelo, existen en el mundo muchos yacimientos geotérmicos cuyo tiempo de vida rebasan el tiempo de la escala humana. Por ello también a esta forma energética se le considera renovable.

Nótese que asociada a la diferencia entre las energías renovables de uso local y las de uso remoto, se encuentra también el tamaño de los sistemas. En las primeras, en general, se tienen sistemas pequeños, en tanto en las segundas, se consideran sistemas grandes.

2.6.1. Carácter cíclico de las energías renovables

La radiación solar después de su uso final de la energía secundaria en la que fue transformada, regresa al medio ambiente en forma de calor a la temperatura ambiente. Esto sucede también para la geotermia o la energía oceánica, por otro lado, el agua de las reservas globales usada para la disociación del agua por electrólisis o energía térmica, regresa después de haber sido descompuesta y recambiada a las mismas reservas globales, sin pérdida de cantidad o calidad. Esto sucede también en las hidroeléctricas. Así el uso de las energías renovables tiene un ciclo ambiental cerrado. Es por esto, que se llaman energías renovables.

2.6.2. Diferencias sustanciales entre las energías renovables y las otras energías

Es claro que existen similitudes entre las energías renovables y las otras fuentes de energías, pero también hay diferencias sustanciales con ellas. En el área de la ecología y seguridad de las energías renovables no se requiere un confinamiento del desperdicio como en el caso nuclear, y tal vez próximamente en el caso fósil. En el área de costo de inversión y financiamiento los costos de inversión en las

energías renovables son altos, los tiempos de construcción son cortos, pero no existen costos para tratar con materias primas y desperdicios. En el área de competencia de mercados, no hay internalización de los costos ambientales producidos por las plantas nucleares y de los combustibles fósiles, siendo que estos costos pueden llegar a ser, en algunos casos, hasta del doble del costo del energético secundario comercial producido.

2.6.3. Tecnologías comerciales con energías renovables y sus aplicaciones

Cuando se obtiene calor mediante energías renovables se pueden tener las siguientes aplicaciones: agua o aire caliente para uso doméstico, institucional o industrial; vapor de agua para uso institucional o industrial; cocción o procesamiento de productos agropecuarios; destilación de agua de enfriamiento por absorción; secado de alimentos, madera y otros materiales entre otros.

Cuando se obtiene electricidad de las energías renovables se puede aprovechar en: casas, industrias, instituciones, comunidades, bombeo de agua, etc. En la figura 2.40 se muestran algunos costos de generación de energía mediante energías renovables.

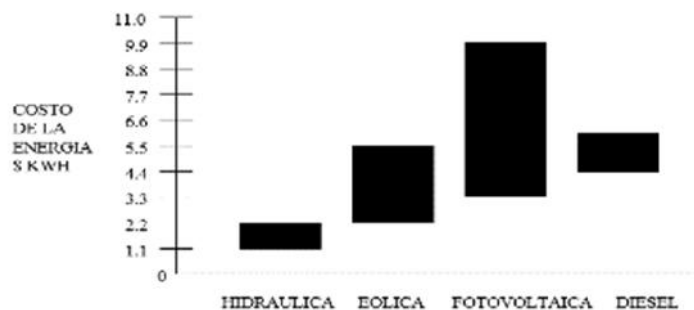


Figura 2.35: Costos de generación de Energía

En la figura 2.40, se puede ver que la producción mediante hidroeléctricas es la más barata y oscilan entre 0.1 y 0.2 dólares por KW/hr, enseguida está la eólica variando entre 0.2 y 0.5 dólares por KW/hr y la más cara y también en la que el precio oscila más es la fotovoltaica que va desde 0,3 a 0.9 dólares por KW/hr. En la misma figura se muestra el costo de producirla por un método convencional como el diesel que oscila entre 0.35 y 0,55 dólares por KW/hr.

En la actualidad la energía renovable más explotada en nuestro país es la producida en plantas hidroeléctricas La C.F.E. desde su creación ha constituido 64 obras hidráulicas de este tipo.

2.7. Naturaleza de la Energía Solar¹³

El sol, es una de las innumerables estrellas que hay en nuestra galaxia, la más cercana y sin duda también, la más importante para nosotros, ya que sin ella no existiríamos ni existiría ninguna forma de vida sobre la tierra.

Es una estrella de tipo medio, su radio es de unos 700 000 Km. y su masa equivale a la que se obtendría juntando unos 334 000 planetas iguales a la tierra, su densidad media es de 1.41 g/cm³, su centro es de gran densidad, brilla en el espacio desde hace más de 5000 millones de años y se calcula que el tiempo que le resta de vida es todavía mayor, y esta situado a 30 000 años luz del centro de la galaxia, alrededor del cual se mueve con todo el sistema planetario, a una velocidad de 320 Km./seg. Y completa una revolución cada 200 millones de años. Gira sobre su eje como una gran bola de gas, no como un sólido (periodo de rotación en el ecuador 24.7 días; cerca de los polos 30 días aproximadamente).

Cada segundo el sol irradia en todas las direcciones del espacio una energía de 4×10^{20} joules esto es, genera una potencia de 4×10^{23} kilowatts, para hacernos una idea de la enorme magnitud que representan estas cifras, basta considera la potencia generada por todas las plantas industriales del mundo trabajando juntas sería unos trescientos billones de veces más pequeñas. En el breve lapso de tiempo de un solo segundo, el sol irradia mucha más energía que la consumida por todo el género humano desde sus albores hasta nuestros días.

Por otra parte, esta esfera de materia gaseosa inmensamente caliente, tiene un diámetro de 1.39 millones de (Km.). La distancia mínima (en el perihelio) entre el sol y la tierra, se alcanza alrededor del 15 de Enero mientras que la máxima (en el afelio) se tiene a fines de Junio. La discrepancia entre la distancia mínima y máxima es de 1/60 del valor medio.

¹³ Estudio del comportamiento térmico de un sistema solar de calentamiento de agua aplicando el método F, tesis M.C. Vicente Flores Lara, 1995 México, D.F. IPN

Esto quiere decir que la órbita elíptica que describe la tierra alrededor del sol es prácticamente circular.

A continuación, se presenta un esquema de la órbita terrestre respecto al sol y sus posiciones, en distancias. (Figura 2.41).

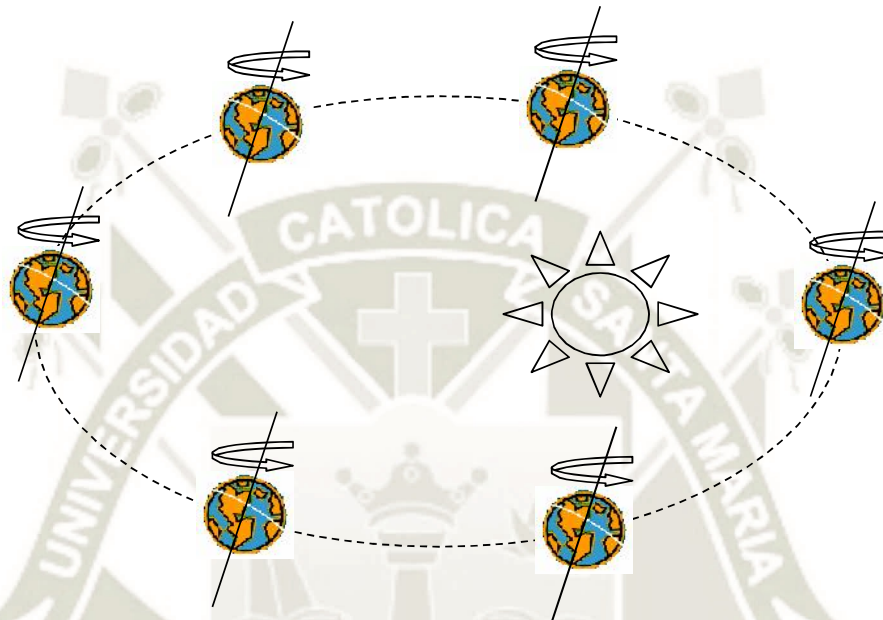


Figura 2.36: Órbita terrestre

2.8. Tipos de radiación terrestre¹⁴

La energía del sol se puede captar por medio de tres formas de radiación solar que son: radiación directa, difusa o reflejada. Figura 2.42.

- La radiación directa se compone de rayos paralelos que vienen directamente del sol. Esta radiación produce sombras en días despejados.
- La radiación difusa se compone de rayos dispersos no paralelos. Este tipo de radiación hace que el cielo se vea azul en días despejados y gris en días brumosos.
- La radiación reflejada es energía solar que llega a las superficies adyacentes, a los edificios o desde el suelo. Depende en gran medida de la forma y textura de los alrededores.

¹⁴ Estudio del comportamiento térmico de un sistema solar de calentamiento de agua aplicando el método F, tesis M.C. Vicente Flores Lara, 1995 México, D.F. IPN

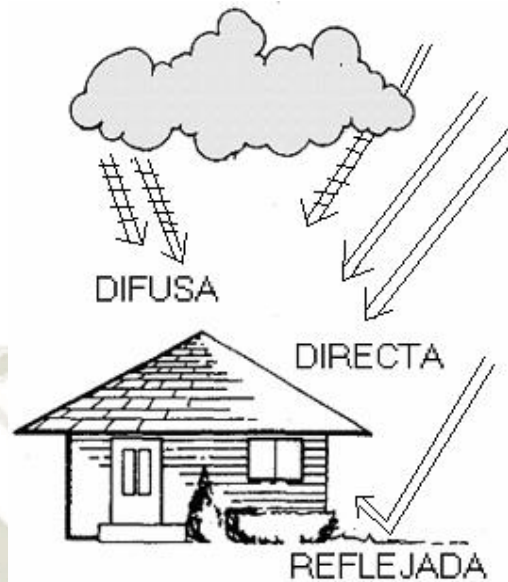


Figura 2.37: Tres clases de radiación solar

A la atmósfera terrestre llega una cantidad casi constante de radiación solar: 428 Btu/ft²h. Sin embargo, gran parte de esa energía se pierde en la atmósfera por absorción y por reflexión a medida que pasa hasta la superficie de la Tierra. Se puede perder entre 30 y 60 por ciento, dependiendo de la situación y del clima. Solamente pueden llegar a la superficie entre 170 y 300 Btu/ft²h ó 0.516 y 0.911 KW/m²h.

La pureza de la atmósfera, así como su contenido de vapor, polvo y humo, producen su efecto en la energía, lo mismo que el ángulo del sol. La cantidad relativa de radiación que recibe la Tierra disminuye cuando el sol se encuentra más bajo en el cielo.

Las nubes y las partículas que flotan en la atmósfera no sólo reflejan y absorben la energía solar, sino que también la esparcen en todas direcciones. Así, una parte de la radiación solar puede ser difusa. A diferencia de lo que ocurre con la radiación directa, la difusa es mayor en días brumosos que en días despejados. En el mejor de los casos, la radiación difusa podrá ser únicamente alrededor del 25 por ciento de la radiación disponible, o sea más o menos 75 Btu/ft²h ó 0.240 KW/m²h.

La radiación reflejada proveniente de superficies adyacentes es normalmente 20 por ciento de la radiación directa y difusa; pero, cuando la superficie está cubierta por nieve brillante, la radiación reflejada puede llegar hasta 70 por ciento.

2.9. Tipos de Colectores Solares

Un colector solar es un dispositivo que sirve para captar la radiación (energía) solar y convertirla en un calor utilizable. Actualmente hay varios tipos de colectores en uso. Los tres tipos más comúnmente usados son el colector de placa plana, el colector de tubo evacuado y el colector concentrador o seguidor.

Debido a ciertas ventajas de costo y rendimiento, el colector de placa plana es el caballo de batalla de la industria de la energía solar. Se ha usado con éxito durante muchos años y en mayor número de sistemas que cualquier otro colector.

2.9.1. Los colectores planos o de placa plana

El colector plano tiene una construcción muy elemental y su operación se puede fácilmente entender. Convierte la radiación solar en calor, en una superficie plana colocada dentro de una simple caja. Se puede instalar rígidamente en la azotea o en el patio. No requiere tecnología especial, superficies reflectoras ni lentes y tampoco mecanismos para variar su ángulo en relación con la posición del sol.

En la figura 2.43 se muestra un colector plano típico. Tiene siete partes principales, que son:

- cubierta de vidrio
- capa absorbente
- placa de absorción
- conductos para que circule el medio de transferencia
- aislamiento
- una caja para el colector
- juntas y selladores

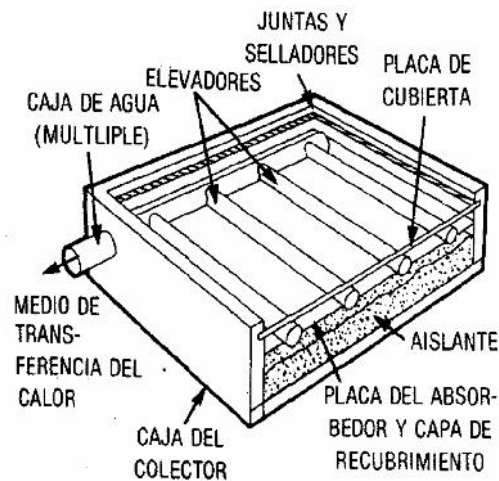


Figura 2.38: Un colector plano típico

La cubierta es una lámina de vidrio o plástico transparente colocada sobre la placa de absorción. Crea un espacio en el colector. Los rayos del sol pueden atravesar el vidrio y son transformados en energía calórica en la placa de absorción. La cubierta disminuye la cantidad de energía que escapa por el frente del colector. En algunos diseños se pone un vidrio doble o triple, como protección adicional contra las pérdidas de calor.

Los colectores planos se clasifican según el tipo de fluido de transferencia que usa con ellos. Los colectores del tipo líquido utilizan precisamente un líquido como medio de transferencia del calor. El líquido puede ser agua, fluido de silicón o algún otro fluido. Los colectores del tipo de aire emplean aire como medio de transferencia.

En la figura 2.44 se muestra un corte transversal del colector plano de tipo líquido. Se pueden ver los componentes básicos del colector y su circuito. Este tipo de colector es el que más comúnmente se usa en los sistemas que proporcionan agua caliente y calefacción. Comparado con el tipo de aire ofrece ciertas ventajas en cuanto a almacenamiento del calor y distribución del mismo, tanto en las nuevas construcciones como en las existentes.

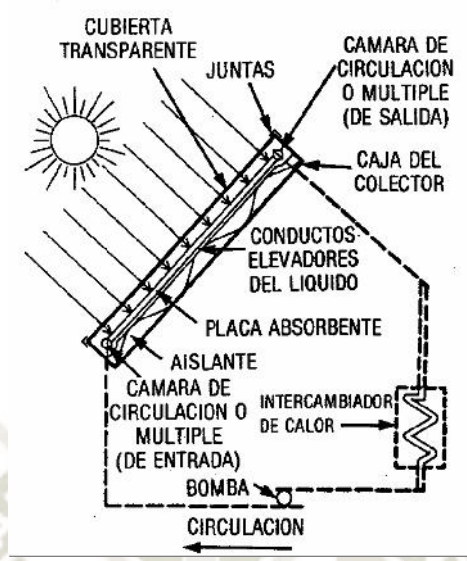


Figura 2.39: Corte transversal de un colector plano del tipo que usa un líquido. Se indican los componentes básicos del colector y su circuito

En la figura 2.45, se muestra un corte transversal de un colector plano del tipo de aire. Se pueden ver los componentes básicos del colector y su circuito. Este tipo de colector se usa más comúnmente en los sistemas de energía solar que proporcionan únicamente calefacción y refrigeración. Su empleo para calentar el agua es limitado.

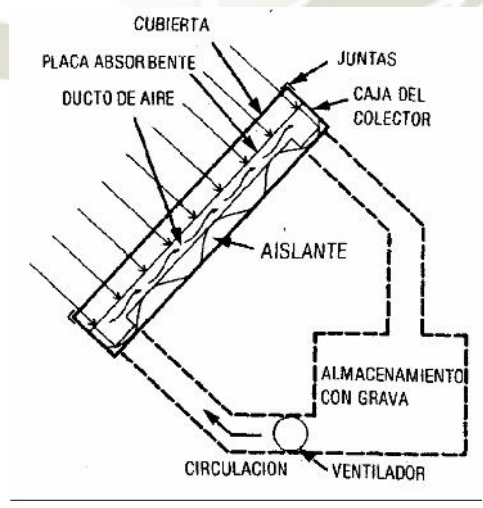


Figura 2.40: Corte transversal de un colector plano del tipo de aire. Se indican los componentes básicos del colector y su circuito

Debidamente construido e instalado, el colector plano es confiable, seguro y duradero con parámetros conocidos de rendimiento. Sin embargo, los diseños varían de uno a otro fabricante. En la tabla 2.8 hay una lista de algunos de los materiales que se están usando para los componentes del colector. Tanto el diseño como los materiales de fabricación pueden influir en el rendimiento. En secciones posteriores se detallarán los diferentes materiales empleados y se explicará cómo se debe comparar la eficacia de los diferentes diseños.

Tabla 2.8: Algunos materiales que se emplean para los componentes del colector

COMPONENTES DEL COLECTOR	MATERIALES EMPLEADOS
PLACA DE CUBIERTA	Vidrio, laminado de fibra de vidrio, hojas y películas termoplásticas.
CAPA DE LA PLACA ABSORBENTE	Óxidos metálicos selectivos, pinturas negras no selectivas.
PLACA ABSORBENTE	Cobre, aluminio, acero inoxidable o al carbón.
CONDUCTOS DEL FLUIDO	Tubo de aluminio o cobre, espacios integrales en la placa absorbente.
AISLANTE	Fibra de vidrio, espuma de vidrio, termoplásticos espumosos.
CAJA	Metal, concreto en panel, laminado de fibra de vidrio, termoplásticos extruidos.
JUNTAS	Silicón, EPDM, butilo, elastómeros PVC.
MEDIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	Aire, agua, fluido de silicón, aceites hidrocarburos, mezcla de agua y glicol.

2.9.2. Colectores de tubo evacuado

La figura 2.46 muestra un colector de tubo evacuado. Este tipo de colector emplea el vacío como aislador contra pérdida de calor y para impedir que la capa de absorción se deteriore. El colector es como un termo invertido colocado sobre un tubo doblado en forma de horquilla y lleno de líquido. El recipiente de vidrio de doble pared lleva una capa absorbedora en sus superficies interiores. La radiación solar atraviesa el vidrio exterior y cae sobre la capa, calentando el aire que contiene el recipiente. A su vez, el aire caliente eleva la temperatura del líquido que está en el tubo. El extremo del recipiente al vacío desemboca en un receptor aislado que contiene el múltiple del colector.

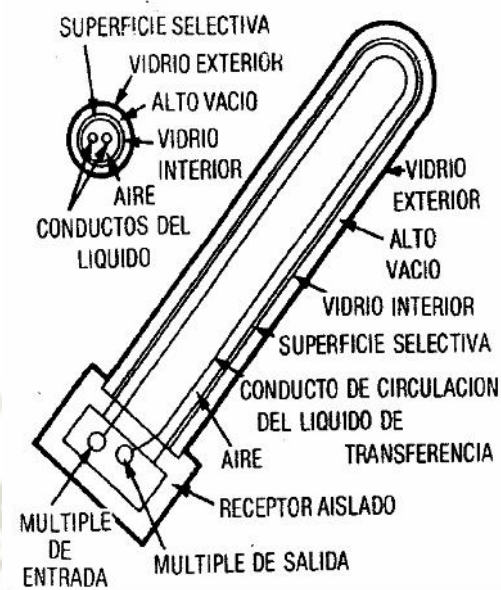


Figura 2.41: Un colector de tubo evacuado

Este diseño en particular emplea tanto aire como líquido para transferir el calor. En otros diseños la construcción es algo diferente, utilizándose únicamente aire o únicamente líquido para hacer la transferencia.

2.9.3. Colectores concentradores

A los colectores concentradores se les llama a veces colectores de enfoque o seguidores. Todos ellos funcionan según el mismo principio general. Uno o más espejos reflejan la radiación solar y la concentran en un área de absorción muy reducida. Hay muchos tipos de colector concentrador. La mayoría requieren de dispositivos mecánicos para variar la posición y seguir al sol en su recorrido a través del cielo; algunos requieren lentes ópticas especiales para concentrar la energía solar.

La figura 2.6 muestra un colector concentrador lineal. Capta la radiación solar reflejándola, mediante un gran espejo curvo, sobre un receptor que contiene el líquido de transferencia. Este tipo de colector concentrador tiene que seguir al sol y sólo puede recoger la radiación directa con cielo despejado.

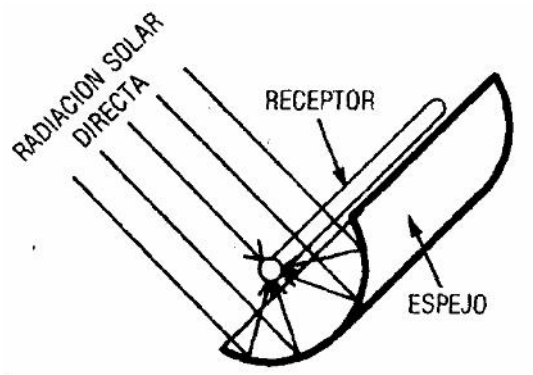


Figura 2.42: Un colector concentrador lineal

La figura 2.48 muestra un colector lineal de cubeta con lente de Fresnel. La radiación solar que atraviesa a la lente se desvía de manera que incida sobre una pequeña placa de absorción colocada en el fondo de una cubeta y que tiene un líquido de transferencia. También en este caso se requiere un mecanismo de seguimiento y sólo se puede captar la radiación directa con cielo despejado.

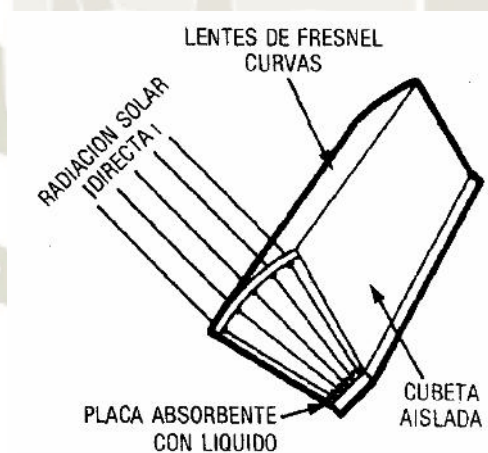


Figura 2.43: Colector lineal de cubeta con lente de Fresnel

La figura 2.49 muestra un colector compuesto, de espejos parabólicos. Esta forma especial de espejo la diseñó el Dr. Roland Winston, físico del Argonne National Laboratory. Este tipo de espejo tiene la propiedad de que capta la radiación solar tanto directa como difusa sin necesidad de seguir al sol. Puede ser necesario hacer algunos cambios periódicos en el ángulo de inclinación. En el colector que aparece en la figura, se han combinado dos espejos parabólicos compuestos con

un tubo al vacío, a fin de constituir un colector concentrador “fijo”. No todo el espejo está enfocado en un momento dado y la radiación se puede captar desde muchas direcciones.

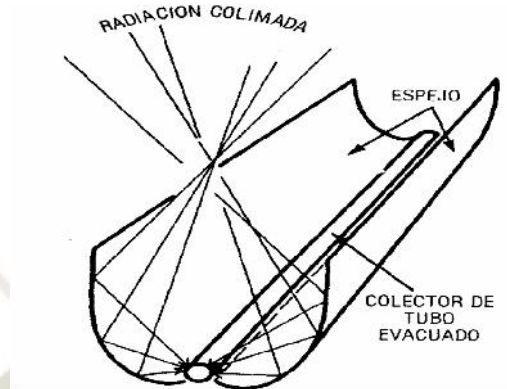


Figura 2.44: Colector parabólico compuesto, con espejos parabólicos. Este diseño utiliza dos espejos especiales y un tubo al vacío

2.10. Sistema de Generación Eléctrica Solar¹⁵

Es una fuente de energía que a través de la utilización de celdas fotovoltaicas convierte en forma directa la energía lumínica en electricidad.

Ventajas fundamentales:

- No consume combustible
- No produce polución ni contaminación ambiental
- Es silencioso
- Tiene una vida útil superior a 20 años
- Es resistente a condiciones climáticas extremas: (granizo, viento, temperatura y humedad)
- No posee partes mecánicas, por lo tanto, no requiere mantenimiento, excepto limpieza del panel
- Permite aumentar la potencia instalada mediante la incorporación de nuevos módulos.

¹⁵ Energía Solar, Selección del Equipo, Instalación y Aprovechamiento, Richards H Montgomery, LIMUSA 1994 México D.F.

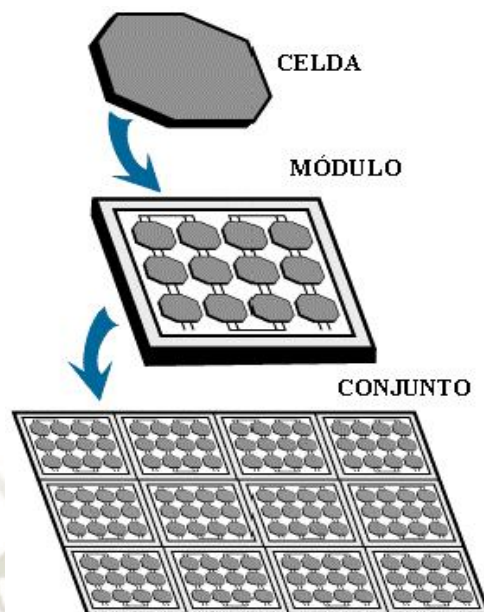


Figura 2.45: Placas fotovoltaica

2.11. Composición Física y Fabricación de los Dispositivos Fotovoltaicos

Los módulos se componen de celdas solares de silicio (o fotovoltaicas). Estas son semiconductoras eléctricas debido a que el silicio es un material de características intermedias entre un conductor y un aislante.

Presentado normalmente como arena, mediante métodos adecuados, se obtiene el silicio en su forma pura. El cristal de silicio puro no posee electrones libres y por lo tanto resulta un mal conductor eléctrico. Para cambiar esto se le agregan porcentajes de otros elementos. Este proceso se denomina dopado. Mediante el dopado de silicio con fósforo se obtiene un material con electrones libres o material con portadores de carga negativa (silicio tipo N). Realizando el mismo proceso, pero agregando Boro en lugar de fósforo, se obtiene un material de características inversas; esto es déficit de electrones o material con cargas positivas libres o huecos (silicio tipo P). Cada celda solar se compone de una delgada capa de material tipo N y otra de mayor espesor de material tipo P.

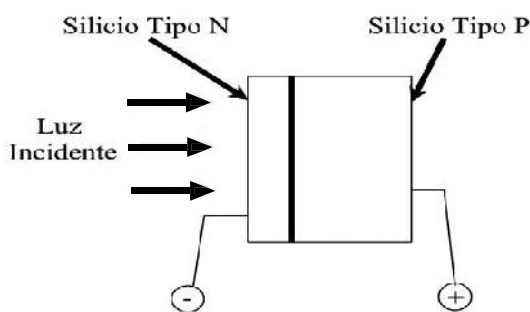


Figura 2.46: Celda solar

Al incidir la luz sobre la celda fotovoltaica, los fotones que la integran chocan con los electrones de la estructura del silicio dándoles energía y transformándolos en conductores.

Debido al campo eléctrico generado en la unión (P-N), los electrones son orientados, fluyendo de la capa "P" a la capa "N". Mediante un conductor externo, se conecta la capa negativa a la positiva, generándose así un flujo de electrones (corriente eléctrica) en la conexión. Mientras la luz siga incidiendo en la celda, el flujo de electrones se mantendrá.

La intensidad de la corriente generada, variará proporcionalmente según la intensidad de luz incidente. Cada módulo fotovoltaico se conforma de una determinada cantidad de celdas conectadas en serie.

Como vimos anteriormente, al unirse la capa negativa de una celda a la positiva de la siguiente, los electrones fluyen a través de los conductores de una celda a la otra. Este flujo se repite hasta llegar a la última celda del módulo, de la cual fluyen hacia el acumulador o batería. Cada electrón que abandona el módulo es reemplazado por otro que regresa del acumulador o batería.

El cable de la interconexión entre módulo y batería contiene el flujo, de manera tal que cuando un electrón abandona la última celda del módulo y se dirige hacia la batería, otro electrón ingresa a la primera celda desde la batería. Es por esto que se considera inagotable a un dispositivo fotovoltaico. Produce energía eléctrica como respuesta a la energía lumínica que ingresa en el mismo.

Cabe aclarar que una celda fotovoltaica no puede almacenar energía eléctrica.

2.12. Conceptos Eléctricos¹⁶.

Tensión y Corriente

La electricidad es el flujo de partículas cargadas (electrones) que circulan a través de materiales conductores (por ejemplo, cables o barras de cobre). Estas partículas ganan energía en una fuente (generador, módulo fotovoltaico, batería, etc) y transfieren esta energía a una carga (lámpara, motor, equipo de comunicaciones, etc.) y luego retornan a la fuente para repetir el ciclo.

La batería es una fuente de electricidad, o fuerza electromotriz (FEM). La magnitud de esta FEM es lo que conocemos como tensión o voltaje.

Estos conceptos se pueden comprender si se los asemeja a un sistema de bombeo de agua. Se reemplazará el flujo de electrones por agua, la fuente de tensión por una bomba de agua y el cable por una cañería. Se tendrá entonces:

Tabla 2.9: Analogía entre modelo eléctrico e hidráulico

MODELO ELÉCTRICO	MODELO HIDRÁULICO
Corriente eléctrica es el flujo de electrones a través de un cable. Se mide en Amperes.	Caudal de agua es el flujo de agua a través de una cañería. Se mide en litros/seg.
La fuente de energía eléctrica les entrega a los electrones tensión o lo que es lo mismo, capacidad de realizar trabajo. La tensión se mide en Volts.	La bomba de agua le entrega presión a la misma. La presión se mide en Kg/cm ² (o en metros de columna de agua).
Los electrones pierden su energía al pasar por una carga.	El agua pierde su presión al pasar por ej. Por una turbina.
Aquí es donde se realiza el trabajo.	Aquí es donde se realiza el trabajo.

2.12.1. Conexión en Serie

Si los elementos de un circuito se conectan en serie, significa que todo el flujo (de electrones o agua) debe pasar por cada uno de los elementos del mismo.

¹⁶ Energía Solar, Selección del Equipo, Instalación y Aprovechamiento, Richards H Montgomery, LIMUSA 1994 México D.F.

Por ejemplo, en el caso del bombeo de agua, si se la quisiera elevar hasta una altura de 20m para luego hacerla pasar por una pequeña turbina deberíamos conectar bomba y turbina en serie como indica la figura 2.52 Todo el caudal que pasa por la bomba también lo hará por la turbina y las cañerías.

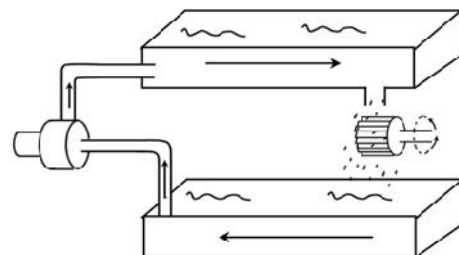


Figura 2.47: Conexión en serie

Por lo tanto, el flujo es constante en cualquier punto del circuito. Si se quisiera elevar el mismo caudal, pero al doble de altura (40m) se deberían conectar dos bombas de las mencionadas en serie.

Esto es lo mismo que decir que en una conexión en serie, las presiones se suman. Recordando el símil eléctrico, el equivalente de presión es tensión. Por lo tanto, si se tuvieran dos módulos fotovoltaicos que entregaran cada uno 12 Volts, 2 Amperes y se deseara implementar un sistema en 24 Volts y 2 Amperes se debería armar un circuito según muestra la figura.

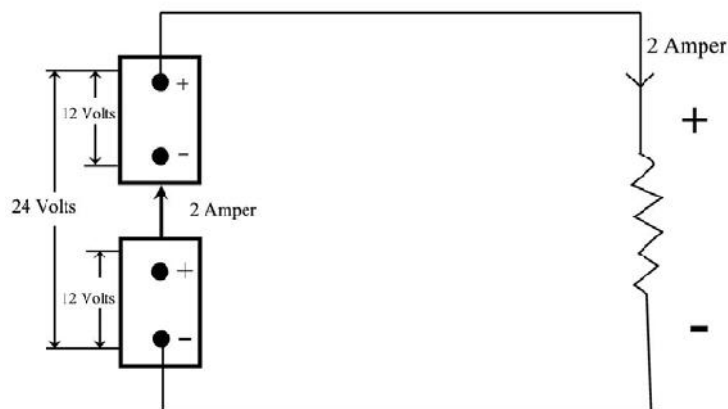


Figura 2.48: Conexión en serie para aumentar voltaje

2.12.2. Conexión en paralelo

Si la necesidad fuera la de elevar a 20 m de altura el doble del caudal mencionado anteriormente se deberían conectar dos bombas según indica la figura 7 Esta es una conexión en paralelo.

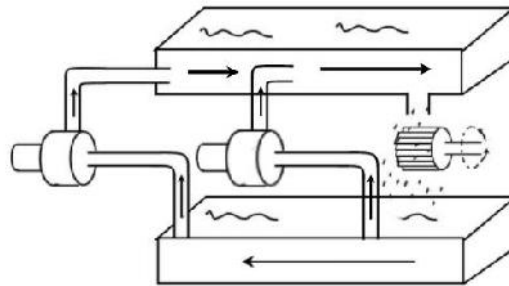


Figura 2.49: Conexión en paralelo

Cada bomba elevará un caudal similar, pasando por la turbina la suma de ambos. No hay ninguna diferencia de presión entre el agua bombeada por la primera y segunda bomba y por lo tanto toda el agua caerá desde la misma altura contribuyendo con igual presión.

Conclusión: Cuando se conectan módulos en paralelo, la corriente resultante es la suma de las corrientes de cada uno de ellos y la tensión resultante coincide con la que cada módulo entrega

2.12.3. Potencia

Es la energía suministrada en la unidad de tiempo.

$$P = V \times I$$

Donde:

P es la potencia medida en Watts

V es la tensión aplicada medida en Volts

I es la corriente que circula medida en Amperes.

Si se analizan los casos vistos en la conexión serie y en la conexión paralelo se observa que ambos manejan idénticos valores de potencia:

$$24 \text{ V} \times 2 \text{ A} = 48 \text{ W} \quad 12 \text{ V} \times 4 \text{ A} = 48 \text{ W}$$

Una misma potencia eléctrica podrá estar en forma de alta tensión y baja corriente o baja tensión y alta corriente

2.12.4. Pérdidas de potencia

Al circular agua por una cañería se producen pérdidas de carga por fricción y turbulencia. Es decir, que la cañería ofrece una cierta resistencia al pasaje del flujo de agua. De igual manera, los conductores eléctricos ofrecen una cierta resistencia al paso de la corriente de electrones y esto se traduce en una pérdida de potencia, la que debe ser tenida en cuenta al diseñar un sistema. Estas pérdidas de potencia se transforman en calor.

La resistencia de un conductor eléctrico (un cable de cobre, por ejemplo) es una propiedad que depende de las características intrínsecas del material del conductor y de su geometría. Dicho en otros términos la resistencia de un conductor varía en relación directa a su resistividad y a su longitud y en relación inversa a su sección.

Se cumple que: $V = R \times I$

Donde:

"V" es la tensión del sistema en Volts

"I" es la corriente que se transmite en Amperes

"R" es la resistencia del elemento conductor en Ohms

Esta expresión constituye la Ley de Ohms e indica que la tensión aplicada es proporcional a la resistencia y a la corriente que circula por el circuito.

Como:

Por lo tanto la pérdida de potencia será proporcional a la resistencia del conductor y al cuadrado de la corriente que circula por él.

En los sistemas fotovoltaicos que trabajan a tensiones bajas, interesa conocer qué caída de tensión se producirá al recorrer la corriente requerida, un conductor de determinada longitud y sección.

2.12.5. Cantidad de Energía

Si se tiene que mantener encendida durante 2 horas una lámpara consume 60 Watts, la energía consumida será igual a:

$$E1 = 60 \text{ Watts} \times 2 \text{ hs} = 120 \text{ Watts hora}$$

Si, además, se quisiera alimentar, con la misma fuente un televisor que consume 50 Watts, y funciona durante 3 horas, el consumo de energía del televisor será:

$$E2 = 50 \text{ Watts} \times 3 \text{ Hs} = 150 \text{ Watts hora}$$

Si E1 y E2 fueran los únicos consumos de energía de ese día, la energía total demandada a la fuente diariamente será:

$$E_{\text{tot}} = E1 + E2 \quad E_{\text{tot}} = 270 \text{ Watts hora/día}$$

Es importante familiarizarse con este concepto de demanda diaria de energía ya que como se verá más adelante, es el que se utilizará en el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos.

2.13. Curvas Características de las celdas fotovoltaicas¹⁷

Curva de corriente vs tensión (curva i-v)

La representación típica de la característica de salida de un dispositivo fotovoltaico (celda, módulo, sistema) se denomina curva corriente tensión.

La corriente de salida se mantiene prácticamente constante dentro del rango de tensión de operación y, por lo tanto, el dispositivo se puede considerar como una fuente de corriente constante en este rango Figura 2.55.

¹⁷ SINERGIA. Soluciones Integrales para Construcción CONDUMEX Energías Alternas www.condumex.com

La corriente y tensión a la cual opera el dispositivo fotovoltaico están determinadas por la radiación solar incidente, por la temperatura ambiente, y por las características de la carga conectadas al mismo

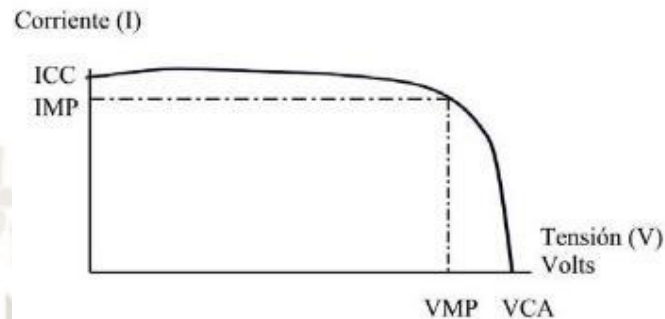


Figura 2.50: Curva de corriente vs tensión

Los valores trascendentes de esta curva son:

Corriente de cortocircuito (I_{cc}): Máxima corriente que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a tensión nula y consecuentemente a potencia nula.

Tensión de circuito abierto (V_{ca}): Máxima tensión que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a circulación de corriente nula y consecuentemente a potencia nula.

Potencia Pico (P_{mp}) Es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto $V \times I$ es máximo. Corriente a máxima potencia (I_{mp}): Corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se la utiliza como corriente nominal del mismo.

Tensión a máxima potencia (V_{mp}): tensión que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y Temp. Se la utiliza como tensión nominal del mismo.

Efecto de la intensidad de radiación solar. El resultado de un cambio en la intensidad de radiación es una variación en la corriente de salida para cualquier valor de tensión.

La corriente varía con la radiación en forma directamente proporcional. La tensión se mantiene prácticamente constante.

Efecto de la temperatura. El principal efecto provocado por el aumento de la temperatura del módulo es una reducción de la tensión en forma directamente proporcional. Existe un efecto secundario dado por un pequeño incremento de la corriente para valores bajos de tensión.

Es por ello que para lugares con temperaturas ambientes muy altas son aptos módulos que poseen mayor cantidad de celdas en serie para que los mismos tengan la suficiente tensión de salida para cargar baterías

2.14. Conformación de los Sistemas de Generación

2.14.1. Directamente conectados a una carga

Es el sistema más simple en el cual el generador fotovoltaico se conecta directamente a la carga, normalmente un motor de corriente continua. Se utiliza fundamentalmente en bombeo de agua. Al no existir baterías ni componentes electrónicos aumenta la confiabilidad, pero resulta difícil mantener una performance eficiente a lo largo del día.

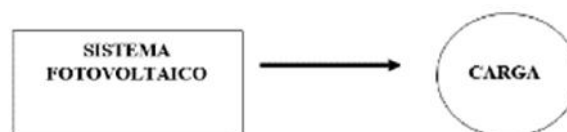


Figura 2.51: Sistema fotovoltaico directo

2.14.2. Sistema módulo batería

Se puede utilizar un módulo fotovoltaico para reponer simplemente la auto descarga de una batería que se utilice para el arranque de un motor, por ejemplo. Para ello pueden utilizarse los módulos de silicio amorfo o Monocristalino.

Otra importante aplicación en la que el sistema fotovoltaico se conecta en forma directa a la batería es en sistemas de electrificación rural de pequeña potencia.

En estos casos se utilizan uno o dos módulos de silicio Monocristalino de 30 celdas cada uno conectados en paralelo para lograr la potencia deseada

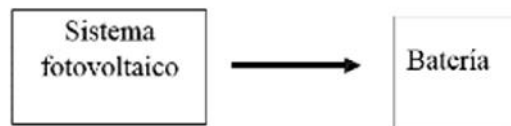


Figura 2.52: Sistema fotovoltaico - batería

2.14.3. Sistema fotovoltaico, batería y regulador

Es la configuración utilizada con módulos de 33 o 36 celdas en la cual se conecta el generador fotovoltaico a una batería a través de un regulador para que esta no se sobrecargue. Las baterías alimentan cargas en corriente continua.

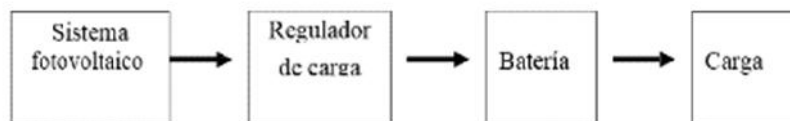


Figura 2.53: Sistema fotovoltaico, batería y regulador

2.14.4. Batería, inversor

Cuando se necesite energía en corriente alterna se podrá incluir un inversor. La potencia generada en el sistema fotovoltaico podrá ser transformada íntegramente en corriente alterna o podrán alimentarse simultáneamente cargas de corriente continua (C.C.) y de corriente alterna (C.A.).

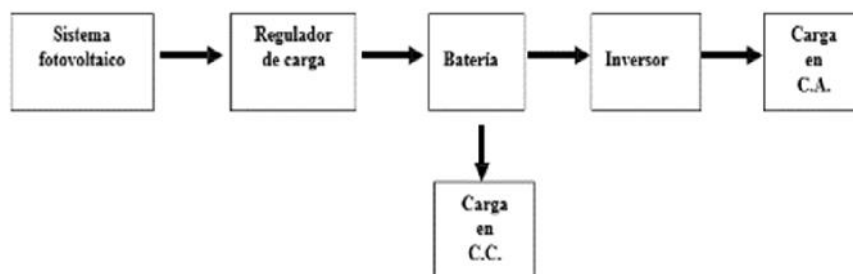


Figura 2.54: Sistema fotovoltaico inversor

2.14.5. Reguladores de carga de baterías

Existen diversos tipos de reguladores de carga.

El diseño más simple es aquel que involucra una sola etapa de control. El regulador monitorea constantemente la tensión de batería.

Cuando dicha tensión alcanza un valor para el cual se considera que la batería se encuentra cargada (aproximadamente 14.1 Volts para una batería de plomo ácido de 12 Volts nominales) el regulador interrumpe el proceso de carga. Esto puede lograrlo abriendo el circuito entre los módulos fotovoltaicos y la batería (control tipo serie) o cortocircuitando los módulos fotovoltaicos (control tipo shunt). Cuando el consumo hace que la batería comience a descargarse y por lo tanto a bajar su tensión, el regulador reconecta el generador a la batería y vuelve a comenzar el ciclo.

En el caso de reguladores de carga cuya etapa de control opera en dos pasos, la tensión de carga a fondo de la batería puede ser algo mayor a 14,1 Volts.

El regulador queda definido especificando su nivel de tensión (que coincidirá con el valor de tensión del sistema) y la corriente máxima que deberá manejar.

Para ilustrarlo con un ejemplo sencillo, se supone que se tiene que alimentar una vivienda rural con consumo en 12 Vcc. y para ello se utilizan dos módulos fotovoltaicos.

La corriente máxima de estos módulos es $I_{mp} = 2,75 \text{ A}$ y la corriente de cortocircuito $I_{cc} = 3 \text{ A}$.

Al estar los módulos en paralelo la corriente total máxima que deberá controlar el regulador será:

$$I_{\text{total}} = 2 \times 3 \text{ A} = 6 \text{ A}$$

Se considera la corriente de cortocircuito para contemplar la peor situación. El regulador a elegir, por lo tanto, deberá estar diseñado para trabajar en una tensión de 15 Volts (tensión de trabajo de los módulos) y manejar una corriente de 6 A.

2.15. Baterías.

La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo fotovoltaico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

Interacción entre módulos fotovoltaicos y baterías

Normalmente el banco de baterías y los módulos fotovoltaicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas.

La siguiente figura 2.60 muestra cómo se distribuye la entrega de energía a la carga a lo largo del día. Durante la noche toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías.

Finalmente, durante la tarde, la corriente generada decrece y cualquier diferencia con la demanda la entrega a la batería. En la noche, la generación es nula y todo el consumo lo afronta la batería.

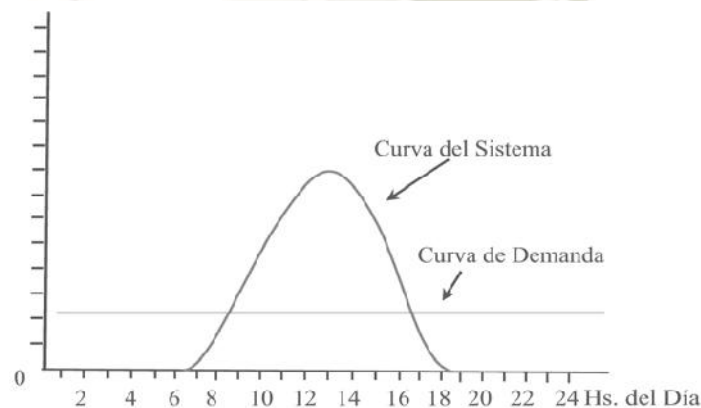


Figura 2.55: Curva de demanda de la batería

Tipos de Baterías:

- **Las baterías de plomo - ácido** se aplican ampliamente en los sistemas de generación fotovoltaicos. Dentro de la categoría plomo - ácido, las de plomo - antimonio, plomo - selenio y plomo - calcio son las más comunes.

La unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 Volts. Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga, si está cargando, descargando o en circuito abierto.

En general, la tensión de una celda varía entre 1,75 Volts y 2,5 Volts, siendo el promedio alrededor de 2 Volts, tensión que se suele llamar nominal de la celda. Cuando las celdas de 2 Volts se conectan en serie (POSITIVO A NEGATIVO) las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose de esta manera, baterías de 4, 6, 12 Volts, etc.

Si las baterías están conectadas en paralelo (POSITIVO A POSITIVO Y NEGATIVO A NEGATIVO) las tensiones no cambian, pero se sumaran sus capacidades de corriente. Solo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad.

Se puede hacer una clasificación de las baterías en base a su capacidad de almacenamiento de energía (medido en Ah a la tensión nominal) y a su ciclo de vida (número de veces en que la batería puede ser descargada y cargada a fondo antes de que se agote su vida útil). La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. La capacidad nominal que la caracteriza corresponde a un tiempo de descarga de 10 horas.

- **Baterías selladas. Gelificadas:** Estas baterías incorporan un electrolito del tipo gel con consistencia que puede variar desde un estado muy denso al de consistencia similar a una jalea. No se derraman, pueden montarse en casi cualquier posición y no admiten descargas profundas.

Electrolito absorbido: El electrolito se encuentra absorbido en una fibra de vidrio microporoso o en un entramado de fibra polimérica. Al igual que las

anteriores no se derraman, admiten cualquier posición y admiten descargas moderadas.

Tanto estas baterías como las Gelificadas no requieren mantenimiento en forma de agregado de agua, no desarrollan gases evitando el riesgo de explosión, pero ambas requieren descargas poco profundas durante su vida de servicio.

Níquel – Cadmio: Las principales características son:

1. El electrolito es alcalino
2. Admiten descargas profundas de hasta el 90% de la capacidad nominal
3. Bajo coeficiente de autodescarga
4. Alto rendimiento ante variaciones extremas de temperatura
5. La tensión nominal por elemento es de 1,2 Volts
6. Alto rendimiento de absorción de carga (mayor al 80 %)
7. Muy alto costo, comparadas con las baterías ácidas

Al igual que las baterías de plomo - ácido, estas se pueden conseguir en las dos versiones, standard y selladas, utilizando la más conveniente según la necesidad de mantenimiento admisible para la aplicación prevista. Dado su alto costo, no se justifica su utilización en aplicaciones rurales.

2.16. Arreglos Fotovoltaicos

Como se sabe, la energía solar fotovoltaica se produce al captar la radiación del sol mediante paneles solares que a su vez contienen celdas fotovoltaicas.

Es por la importancia que este elemento representa al sistema fotovoltaico en general, que se debe de elegir la mejor y adecuada tecnología para el sistema que se requiere instalar, con la finalidad de que pueda cumplir con su función de la manera más eficiente posible, generando energía eléctrica.

Para poder generar la energía requerida en base al recurso solar fotovoltaico existen dos formas de montar los módulos: en serie y paralelo. Cuando los módulos se montan en serie, las tensiones se suman y permanece constante la corriente; por otro lado, si estos son montados de manera paralela las corrientes

se suman y la tensión permanece constante. Así mismo, sólo se montan en serie los paneles que tengan la misma corriente de funcionamiento y en paralelo los que tengan la misma tensión de funcionamiento¹⁸.

2.17. Reguladores de Carga

Se encarga de dirigir aquella electricidad generada, que sobrepasa la demanda, a la batería para su almacenamiento. Permite que la batería dure más tiempo, asimismo regula la carga de entrada y salida de esta, protegiéndola de los riesgos de sobrecarga¹⁵. Debido a que la recepción de energía solar únicamente se da en ciertos momentos del día, es que la batería se encuentra sometida a ciclos de carga y descarga, para lo cual requiere necesariamente de un regulador de la carga, para poder funcionar correctamente y no presentar ningún daño por la variación de la carga. Esta cuenta con sensores de temperatura, además indica si la batería se encuentra cargando o si ya completó su carga o no.

2.18. Acumuladores o Baterías

La batería o acumulador es un dispositivo electroquímico capaz acumular energía en forma química y transformarla en energía eléctrica. La batería utilizada para aplicaciones fotovoltaicas es la recargable.

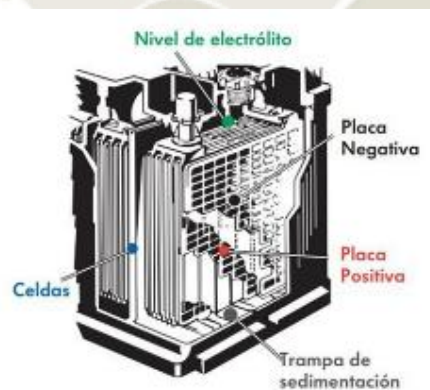


Figura 2.56: Partes de una batería¹⁹

¹⁸ Cfr. Labournet y Viloz 2010:110

¹⁹ Funcionamiento y sistema de carga". Catálogo de baterías Hellamex. México

Las partes esenciales para explicar su funcionamiento son las siguientes:

- **Placas:** Son conductores metálicos de diferente polarización, con lo cual permiten un flujo de electrones.
- **Electrólito:** Puede ser líquido, sólido o en pasta, es un conductor iónico que se descompone al pasar la corriente eléctrica.

El voltaje o la tensión de la batería es función del número de celdas electroquímicas, siendo el voltaje de cada celda de 2V.

Los principales parámetros que determinan el comportamiento de la batería son:

- **Capacidad de descarga (Ah):** Es el producto de la intensidad de descarga por el tiempo que actúa. Se expresa en Amperios Hora
- **Profundidad de la descarga:** Es el porcentaje de la capacidad total de la batería que es utilizada durante un ciclo de carga/descarga. Para aplicaciones fotovoltaicas es común utilizar baterías de descarga profunda, es decir, descargas entre 75% - 80%.
- **Vida útil en ciclos:** Se expresa en ciclos, es decir, la cantidad de cargas/descargas que llega a tener la batería. La vida útil depende del espesor de las placas, concentración del electrolito y principalmente de la profundidad de descarga.

La nomenclatura usual es XX Ah Cyy, donde XX es la capacidad de la batería e yy es el tiempo de descarga de la misma. Estos parámetros deben ser indicados por el fabricante.

Los principales tipos de batería disponibles en el mercado son los mencionados a continuación²⁰:

Plomo-Ácido: Los baterías para aplicaciones en las cuales el peso y el tamaño no son factores decisivos.

²⁰ Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp” Minem 2005

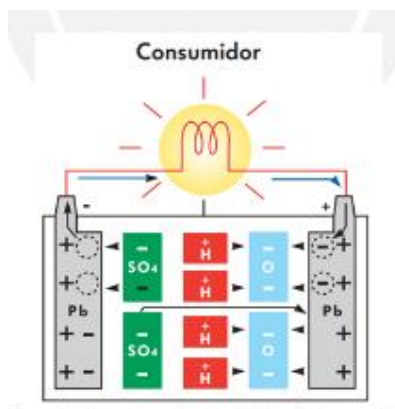


Figura 2.57: Funcionamiento de batería plomo-ácido

Las capacidades de servicio típicas son de 1-10,000 Ah. Requieren mantenimiento considerable y se debe tener proporcionar una adecuada ventilación y protección contra ambientes corrosivos, debido al electrolito (ácido). Se subdividen en tres tipos de categoría plomo-ácido:

- Plomo-Calcio.
- Plomo-Selenio.
- Plomo-Antimonio. Siendo la última la más utilizada

Níquel-Cadmio: Se caracterizan por tener un electrolito alcalino, bajo coeficiente de autodescarga, alto rendimiento de absorción de carga (mayor a 80%) y alto costo comparativo.

El espesor de cada placa debe exceder 2mm y la cantidad de electrolito debe exceder 1,15 dm³/celda y por cada 100 Ah de capacidad nominal en 20 horas.

Se utilizará un regulador de dos etapas, es decir, controlará la carga y descarga de la batería.

El regulador quedará definido conociendo la tensión del sistema y la corriente máxima que deberá manejar.

La unidad de control puede estar equipada con un microprocesador que permite adaptar las características de producción del campo fotovoltaico a las exigencias de la carga.



Figura 2.58: Tensiones en la batería 12V

Si se utilizan relés electromecánicos, la reposición de la carga debe retardarse entre 1 y 5 minutos.

Las tensiones de desconexión, reconexión y alarma deben tener una precisión de $\pm 0,5\%$ (± 10 mV/celda, o ± 60 mV/batería de 12 V).

Las cajas de los reguladores de carga deben como mínimo proveer protección IP 32

2.19. Inversores

Los inversores transforman la corriente continua en corriente alterna. Se basan en dispositivos electrónicos que permiten interrumpir y conmutar su polaridad.

Para las aplicaciones de una instalación aislada, deben ser autoconmutados, es decir, no utilizan energía de una fuente exterior.

Debido a que se alimentarán cargas del tipo electrónico, es recomendable utilizar un inversor que genere una onda senoidal pura, es decir, muy similar a la de la red eléctrica.

De acuerdo al Reglamento técnico “Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp”, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- La distorsión armónica total en tensión del inversor debe ser inferior a 5 % en relación a la tensión fundamental RMS.
- La frecuencia nominal se debe mantener entre ± 5 % del valor nominal.
- La caja del inversor debe cumplir con un índice de protección de IP 54.

Deben arrancar y operar todas las cargas especificadas en la instalación y entregar la potencia nominal de forma continua.

El autoconsumo del inversor sin carga conectada no deberá ser mayor al 2% de la potencia nominal de salida; mientras que las pérdidas diarias por el inversor no deberán exceder el 5% del consumo total diario.

El inversor se debe proteger antes las siguientes circunstancias:

- Tensión de entrada fuera del rango de operación.
- Desconexión de las baterías.
- Cortocircuito en la salida de corriente alterna.
- Sobrecargas que excedan la duración y límites permitidos.

La superficie del inversor debe ser de material inoxidable o, en su defecto, arenado y pintados al horno, con doble base anticorrosiva (epóxica) o similar.

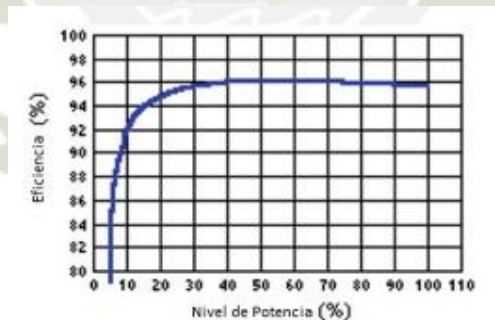


Figura 2.59: Curva típica de eficiencia del Inversor²¹

2.20. Conexiones y Dimensionamiento de Cable

Los cables para la instalación deben contar con el aislamiento adecuado, la selección de los mismos depende de la aplicación y del tipo de canales utilizados.

²¹ Photovoltaic Industrial Systems⁷ Autor: Papadopoulou. Berlin 2011.

Para realizar los cálculos se seguirán las indicaciones de la Norma Técnica Peruana (NTP) y del Código Nacional de Electricidad (CNE).

Las secciones de los conductores deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3 % entre el generador fotovoltaico y el regulador de carga, inferiores al 1 % entre la batería y el regulador de carga, e inferiores al 5 % entre el regulador de carga y las cargas. Todos estos valores corresponden a la condición de máxima corriente.

Los cables expuestos a la intemperie deberán cumplir la norma internacional IEC 60811: "Métodos de ensayo comunes para materiales de aislamiento y cubierta de cables eléctricos"²².

2.21. Normatividad Peruana e Internacional referente a Energías Renovables

En la actualidad en el contexto nacional como en el internacional existen normativas para promover la investigación y uso adecuado de las energías renovables, con el fin de satisfacer la demanda energética.

En el Perú, las siguientes instituciones se encargan de regular las normativas legales vigentes:

- Ministerio de Energías y Minas (MINEM): Promueve e impulsa el desarrollo de las energías renovables, asimismo establece la reglamentación vigente del mercado.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN): Regula y supervisa que las empresas del sector eléctrico, minero e hidrocarburos cumplan las disposiciones legales de las actividades que realizan.
- Comité de Operación Económica del Sistema (COES): Vela por la seguridad del abastecimiento de energía eléctrica, asegurando suministrar energía de calidad.
- Instituto de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad

²² Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos hasta 500 Wp" Minem 2005

Intelectual (INDECOPÍ): Se encargan de elaborar las Nomas Técnicas Peruanas a través de los comités técnicos de normalización, en este caso crean las normas técnicas peruanas aplicadas a los sistemas solares.

Dentro de las normativas legales referentes al uso de energías renovables en el país, se encuentran:

- Decreto Legislativo 1002, Decreto Legislativo de promoción de la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables.
- Decreto Supremo N° 024-2013-EM , el cual modifica algunos artículos del Decreto Supremo N° 012-2011-EM, Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables, emitido en marzo del 2011 y que, a la vez, reemplaza al reglamento original, aprobado mediante Decreto Supremo N° 050-2008.
- R.D.N°003-2007-EM-DGE. - Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus Componentes para Electrificación Rural.
- NTP 399.400.2001: Colectores solares. Métodos de ensayo para determinar la eficiencia.
- NTP 399.403.2006: Sistemas Fotovoltaicos hasta 500 Wp. Especificaciones técnicas y método para calificación energética.
- NTP 399.404.2006: Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Fundamentos para su dimensionado eficiente.
- NTP 399.482.2007: Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Procedimiento para su instalación eficiente.
- NTP 399.405.2007: Sistemas de Calentamiento de Agua con Energía Solar. Definición y pronóstico anual de su rendimiento mediante ensayos en exterior.
- NTP 399.484.2008: Sistemas de Calentamiento de agua con energía solar (SCAES). Límites y Etiqueto.
- Decreto Supremo N° 064-2010-EM - Política Energética Nacional Del Perú 2010-2040.

En el marco internacional, la normativa para el uso de energías renovables es la siguiente:

El Protocolo de Kioto tiene su origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que fue aprobado en la Sede de las Naciones Unidas en 1992. En 1997 se adopta oficialmente el protocolo de Kioto en la conferencia de las partes (CP 3).

El Protocolo de Kioto marca objetivos obligatorios relativos a las emisiones de GEI's para las principales economías mundiales que lo han aceptado. Estos objetivos individuales van desde una reducción del 8% hasta 10% respecto a las emisiones del año base, que ha sido fijado en 1990.

El Protocolo de Kioto se aplica a las emisiones de seis gases de efecto invernadero:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄);
- Óxido nitroso (N₂O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆).
- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL):

Entre los mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto se encuentra el mecanismo de desarrollo limpio (MDL), se trata de un mecanismo dirigido a países con compromisos de reducción de emisiones, de manera que puedan vender o compensar las emisiones equivalentes que han sido reducidas a través de proyectos realizados en otros países sin compromisos de reducción, generalmente en vías de desarrollo.

CAPITULO III:

DISEÑO DEL SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICOS PARA LOS LABORATORIOS DE ELECTRICIDAD DEL PABELLÓN R DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1. Condiciones del lugar de instalación

El sistema se instalará en la azotea del pabellón R de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, la cual se encuentra en Urb. San José s/n Umacollo, Arequipa - Perú.

Las condiciones climáticas son las obtenidas de la Fuentes de los datos de la pagina <https://es.weatherspark.com/y/25845/Clima-promedio-en-Arequipa-Peru>.

Este informe ilustra el clima típico en Arequipa, basado en un análisis estadístico de informes climatológicos históricos por hora y reconstrucciones de modelos del 1 de enero de 1980 al 31 de diciembre de 2016.

a) Temperatura

La temporada templada dura 2,2 meses, del 26 de agosto al 1 de noviembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 22 °C. El día más caluroso del año es el 28 de septiembre, con una temperatura máxima promedio de 23 °C y una temperatura mínima promedio de 10 °C.

La temporada fresca dura 2,0 meses, del 10 de enero al 12 de marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 21 °C. El día más frío del año es el 19 de julio, con una temperatura mínima promedio de 9 °C y máxima promedio de 22 °C.

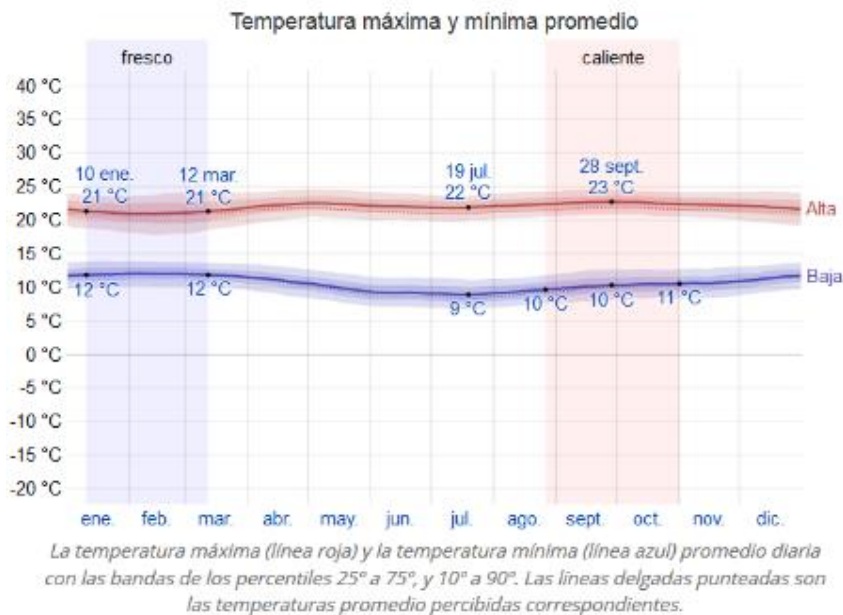


Figura 3.1: Temperatura máxima y mínima promedio

Fuente.-<https://es.weatherspark.com/y/25845/Clima-promedio-en-Arequipa-Peru>

b) Nubes

En Arequipa, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía extremadamente en el transcurso del año.

La parte más despejada del año en Arequipa comienza aproximadamente el 18 de abril; dura 6,2 meses y se termina aproximadamente el 23 de octubre. El 4 de agosto, el día más despejado del año, el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 74 % del tiempo y nublado o mayormente nublado el 26 % del tiempo.

La parte más nublada del año comienza aproximadamente el 23 de octubre; dura 5,8 meses y se termina aproximadamente el 18 de abril. El 10 de febrero, el día más nublado del año, el cielo está nublado o mayormente nublado el 78 % del tiempo y despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 22 % del tiempo.

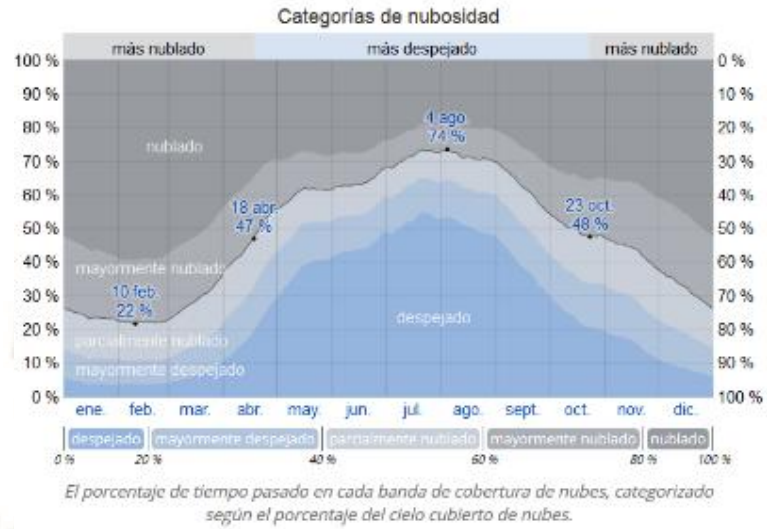


Figura 3.2: Categorías de nubosidad

c) Sol

La duración del día en Arequipa varía durante el año. En 2018, el día más corto es el 21 de junio, con 11 horas y 9 minutos de luz natural; el día más largo es el 21 de diciembre, con 13 horas y 6 minutos de luz natural.



Figura 3.3: Horas de luz natural y crepúsculo

La salida del sol más temprana es a las 5:03 el 23 de noviembre, y la salida del sol más tardía es 1 hora y 12 minutos más tarde a las 6:15 el 7 de julio. La puesta del sol más temprana es a las 17:20 el 3 de junio, y la puesta del sol más tardía es 1 hora y 5 minutos más tarde a las 18:25 el 19 de enero.

d) Viento

Esta sección trata sobre el vector de viento promedio por hora del área ancha (velocidad y dirección) a 10 metros sobre el suelo. El viento de cierta ubicación depende en gran medida de la topografía local y de otros factores; y la velocidad instantánea y dirección del viento varían más ampliamente que los promedios por hora.

La velocidad promedio del viento por hora en Arequipa no varía considerablemente durante el año y permanece en un margen de más o menos 0,8 kilómetros por hora de 10,1 kilómetros por hora.

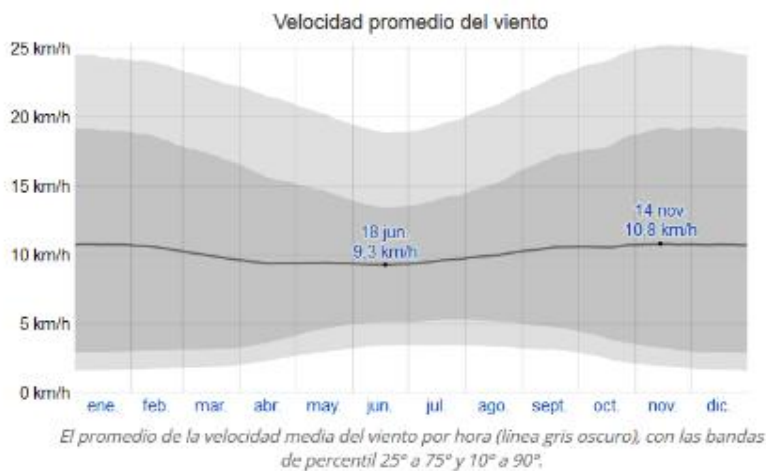


Figura 3.4: Velocidad promedio del viento

La dirección predominante promedio por hora del viento en Arequipa varía durante el año.

El viento con más frecuencia viene del norte durante 6,0 meses, del 17 de abril al 16 de octubre, con un porcentaje máximo del 52 % en 28 de junio. El viento con más frecuencia viene del sur durante 6,0 meses, del 16 de octubre al 17 de abril, con un porcentaje máximo del 57 % en 1 de enero.

e) Energía solar

Esta sección trata sobre la energía solar de onda corta incidente diaria total que llega a la superficie de la tierra en una área amplia, tomando en cuenta las variaciones estacionales de la duración del día, la elevación del sol sobre el horizonte y la absorción de las nubes y otros elementos atmosféricos. La radiación de onda corta incluye luz visible y radiación ultravioleta.

La energía solar de onda corta incidente promedio diaria tiene variaciones estacionales leves durante el año.

El período más resplandeciente del año dura 2,5 meses, del 3 de octubre al 19 de diciembre, con una energía de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado superior a 7,6 kWh. El día más resplandeciente del año es el 14 de noviembre, con un promedio de 8,2 kWh.

El periodo más obscuro del año dura 2,7 meses, del 6 de mayo al 30 de julio, con una energía de onda corta incidente diaria promedio por metro cuadrado de menos de 6,1 kWh. El día más obscuro del año es el 20 de junio, con un promedio de 5,5 kWh.

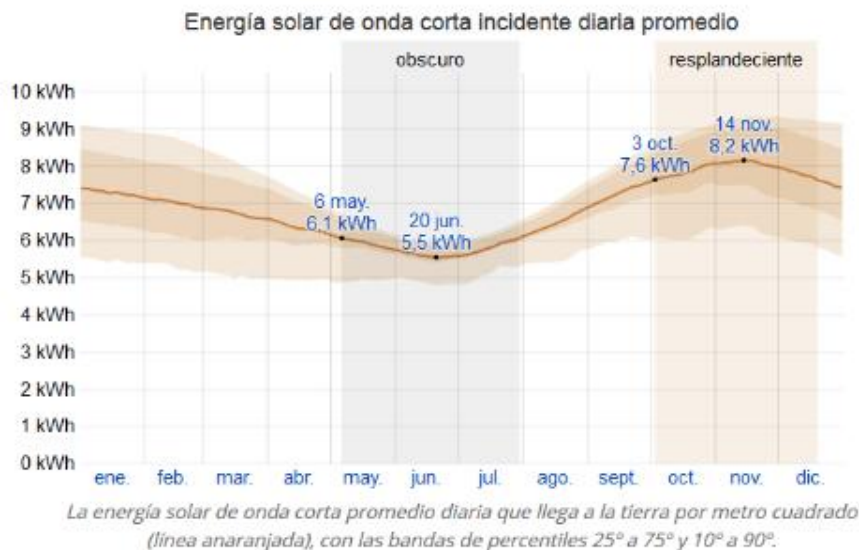


Figura 3.5: Energía solar de onda corta incidente diaria promedio

Todos los datos relacionados con la posición del sol (salida del sol y puesta del sol) se calculan usando fórmulas astronómicas del libro *Astronomical Tables of the Sun, Moon and Planets*, de Jean Meeus.

Todos los datos climatológicos, incluida la nubosidad, precipitación, velocidad y dirección del viento y flujo solar vienen de MERRA-2 Modern-Era Retrospective Analysis de NASA. Este reanálisis combina una variedad de medidas de área amplia en un moderno modelo meteorológico mundial para reconstruir la historia del clima, hora por hora, de todo el mundo en una cuadrícula con bloques de 50 km.²³

3.2. Ubicación

La Universidad Católica De Santa Maria se ubica en la Urb. San José, San José s/n, Yanahuara, cuenta con un Campus de un área aproximada 75,600 m²

En la figura siguiente se muestra una vista en planta del campus de la UCSM, si bien es cierto se puede apreciar una gran área disponible en los techos de los diferentes pabellones, en este estudio solo se considerara el área de la azotea del pabellón R.

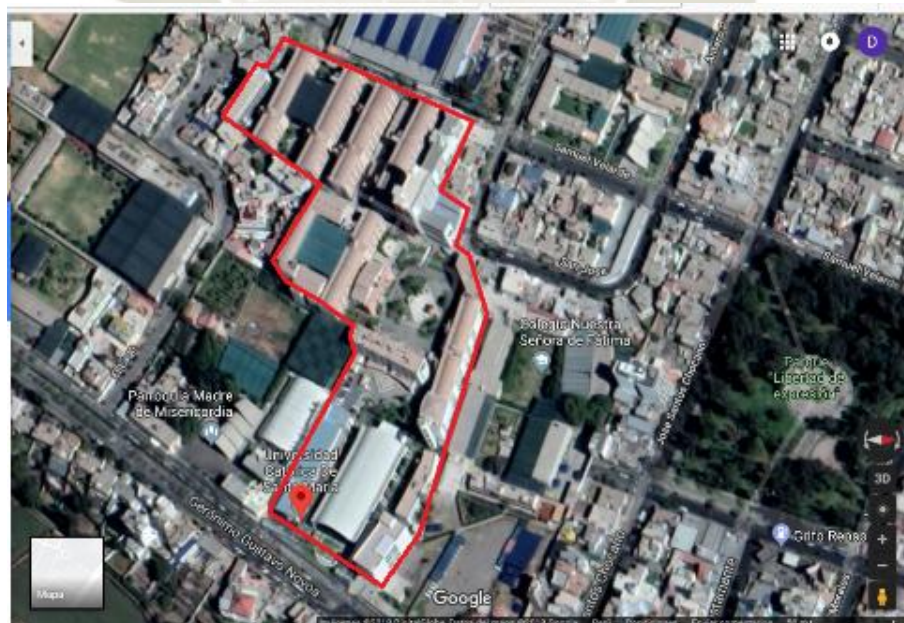


Figura 3.6: Vista en planta del campus de la UCSM

²³<https://es.weatherspark.com/y/25845/Clima-promedio-en-Arequipa-Peru>

En la figura siguiente se muestra una vista en planta del pabellón R de la UCSM, que tiene un área total libre en la azotea de 430 m². El cual se piensa utilizar para los paneles fotovoltaicos.



Figura 3.7: Vista en planta del Pabellón R de la UCSM

3.3. Selección del Tipo de Lámpara.

Se seleccionó lámparas LED: LAMPARA LED TUBO EM 9W de potencia de 600mm, se adjunta la ficha técnica de descripción y dimensiones de dicha lámpara.

La luminaria elegida para los laboratorios de electricidad son LUMINARIA CUADRADA TIPO REJILLA 0.60x0.60, PHILIPS TCS165 4xLED 9W, para disminuir el deslumbramiento y porque tiene una mejor distribución del flujo luminoso.

MASTER LEDtubo EM/230V

Philips MASTER LEDtube integra una fuente de luz LED en un formato de fluorescente tradicional. Su exclusivo diseño crea un aspecto visual perfectamente homogéneo que no puede diferenciarse del fluorescente tradicional. Perfecto para quienes buscan rentabilidad con un presupuesto limitado al sustituir lámparas para obtener mejor iluminación y mayor vida útil.

Beneficios

- Coste operativo reducido gracias al menor consumo de energía
- Menor coste de mantenimiento ya que dura entre 2 y 3 veces más que los tubos fluorescentes normales
- Se trata del método más rápido y sencillo de actualizar las luminarias existentes a la tecnología LED; proceso de instalación 100% seguro

Características

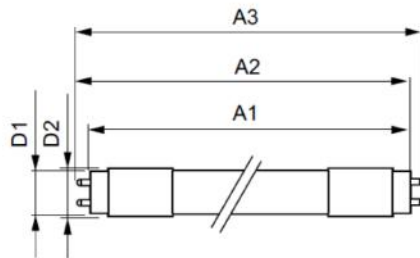
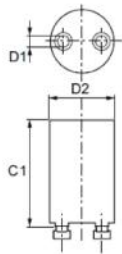
- Consumo de energía de solo un 50% en comparación con los tubos fluorescentes
- Duración extremadamente prolongada de 40.000 horas
- Retrocompatible con lámparas T8 existentes en instalaciones de balastos EM
- Funciones totalmente seguras y dispositivo protector EM
- Sin mercurio

Aplicaciones

- Aparcamientos al aire libre / aparcamientos cubiertos
- Almacenes/ cámaras frías / señalización
- Zonas de transporte y distribución



Plano de dimensiones



Product	D1	D2	C1
MASTER LEDtube Starter EMP	3 mm	21.5 mm	34.5 mm

Product	D1	D2	A1	A2	A3
MAS LEDtube 1200mm UO 16W 830 T8	25.78 mm	28 mm	1198.2 mm	1205.3 mm	1212.4 mm
MAS LEDtube 1500mm UO 24W 830 T8	25.78 mm	28 mm	1498.7 mm	1505.8 mm	1512.9 mm
MAS LEDtube 1200mm HO 14W830 T8	25.78 mm	28 mm	1198.2 mm	1205.3 mm	1212.4 mm
MAS LEDtube 900mm 15W840 T8 RN	25.68 mm	28 mm	893.3 mm	900.4 mm	907.5 mm
MAS LEDtube 600mm 9W 830 T8 RS	25.7 mm	28 mm	588.5 mm	595.5 mm	602.5 mm
MAS LEDtube 1200mm HO 14W865 T8	25.78 mm	28 mm	1198.2 mm	1205.3 mm	1212.4 mm
MAS LEDtube 1600mm UO 24W 865 T8	25.78 mm	28 mm	1498.7 mm	1505.8 mm	1512.9 mm
MAS LEDtube 1500mm HO 20W830 T8	25.78 mm	28 mm	1500 mm	1507.1 mm	1514.2 mm
MAS LEDtube 1500mm UO 24W 840 T8	25.78 mm	28 mm	1498.7 mm	1505.8 mm	1512.9 mm
MAS LEDtube 1200mm UO 16W 865 T8	25.78 mm	28 mm	1198.2 mm	1205.3 mm	1212.4 mm
MAS LEDtube 600mm HO 8W865 T8	25.78 mm	28 mm	588.5 mm	595.5 mm	602.5 mm
MAS LEDtube 1200mm HO 14W840 T8	25.78 mm	28 mm	1198.2 mm	1205.3 mm	1212.4 mm
MAS LEDtube 600mm HO 8W830 T8	25.78 mm	28 mm	588.5 mm	595.5 mm	602.5 mm
MAS LEDtube 900mm HO 12W865 T8	25.78 mm	28 mm	893.3 mm	900.4 mm	907.5 mm
MAS LEDtube 1500mm HO 20W840 T8	25.78 mm	28 mm	1500 mm	1507.1 mm	1514.2 mm
MAS LEDtube 1200mm UO 16W 840 T8	25.78 mm	28 mm	1198.2 mm	1205.3 mm	1212.4 mm
MAS LEDtube 1500mm HO 20W865 T8	25.78 mm	28 mm	1500 mm	1507.1 mm	1514.2 mm
MAS LEDtube 900mm HO 12W840 T8	25.78 mm	28 mm	893.3 mm	900.4 mm	907.5 mm
MAS LEDtube 600mm HO 8W840 T8	25.78 mm	28 mm	588.5 mm	595.5 mm	602.5 mm

3.4. Cálculo de iluminación.

El diseño del sistema de iluminación para cada ambiente del laboratorio de electricidad del Pabellón R, contempla la iluminancia mantenida (E) necesaria para cada una de los ambientes (planta sin escala).

Los niveles de Iluminancia mostrados, fueron extraídos del Reglamento Nacional de Edificaciones (III.4. Instalaciones eléctricas y mecánicas) y corresponden a las mínimas iluminancias admisibles para cada aplicación.

Para realizar los cálculos de iluminación, se utilizará el método del flujo total para el cálculo del alumbrado de interiores, y luego se comprobará con el software DIALUX, para lo cual es necesario definir lo siguiente:

- E : iluminancia promedio que se pretende (Lux)
- FL : flujo lumínico de la lámpara que se desea utilizar (Lumen)
- S:superficie de la habitación (m²)
- μ : factor de utilización.

El cual indica la eficiencia luminosa del conjunto lámpara, luminaria y local ,por lo tanto depende del sistema de iluminación, de las características de la luminaria, del índice del local (K), del factor de reflexión del techo ,piso y paredes de la habitación

$$\mu = L * R$$

- K: índice del local, el cual corresponde a un relación entre las dimensiones del local, se calcula utilizando las dimensiones de la habitación, esto es: ancho (A), largo (L) y altura (H) de las luminarias sobre el plano de trabajo, esto se muestra en la siguiente Ecuación, la cual se utiliza para distribución con luz directa , semi – directa y mixta.

$$K = \frac{A * B}{H(A+B)}$$

$$K = \frac{A * B}{2H'(A+B)}$$

Donde:

- A: Ancho del Local
- B: Largo del Local
- H:Plano base útil o altura de las luminarias sobre el plano de trabajo
- H' ; Distancia del techo al plano de trabajo

Luego, la reflexión de la luz en las paredes, cielo raso techo y piso del local, incide directamente sobre el factor de utilización. Esta reflectancia es representada por un número de 4 dígitos, los cuales representan la reflexión del cielo raso, friso (para superior de la pared, sobre la horizontal de la lámpara), las paredes y el piso, la cual corresponde a una reflectancia de 0,8 para el cielo raso (blanco) 0,5 para las paredes (crema) y 0,1 para el piso (madera oscura). Los valores de reflectancia para distintos materiales se pueden observar en la tabla 3.8.

Finalmente, y de acuerdo al valor del índice del local y de la reflectancia del mismo, se puede escoger desde una tabla el factor de utilización. En la Tabla 3.8 se muestra un ejemplo de una tabla de factor de utilización.

Figura 3.8: Factor de utilización en función de las características del local (cielo/pared/piso) y coeficiente de reflexión

Coeficientes de reflexión			Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización Cu										
Color	Factor de reflexión	Factor de reflexión del techo													
		0.7			0.5	0.3	Factor de reflexión de las paredes								
		0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.5	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Techo	Blanco o muy claro	0.7													
	claro	0.5													
	medio	0.3													
Paredes	claro	0.5													
	medio	0.3													
	oscuro	0.1													
Suelo	claro	0.3													
	oscuro	0.1													

	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16					
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20					
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26					
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35					
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41					
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45					
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52	Cu	.56	.52	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.63	.60	.56		.62	.60	.56	
	6	.68	.63	.60	.66	.63	.60	.66	.63	.60		.65	.63	.60	
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.69	.67	.64		.68	.67	.64	
	10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67		.70	.67	.67	

Una vez conocidos los valores del índice del local y el factor de utilización, es posible determinar el flujo luminoso requerido para cada ambiente, para esto debemos definir el factor de mantenimiento (M) del sistema de iluminación, el cual corresponde a la relación entre la iluminancia producida al final del periodo de mantenimiento y la iluminancia producida cuando el sistema es nuevo. Generalmente este factor es igual a 0,8, es decir, la iluminancia al final del periodo de sistema, ha decaído en un 20% de la iluminancia inicial. Para este diseño se utilizará el factor de mantenimiento de 0,8.

El flujo luminoso total (Φ_{Total}) es calculado según la Ecuación

$$\Phi_{Total} = \frac{E * S}{\mu * M}$$

Donde (E) corresponde a la iluminancia mantenida (lux) exigida por la norma.

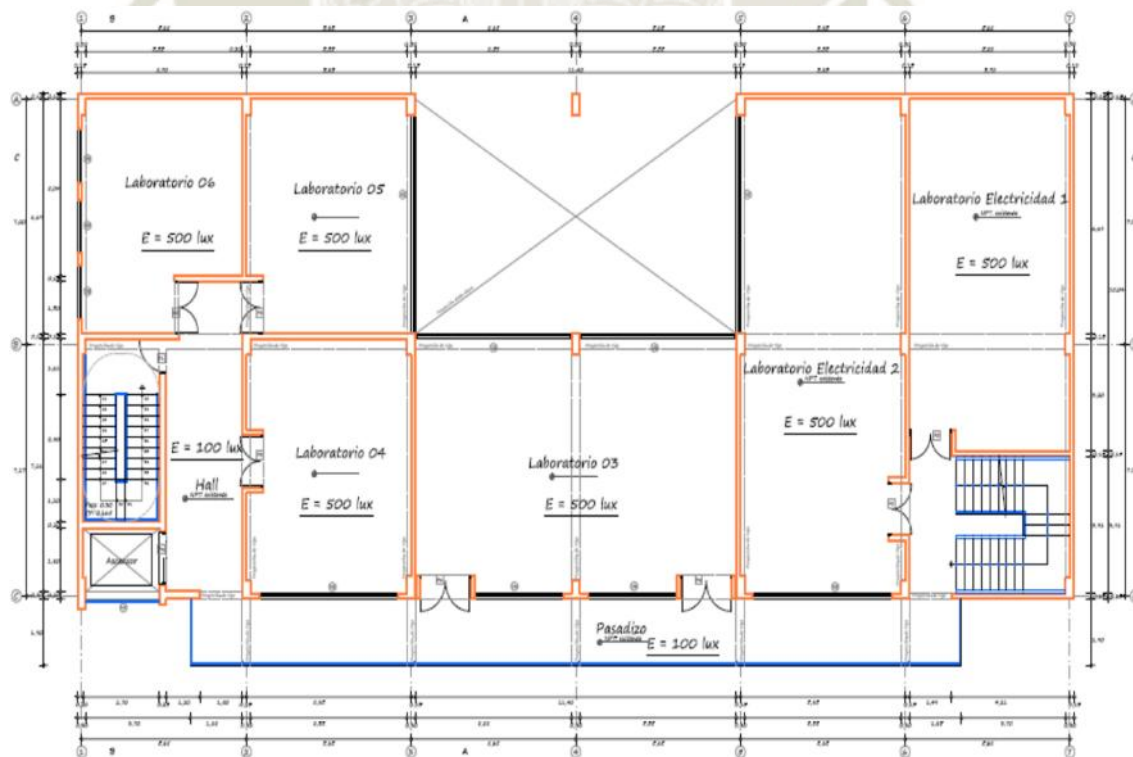
Luego el número de lámparas necesarias se determina de acuerdo a la Ecuación

$$N_L = \frac{\Phi_{Total}}{\Phi_{Lámpara}}$$

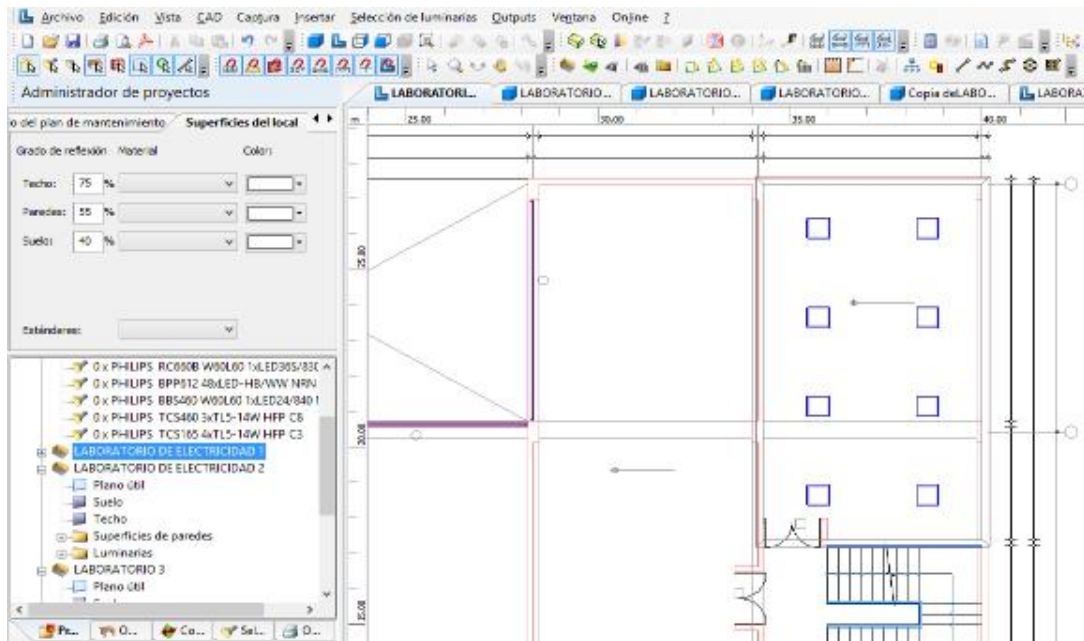
3.5. Cálculo de iluminación de los ambientes

Se adjunta la vista en planta de los ambientes a iluminar:

Las lámparas seleccionadas para los cálculos, corresponden a lámparas LED de 9 Watt, en una luminaria de 04 lámparas con un flujo luminoso total de 4,000 lumens, luz blanca.

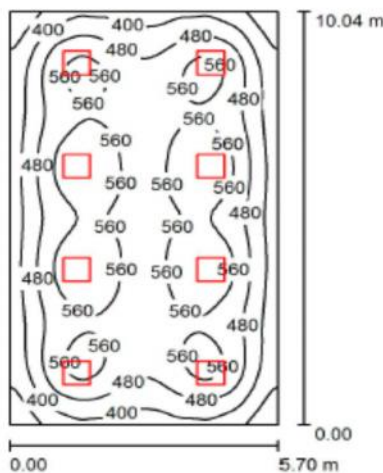


Laboratorio de electricidad 1:



Resultados:

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD 1 / Resumen



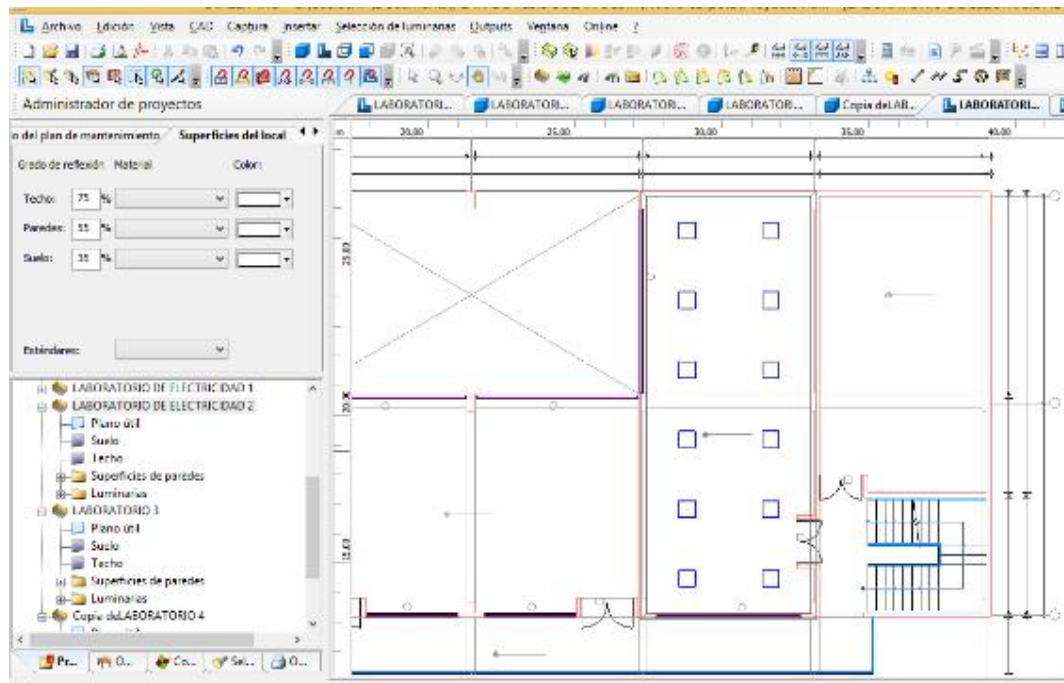
Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.85

Valores en Lux, Escala 1:129

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	497	262	621	0.526
Suelo	40	447	258	548	0.577
Techo	75	149	100	172	0.671
Paredes (4)	55	226	110	329	/

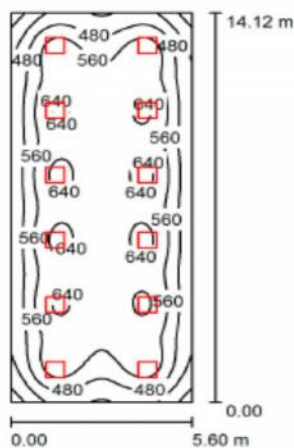
Plano útil:	Altura:	0.850 m	UGR	Longi-	Tran	al eje de luminaria
Trama:	64 x 64 Puntos		Pared izq	16	16	
Zona marginal:	0.000 m		Pared inferior	16	16	
			(CIE, SHR = 0.25.)			

Laboratorio de electricidad 2:



Resultados:

LABORATORIO DE ELECTRICIDAD 2 / Resumen



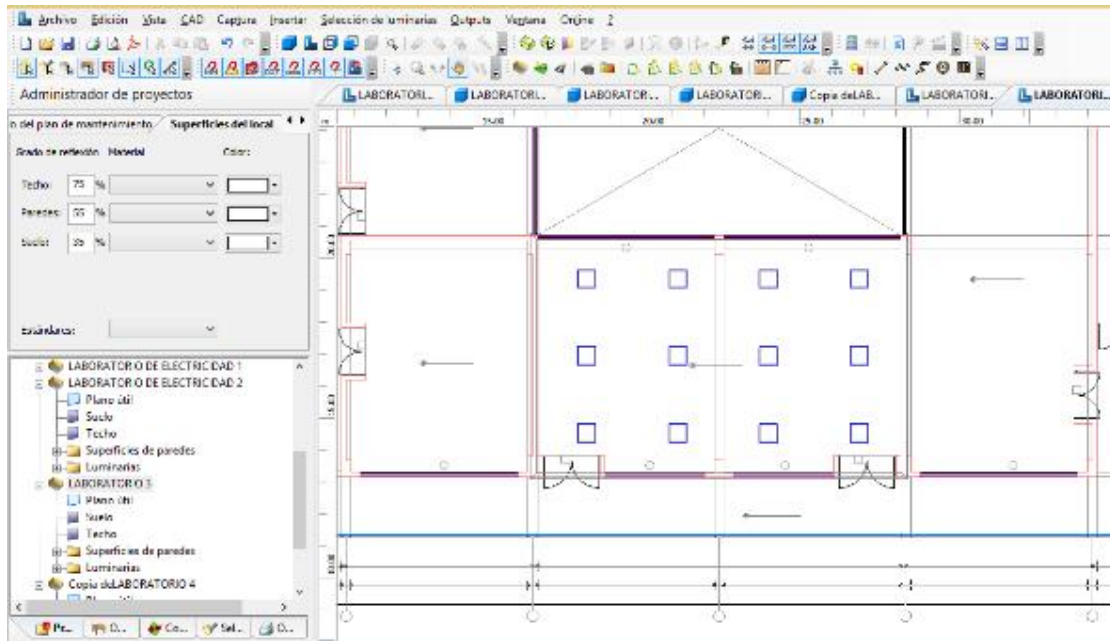
Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.85

Valores en Lux, Escala 1:182

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	550	288	663	0.524
Suelo	40	500	299	597	0.598
Techo	75	169	116	193	0.683
Paredes (4)	55	254	121	365	/

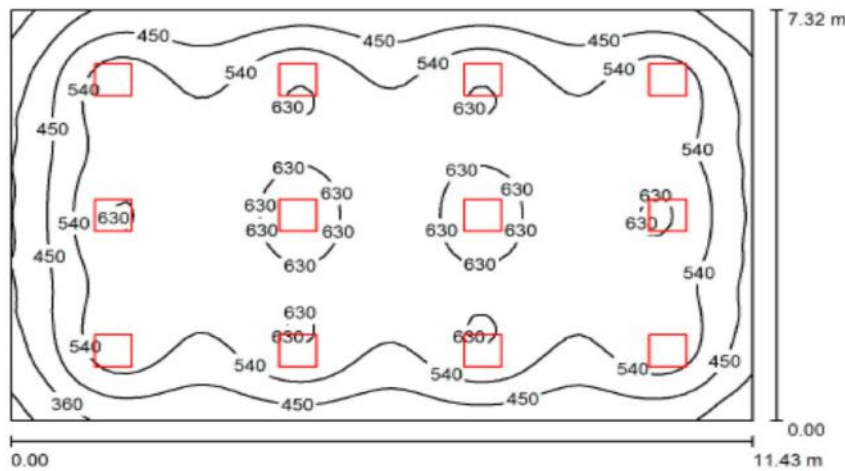
Plano útil:	UGR	Longi-	Tran-	al eje de luminaria
Altura: 0.850 m	Pared izq	16	16	
Trama: 64 x 32 Puntos	Pared inferior	16	16	
Zona marginal: 0.000 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Laboratorio 3:



Resultados:

LABORATORIO 3 / Resumen



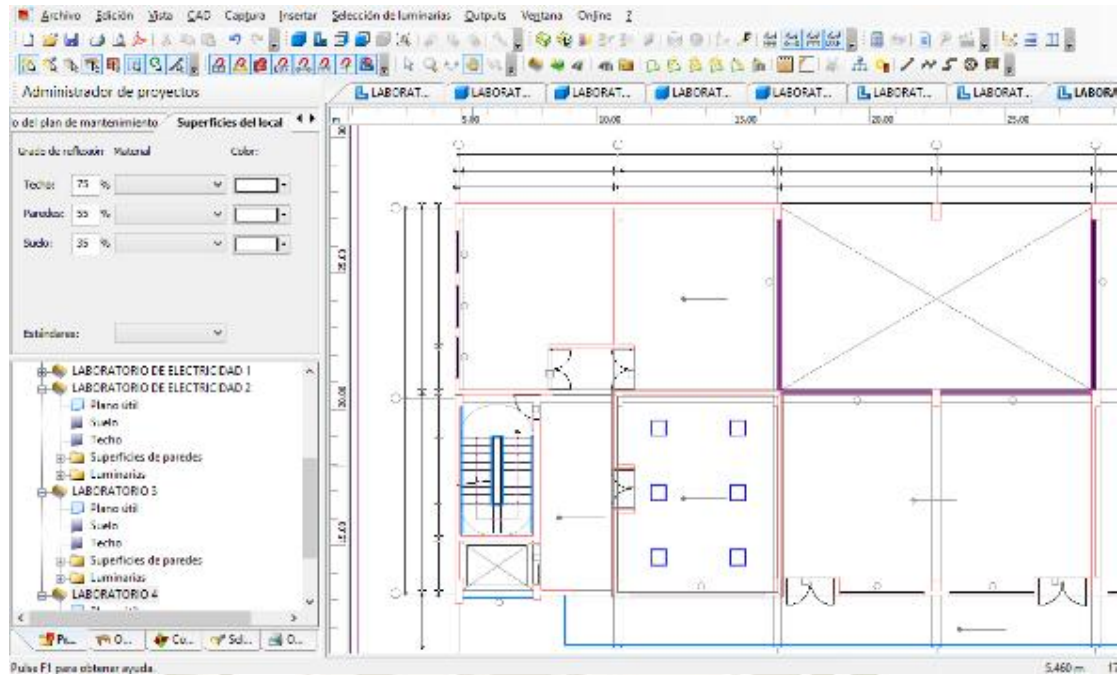
Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.85

Valores en Lux, Escala 1:94

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	535	247	675	0.463
Suelo	40	492	261	607	0.531
Techo	75	169	104	196	0.616
Paredes (4)	55	245	119	357	/

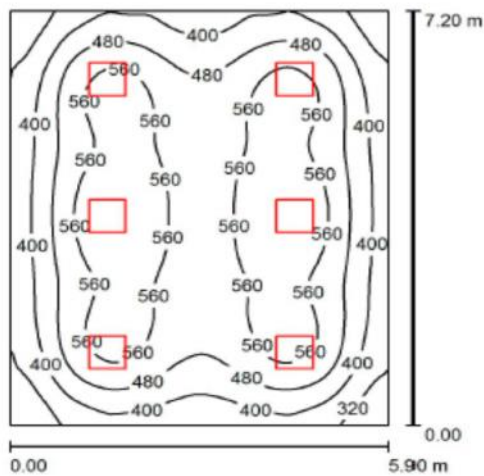
Plano útil:	UGR	Longi-	Tran	al eje de luminaria
Altura:	Pared izq	16	16	
Trama:	Pared inferior	16	16	
Zona marginal:	(CIE, SHR = 0.25.)			

Laboratorio 4:



Resultados:

LABORATORIO 4 / Resumen



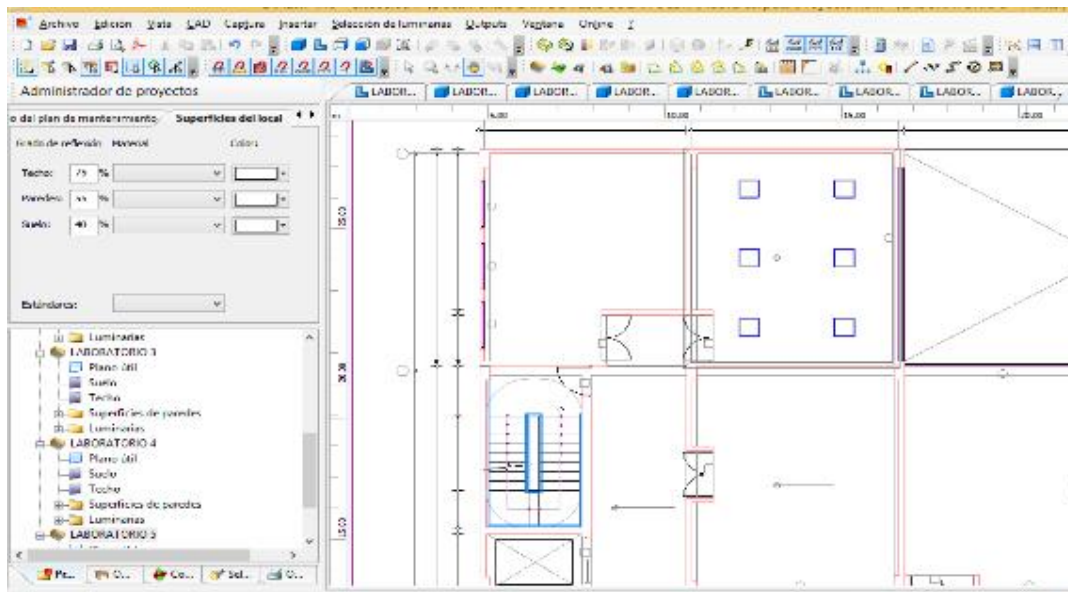
Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.85

Valores en Lux, Escala 1:93

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	489	245	627	0.501
Suelo	40	434	239	548	0.550
Techo	75	142	95	163	0.667
Paredes (4)	55	218	102	345	/

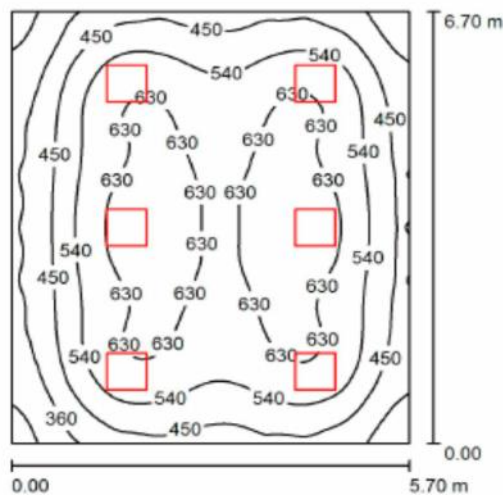
Plano útil:	UGR	Longi-	Tran-	al eje de luminaria
Altura: 0.850 m	Pared izq 16	16	16	
Trama: 64 x 64 Puntos	Pared inferior 16	16	16	
Zona marginal: 0.000 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Laboratorio 5:



Resultados:

LABORATORIO 5 / Resumen



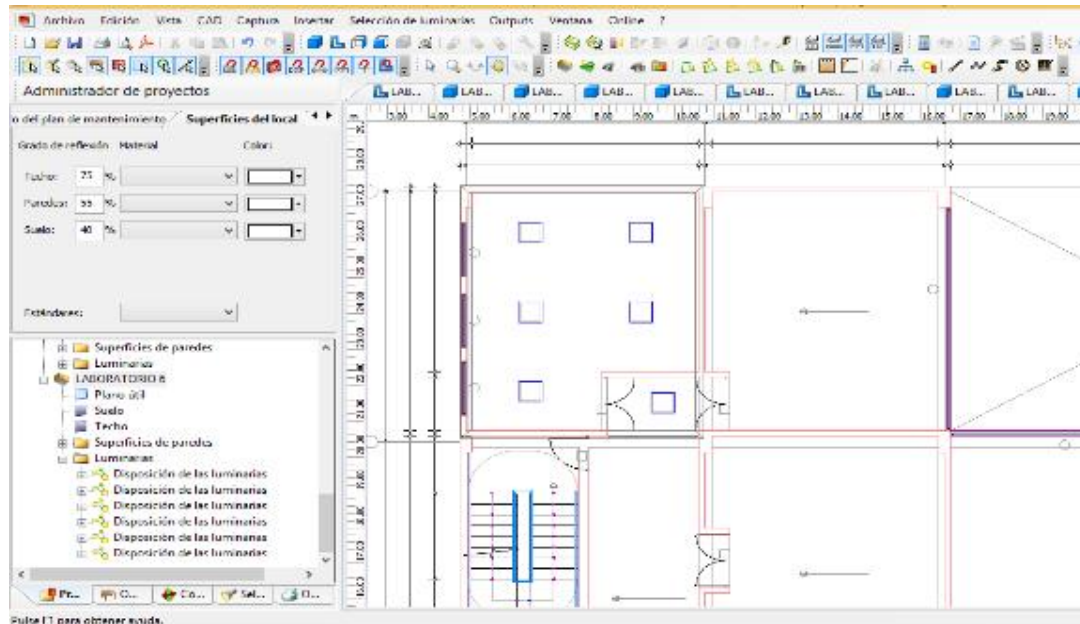
Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.85

Valores en Lux, Escala 1:87

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	534	248	678	0.465
Suelo	40	472	249	610	0.528
Techo	75	154	102	177	0.662
Paredes (4)	55	239	108	383	/

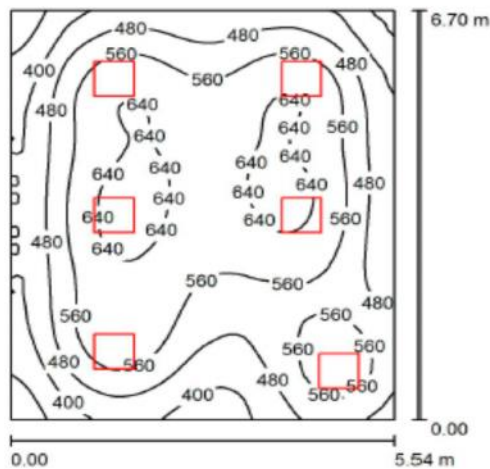
Plano útil:	UGR	Longi-	Tran-	al eje de luminaria
Altura: 0.850 m	Pared izq	16	16	
Trama: 64 x 64 Puntos	Pared inferior	16	16	
Zona marginal: 0.000 m	(CIE, SHR = 0.25.)			

Laboratorio 6:



Resultados:

LABORATORIO 6 / Resumen



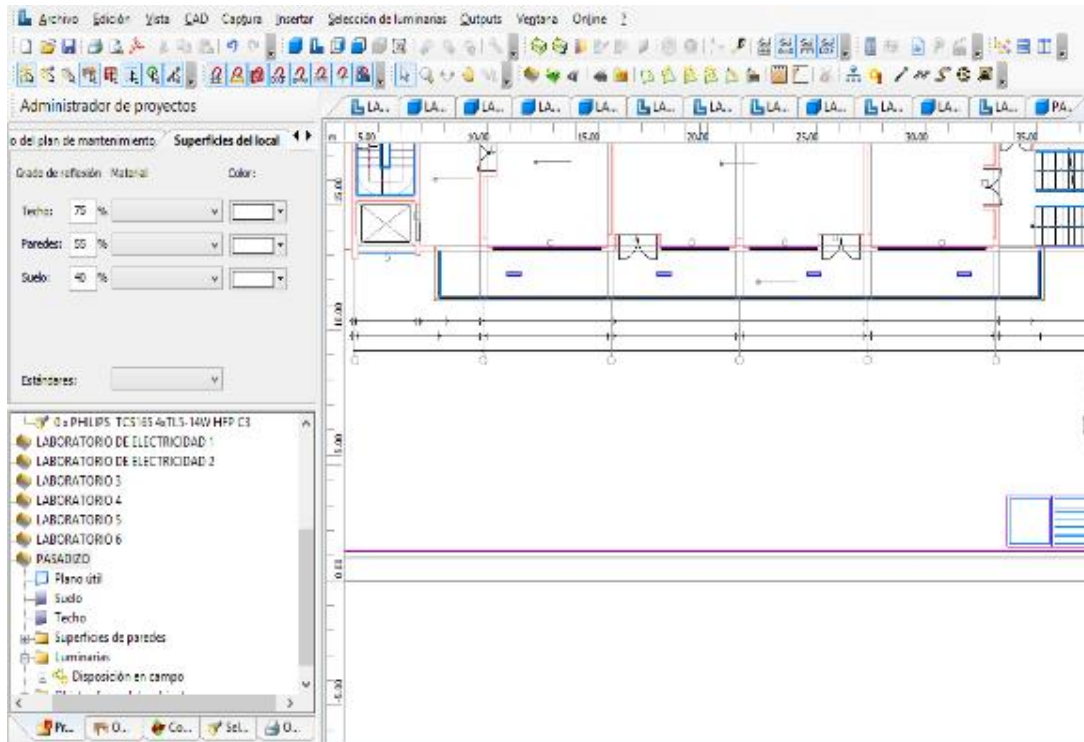
Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.000 m, Factor mantenimiento: 0.85

Valores en Lux, Escala 1:87

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	533	276	671	0.518
Suelo	40	471	265	596	0.564
Techo	75	157	105	184	0.664
Paredes (4)	55	254	113	606	/

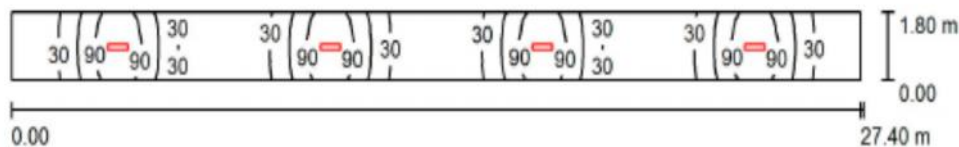
Plano útil:
 Altura: 0.850 m
 Trama: 64 x 64 Puntos
 Zona marginal: 0.000 m

PASADIZO



Resultados:

PASADIZO / Resumen



Altura del local: 3.000 m, Altura de montaje: 3.099 m, Factor mantenimiento: 0.85

Valores en Lux, Escala 1:196

Superficie	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Plano útil	/	48	6.52	113	0.137
Suelo	40	38	12	66	0.311
Techo	75	12	6.53	18	0.543
Paredes (4)	55	22	6.69	110	/

Plano útil:

Altura: 0.850 m
Trama: 128 x 32 Puntos
Zona marginal: 0.000 m

3.6. Cálculo de la instalación fotovoltaica.

En la Tabla anterior se describen los distintos consumos de iluminación para cada uno de los ambientes de los laboratorios donde se desea implementar el sistema. La sumatoria de consumos de energía alcanza un valor aproximado de 1.87KW, a este valor debemos aplicar un factor de demanda, el cual representa una estimación de la porción de artefactos que se encuentran en funcionamiento en forma simultánea. Para este caso, dado que los laboratorios se pueden utilizar en forma simultánea, utilizaremos un factor de demanda igual a un 100%, es decir, se estima que se utilizará en forma simultánea un 100% del consumo total considerado por concepto de iluminación, lo cual corresponde a un consumo aproximado de 1.87KW.

Tabla 3.1: Estimación de Consumos de Iluminación

CUADRO DE CARGA TABLERO GENERAL TDA-HUB

CIRCUITO	DESCRIPCION TDA-HUB	CANT.	EQUIPOS	POT. KW	TOTAL (KW)	FD	MAX DEM. (KW)	
TD.HUB-01	ILUMINACION LABORATORIO 1	8	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	0.036	0.29	1.00	0.29	
TD.HUB-02	ILUMINACION LABORATORIO 2	12	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	0.036	0.43	1.00	0.43	
TD.HUB-03	ILUMINACION LABORATORIO 3	12	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	0.036	0.43	1.00	0.43	
TD.HUB-04	ILUMINACION LABORATORIO 4	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	0.036	0.22	1.00	0.22	
TD.HUB-05	ILUMINACION LABORATORIO 5	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	0.036	0.22	1.00	0.22	
TD.HUB-06	ILUMINACION LABORATORIO 6	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	0.036	0.22	1.00	0.22	
TD.HUB-07	ILUMINACION PASADIZOS	4	LUMINARIA PHILIPS TCS460 2xLED-9W	0.018	0.07	1.00	0.07	
TOTAL TDA-HUB								1.87
							TOTAL	1.87

Entonces, el consumo total diario (Q_m), en Ah/día, viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_m = \frac{W_{demanda} * C_{diario} * C_{semanal}}{F_{conversion} * V_{sistema}}$$

Donde:

- C_{diario} : Es la cantidad de horas utilizado al día, es decir, 12 h/día.
- $C_{semanal}$: Es la cantidad de días utilizado a la semana, es decir 5 días/semana.
- $F_{conversion}$: Es el factor para convertir DC/AC, el mínimo es 0.90.
- $V_{sistema}$: Es la tensión del sistema, para el proyecto será de 24 V.

Consumos medios diarios de los equipos en corriente alterna, Vca.				
Elementos de consumo	Potencia (W)	Nº de equipos	Tiempo	Energía (W.h)/día
	P	N	h/día	P·N·h/día
ILUMINACION LABORATORIO 1	36	8	12	3456
ILUMINACION LABORATORIO 2	36	12	12	5184
ILUMINACION LABORATORIO 3	36	12	12	5184
ILUMINACION LABORATORIO 4	36	6	12	2592
ILUMINACION LABORATORIO 5	36	6	12	2592
ILUMINACION LABORATORIO 6	36	6	12	2592
ILUMINACION PASADIZOS	18	4	12	864
Total E2				22464
Potencia total P2			1872	W
Eficiencia del inversor Ri	90 %	TC DOMINO II/24		
Total E3 E2 x (100/ Ri)				24960
Total P3 P2 x (100/Ri)			2080	W
Factor de seguridad de la instalación Fs			20	%

Potencia total P2 = Suma de las potencias de los equipos

Factor de seguridad de la instalación Fs 20%

Eficiencia del inversor seleccionado Ri 90% (TC DOMINO II/24)

Total E3 = E2 x (100/ Ri)

Total P3 = P2 x (100/Ri)

Consumo medio diario alterna: $E2 = Eca = E3(1+Fs/100)$

Consumo total Et = Ecc + Eca

Potencia real Pca = P3 = P2x(Ri/100)

Consumo medio diario alterna Eca E3(1+Fs/100)	26956	Wh/día
Potencia real Pca P3(1+Fs/100)	2246	W
Consumo total Et Ecc + Eca	26956	Wh/día

Una vez estimado el consumo energético total teórico de iluminación (ET(Wh)), es necesario calcular el consumo real (E) que tendrán los laboratorios una vez realizada la instalación fotovoltaica, esto es, considerando además el consumo de los equipos propios de la instalación (inversor ,baterías ,otros), producto de las pérdidas asociadas al funcionamiento. Para esto, se utilizará la Ecuación:

$$E = \frac{E_T}{R} (Wh)$$

Donde R corresponde al factor de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, y se calcula según la Ecuación:

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) * \left(1 - \frac{k_a * N}{P_d} \right)$$

Donde los factores de la Ecuación son los siguientes:

- kb: Coeficiente de pérdidas por rendimiento del banco de baterías
 - 0,05 en sistemas que no demanden descargas profundas
 - 0,1 en sistemas con descargas profundas
- kc: Coeficiente de pérdidas en el inversor
 - 0,05 para inversores senoidales puros, trabajando en régimen nominal
 - 0,1 para inversores trabajando fuera del régimen nominal
- kv: Coeficiente de pérdidas varias (pérdidas en conductores, efecto joule, etc.)
 - se consideran valores de referencia entre 0,05 y 0,15
- ka: Coeficiente de auto-descarga diario
 - 0,002 para baterías de baja auto-descarga Ni-Cd
 - 0,005 para baterías estacionarias de Pb-ácido
 - 0,012 para baterías de alta auto-descarga (arranque de vehículos)
- N: número de días de autonomía de la instalación
 - Días en que la instalación trabajará bajo condiciones de irradiación mínimas (días nublados continuos), se consumirá más energía de la que se genera.
- pd: Profundidad de descarga diaria de la batería
 - no deberá exceder el 80% de su capacidad nominal, a fin de evitar afectar la vida útil del banco de baterías.

Consumo mensual Et (Wh/día)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Marcar la Et elegida	26956	26956	26956	26956	26956	26956	26956	26956	26956	26956	26956	26956
Ha marcado el mes cuyo consumo es				26956	Wh/día							

3.7. Cálculo del Banco de Baterías

Ya conocido el valor real del consumo energético de la instalación es posible calcular la capacidad del banco de baterías (CBat) necesario para acumular la energía generada por el sistema, esto se hará de acuerdo a la Ecuación

$$C_{Bat} = \frac{E * N}{V * p_d}$$

Donde :

V corresponde al voltaje nominal de la batería

El número de baterías debe poder satisfacer la capacidad necesaria, es por ello, que se calcula de la siguiente manera:

$$N^{\circ}bp = \frac{C_{banco}}{C_{batería}}$$

$$N^{\circ}bs = \frac{V_{sistema}}{V_{batería}}$$

Donde:

- N°bp: Es la cantidad de baterías en paralelo.
- N°bs: Es la cantidad de baterías en serie.
- C_{batería}. Es la capacidad de la batería, en este caso, es de 250 Ah.
- V_{batería}: Es el voltaje de operación nominal de la batería, en este caso, 12 V.

Sin embargo, para cuidar la vida de las baterías y evitar su rápido degradación. Se debe cumplir lo siguiente:

$$PD = \frac{Qm_{corregido} * 0.75}{C_{banco}} < 20\%$$

Donde:

PD: Es la profundidad de descarga real de la batería.

Tabla 3.2: Características del sistema de acumulación

Cálculo del sistema de acumulación					
Et elegida	26956	Wh/día			
Pérdidas rendimiento en el sistema acumulador Pac	15	%			
ETEt (1 + Pac/100)	30999	Wh/día			
Días de autonomía D	1	días			
Profundidad de descarga Pd	80	%			
Tensión del sistema de acumulación V	24	voltios			
Capacidad del sistema de acumulación C					
$C = \frac{ET \cdot D \cdot 100}{Pd \cdot V}$	1614	Ah			
Modelo de acumulador:	Tudor 6EAN100	Voltios:	12	Ah:	250
Número de acumuladores	14	7 en paralelo	2	en serie	

Fuente.- elaboración propia

Finalmente, el banco de baterías debe estar compuesto por 14 baterías.

3.8. Cálculo de los paneles solares

Como ya se obtuvo la capacidad del banco de baterías, se está en condiciones de calcular la cantidad de paneles solares necesarios para la instalación. Para esto se hará uso de los datos obtenidos de la irradiación solar diaria promedio, los cuales son indicados en la siguiente tabla

Tabla 3.3: Irradiación Solar Mensual para la Ciudad de Arequipa

IRRADIACIÓN SOLAR DIARIA HORIZONTAL PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA (KWh/m2día) (Re)												
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
7,2	7,0	6,7	6,5	6,1	5,5	5,8	6,8	7,4	8,1	7,9	7,3	

Fuente: <https://es.weatherspark.com/y/25845/Clima-promedio-en-Arequipa-Peru>

3.8.1 Inclinación de los paneles

Definir la inclinación es vital para optimizar la generación de energía de los paneles solares y por lo tanto, del sistema fotovoltaico en general. Este parámetro está altamente influenciado por la latitud del sitio.²⁴.

²⁴"Selección de sistemas fotovoltaicos". Autor: Miguel Ángel Hadzich Marín

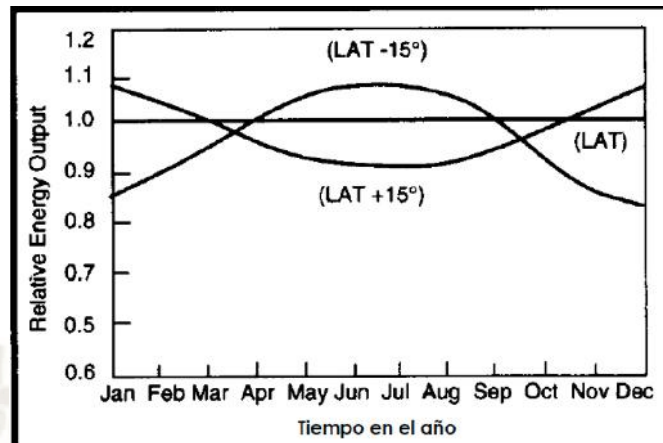


Figura 3.9: Variación de Energía producida vs meses

Antes de realizar los cálculos, es necesario indicar los siguientes datos:

- Latitud(F):16°23'56 Sur
- Longitud:71°32'05 Oeste
- Elevación:2355metros

Coordenadas de Arequipa en grados decimales

Latitud: -16.3988900°

Longitud: -71.5350000°

Coordenadas de Arequipa en grados y minutos decimales

Latitud: 16°23.9334 S

Longitud: 71°32.1 O

La inclinación de los paneles solares para una instalación independiente, teniendo en cuenta que la latitud de Arequipa es 16°, puede estimarse utilizando las siguientes expresiones:²⁵

- Inclinación verano: $L+15 = 31^\circ$
- Inclinación invierno: $L-20 = -4^\circ$
- Inclinación óptima: $3.7 + (L*0.69) = 14.74^\circ$ aproximado a 15°

²⁵"Radiación Solar: medidas y cálculos". Autor: Valeriano Ruiz Hernández y Manuel A. Silva Pérez. Universidad de Sevilla 2005

Donde:

- L: Latitud

Los paneles serán del tipo policristalino No. de Modelo SG360M, marca PEIMAR, esto se debe a que está comprobado que actualmente son los más económicos, es decir, su relación Wp/\$ es la mayor.

Un panel disponible comercialmente y de alta relación Wp/\$ es el panel de 360 Wp, policristalino.

Cuyos datos más relevantes son los siguientes:

- Vmp: Es el voltaje máximo pico, es la tensión a la cual opera en su punto de máxima potencia, cuyo valor es 38 V.
- Voc: Es la tensión de circuito abierto, la máxima tensión alcanzada por el panel, cuyo valor es 46.6 V.
- Imp: Es la corriente máxima pico, el valor para el panel seleccionado es de 9.48 A.
- Isc: Es la corriente de corto-circuito, cuyo valor es 10.09 A.
- Características Eléctricas en STC
- Potencia Máxima (Pmax) 360 Wp
- Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax) 38 V
- Corriente en el punto de máxima potencia (Imax) 9.48 A
- Tensión en Circuito Abierto (Voc) 46.6 V
- Corriente de cortocircuito (Isc) 10.09 A
- Eficiencia 18.54 %
- Tolerancia de Potencia (+) + 1.5 %

Los paneles no son los únicos elementos que entregan potencia a las cargas, también lo harán las baterías. Es por ello, que para obtener la intensidad requerida de los paneles, es necesario restarle una intensidad proveniente de las baterías.

$$I_{baterías} = \frac{C_{útil}}{H.S.P. * F_d}$$

Donde:

H.S.P. : Son las horas sol pico, para el mes crítico.

Fd : Es el factor de diseño recomendado, el recomendado por el fabricante es 13.

De esta manera, la intensidad requerida por el generador fotovoltaico está dada por la siguiente ecuación:

$$I_{\text{generador}} = I_{\text{mes}} - I_{\text{batería}}$$

Donde:

I_{mes} : Es la corriente de diseño para el mes crítico .

Es una buena práctica, utilizar factores de diseño para paneles cristalinos y para paneles policristalinos o amorfos.

$$I_{\text{generador d}} = \frac{I_{\text{generador}}}{F_d}$$

F_d : Es el factor de diseño recomendado para paneles, en el caso de policristalinos es 0.7.

Finalmente, el número de paneles puede estimarse con la siguiente expresión:

$$N^{\circ}pp = \frac{I_{\text{generador}}}{I_{mp}}$$

$$N^{\circ}ps = \frac{V_{\text{sistema}}}{V_{mp}}$$

Donde:

$N^{\circ}pp$: Es la cantidad de paneles en paralelo.

$N^{\circ}ps$: Es la cantidad de paneles en serie.

Cálculo de Horas Sol Pico (HSP).

Para dimensionar el generador fotovoltaico es necesario determinar el número de HSP. Este valor se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Horas sol pico (HSP)} = \frac{\text{Radiación solar diaria horizontal } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}\right)}{\text{Irradiancia bajo CEM } \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)}$$

Donde la Irradiancia bajo CEM corresponde a 1000 W/m². La radiación solar horizontal en kWh/m² y las HSP son equivalentes. En la Tabla 3.9 se describe su variabilidad a lo largo del año.

Tabla 3.4: Variación de las Horas Sol Pico

HORAS SOL PICO POR MES CIUDAD DE AREQUIPA (HSP)											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
7,2	7,0	6,7	6,5	6,1	5,5	5,8	6,8	7,4	8,1	7,9	7,3

Nota: Las Horas Sol Pico son equivalentes debido a que resulta de dividir cada lectura de radiación mensual entre 1kW/m².

*El mes con menos HSP será considerado como escenario crítico para dimensionar el generador fotovoltaico.

Se halla la Relación mes consumo/radiación Re (Et / Rm)

Radiación mensual Rm (kWh/m ² día)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Inclinación	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Marcar la	7.2	7.1	6.7	6.5	6.1	5.5	5.8	6.8	7.4	8.1	7.9	7.3
Rm elegida						x						
Ha marcado el mes cuya radiación es				5.5	kWh/m ² día							
Relación mes consumo/radiación Re (Et / Rm)												
	Ene.	Feb.	Mar.	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Marcar la	3743.888889	3796.619718	4023.2836	4147.076923	4419.016393	4901.0909	4647.586207	3964.1176	3642.702703	3327.901235	3412.151899	3692.60274
Re elegida						x						
Ha marcado el mes cuya relación Re es				4901.090909								

Cálculo del número de módulos fotovoltaicos			
Módulo elegido:	SG360M	Pmax	360 Wp
		Intensidad de cortocircuito	9.48 A
Número de módulos Np	$Np = \frac{Re}{Pmax \times 0.9}$		
			16 módulos
Conexión grupo módulos	16 en paralelo		1 en serie
Potencia a instalar Pt = Pmax x Np			5760 Wp

Finalmente, el número total es de 16 paneles. Formando así, un generador de una potencia de 360Wp x 16 = 5,760 Wp.

3.9. Cálculo del regulador

Para el cálculo del regulador de carga necesario, debemos utilizar los datos indicados por el fabricante del panel solar a utilizar, específicamente nos centraremos en la corriente de cortocircuito (I_{mp}), luego este valor será multiplicado por la cantidad de paneles necesarios para la instalación.

Esto se puede observar en la Ecuación

$$I_{maxima\ regulador} = I_{mp} * N_{pp} * 1.1$$

Donde:

I_{mp} = corriente de cortocircuito (I_{mp}),

N_{pp} = cantidad de paneles en paralelo

Por lo que el regulador será:

$$N_r = I_{mp} \frac{I_{mp} * N_{pp} * 1.1}{I_r}$$

Cálculo del número de reguladores			
Módulo escogido	SG360M		
Intensidad a soportar el regulador: $I_{mp} \cdot N_{pp} \cdot 1.1$		166.848	A
Número de reguladores N_r $N_r = \frac{I_{mp} \cdot N_{pp} \cdot 1.1}{I_r}$			
	N_r	1	
Tipo de regulador :	Xantrex C160 170A	I_r	170 A

3.10. Cálculo del inversor

Para la selección del inversor, se debe estimar la potencia máxima instantánea demandada, es decir la máxima demanda de las cargas de iluminación de los laboratorios del cuarto nivel del Pabellón R, indicados en la Tabla de cargas eléctricas, de la cual podemos decir que el máximo consumo instantáneo puede alcanzar los 1,87KW, esto es, funcionando todos los equipos al mismo tiempo dentro de una hora. Pero para calcular la máxima demanda se hará considerando un factor de demanda de 1, ya que al ser laboratorios funcionan en forma

simultánea, esta potencia alcanza un valor de 1.87KW, estimaremos que la potencia del inversor será de 2,300W, 60Hz.

A modo de recomendación se debe decir que los inversores deben trabajar a plena carga, o cercano a esta, afín de no afectar su eficiencia de funcionamiento.

Se ha seleccionado el Inversor de onda pura Inversor Clayton Onda Pura 2300W 24v (24V/220V). Convierte la electricidad de corriente continua a corriente alterna a 230V.

Características:



- Diagnóstico led.
- Conversión del voltaje: de 24V a 230V.
- Potencia nominal en vatios: 2300W.
- Potencia extra durante 15 minutos: 2500W.
- Pico de potencia: 3000W.
- Eficiencia del inversor: 90%
- Autoconsumo en vacío: 15W.
- - Protección por cortocircuito de salida.
- Protección por sobrecarga.
- Sistema de desconexión por tensión de la batería demasiado baja.
- Peso: 9,5 Kg.
- Dimensiones: 535 x 270 x 275 mm.

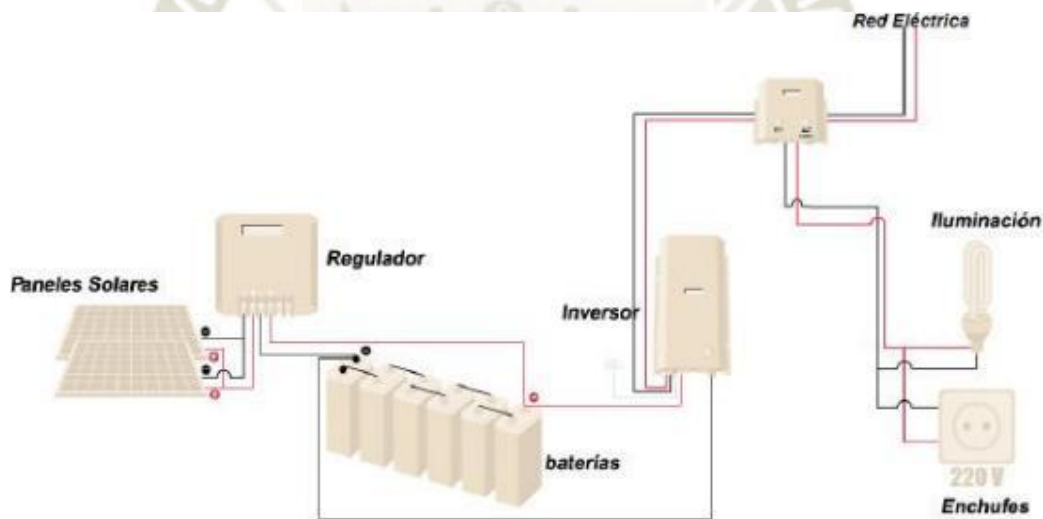
3.11. Conmutador

El conmutador podrá ser del tipo manual o automático, y permitirá realizar el cambio de alimentación eléctrica entre el sistema de generación fotovoltaico y el suministro de energía por medio de la red cableada.

Este actuador funcionará en condiciones de baja carga de las baterías (30% de la capacidad máxima, para el cálculo del banco de baterías), el cual al detectar un nivel inferior al 30% de la carga máxima, realizará el cambio hacia el suministro de la red eléctrica convencional.

Una vez realizado el dimensionamiento del sistema, la configuración de este sería como se muestra en la Figura

Figura 3.10: Diagrama de funcionamiento del sistema fotovoltaico



CAPITULO IV: ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Memoria descriptiva

4.1.1. Generalidades

Es motivo de la elaboración del presente proyecto, es el diseño del sistema de energía solar fotovoltaica para alimentar las Instalaciones Eléctricas Iluminación de los laboratorios del cuarto nivel del Pabellón R - Campus Umacollo, de propiedad de la Universidad Católica de Santa María.

El presente proyecto, se desarrolla sobre la base de los Planos de la Distribución Arquitectónica del mismo, bajo los criterios de selectividad y funcionalidad de las instalaciones y sistemas, previendo la seguridad, comodidad y confort de los trabajadores y demás usuarios.

4.1.2. Ubicación Geográfica

El Local del Proyecto "Iluminación de los laboratorios 4to nivel del Pabellón R con energía solar fotovoltaica"- Campus Umacollo", de propiedad de la Universidad Católica de Santa María se encuentra ubicado en la Urb. San José s/n Umacollo. Distrito Arequipa, Departamento Arequipa y Provincia de Arequipa.

4.1.3. Alcances del proyecto

El presente proyecto comprende el diseño de la iluminación de los laboratorios 4to nivel del Pabellón Ry el diseño de Sistemas de la energía solar fotovoltaica del local, conformados de la siguiente manera:

a) Calculo de iluminación

Está conformado por los alimentadores de energía, tablero de distribución eléctrica, circuitos derivados de alumbrado de las diferentes, laboratorios, pasillos, del cuarto nivel del Pabellón R. Todo para un nivel de tensión de 220 V de corriente alterna, monofásico.

b) Sistemas especiales sistema de energía solar

Este sistema se diseñó para abastecer el 100% de la carga eléctrica de iluminación de los laboratorios 4to nivel del Pabellón R, considerando la radiación solar de Arequipa, se seleccionó los paneles, baterías, controlador, inversor y conmutador adecuados para un buen funcionamiento.

4.1.4. Parámetros de diseño

Se han tomado en cuenta los siguientes parámetros de diseño:

- Tensión nominal : 220 V
- Sistema : Monofásico
- Factor de Potencia de la carga : 0.9
- Factores de Demanda : De acuerdo al CNE-Utilización y R.N.E.
- Máxima caída de tensión para los
- Alimentadores : 2.5 %
- Máxima caída de tensión total para
- Los Aliment. y circuitos derivados : 4 %
- Perdidas máximas : 3 %
- Frecuencia : 60 Hz.
- Valores de iluminación : RNE

4.1.5. Protocolo de pruebas

Las Instalaciones Eléctricas serán probadas según los requerimientos de la Supervisión, por el Contratista al final de la obra, según esto para el sistema eléctrico el valor de la resistencia de puesta a tierra no deberá ser mayor a 20 Ohmios. La mínima resistencia de aislamiento para instalaciones será mayor o igual a 0.5 Mega Ohmios (M) con una tensión de ensayo de 500 V en corriente continua. Levantando en cada caso los protocolos correspondientes que formaran parte de los documentos de recepción de obra.

4.1.6. Bases de cálculo.

Se toman como bases de cálculo, las recomendaciones estipuladas en el Código Nacional de Electricidad Utilización 2006, El Reglamento Nacional de

Edificaciones, así como las recomendaciones de Normas vigentes.

Para el cálculo de Iluminación interior, se han tomado en cuenta los niveles de iluminación establecidos por el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones).

4.2. Resultados de la iluminación de los laboratorios de electricidad

Con los planos de arquitectura de los laboratorios y el software DIALUX se procedió a realizar el cálculo de iluminación de dichos ambientes, en el anexo A se adjuntan los reportes de iluminación y en la siguiente tabla se presenta un resumen de los valores calculados:

Tabla 4.1: Resumen de los cálculos de iluminación

AMBIENTES	CANT.	EQUIPOS	Em (lux) RNE	Em(lux) CALCULADO
ILUMINACION LABORATORIO 1	8	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	500	497
ILUMINACION LABORATORIO 2	12	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	500	550
ILUMINACION LABORATORIO 3	12	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	500	535
ILUMINACION LABORATORIO 4	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	500	489
ILUMINACION LABORATORIO 5	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	500	534
ILUMINACION LABORATORIO 6	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W	500	533
ILUMINACION PASADIZOS	4	LUMINARIA PHILIPS TCS460 2xLED-9W	50	48

4.3. Elección de los equipos

Ahora que ya se ha dimensionado el sistema, se deben elegir los equipos necesarios para realizar la instalación, estos son indicados en la Tabla 4.2 para el primer caso analizado del sistema de iluminación.

Se muestra a continuación:

Tabla 4.2: Resumen de los Equipos para el Sistema de iluminación

CUADRO DE CARGA TABLERO GENERAL TDA-HUB

CIRCUITO	DESCRIPCION TDA-HUB	CANT.	EQUIPOS
TD.HUB-01	ILUMINACION LABORATORIO 1	8	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W
TD.HUB-02	ILUMINACION LABORATORIO 2	12	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W
TD.HUB-03	ILUMINACION LABORATORIO 3	12	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W
TD.HUB-04	ILUMINACION LABORATORIO 4	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W
TD.HUB-05	ILUMINACION LABORATORIO 5	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W
TD.HUB-06	ILUMINACION LABORATORIO 6	6	LUMINARIA CUADRADA PHILIPS TCS165 4xLED 9W
TD.HUB-07	ILUMINACION PASADIZOS	4	LUMINARIA PHILIPS TCS460 2xLED-9W

El sistema fotovoltaico de tipo autónomo, bajo las condiciones de la ciudad de Arequipa, se ha diseñado un sistema con las siguientes características:

- Generador fotovoltaico: compuesto de 16 paneles de 360Wp c/u;
- Banco de baterías: 14 baterías de 12 V/ 250 Ah c/u;
- Controlador de 24 V/60 A e inversor de 2300 W.
- Voltaje del sistema: 24 V

Tabla 4.3: Resumen de los Equipos para el Sistema de energía solar

Item	Equipo	Descripción	Capacidad	Unidad	Cant.
1	Baterías	Banco de Baterías, 250 Ah, 12 VDC, selladas	250	Ah	14
2	Paneles FV	De acuerdo a las condiciones del diseño del sistema se utilizaron paneles de un potencia de 360 Wp	360	W p	16
3	Regulador	El regulador de sobrecarga deberá soportar una intensidad de corriente máxima de 180 A	60	A	1
4	Inversor	El inversor de tensión deberá soportar una potencia instantánea máxima de 2,300 W	2300	W	1
5	Conmutador	Sistema conmutador de circuito, red eléctrica a sistema fotovoltaico, 2,300 W, 220 VAC	2300	W	1

4.4. Disposición del generador fotovoltaico.

Se debe elegir una adecuada disposición del generador fotovoltaico para que los 16 paneles fotovoltaicos puedan ser instalados sobre la azotea del pabellón R.

La inclinación de los paneles solares para una instalación independiente, teniendo en cuenta que la latitud de Arequipa es 16°, puede estimarse utilizando las siguientes expresiones:²⁶

- Inclinación verano: $L+15 = 31^\circ$
- Inclinación invierno: $L-20 = -4^\circ$
- Inclinación óptima: $3.7 + (L*0.69) = 14.74^\circ$ aproximado a 15°

²⁶"Radiación Solar: medidas y cálculos". Autor: Valeriano Ruiz Hernández y Manuel A. Silva Pérez. Universidad de Sevilla 2005

Donde:

- L: Latitud

La disposición que se presenta a continuación es la que mejor se adapta a las necesidades del sistema. Se debe tener en cuenta que el generador requiere una estructura de soporte para contener los paneles fotovoltaicos.

Se ha determinado colocar 2 filas de 8 paneles, para alcanzar a instalar los 16 paneles requeridos para el generador del sistema. La Figura siguiente muestra la disposición de los paneles en la fila. La fila de 8 paneles ocupará 8.336 m, teniendo 0.20 m a cada lado de espacio libre en la estructura, y el ancho de 2.357m.

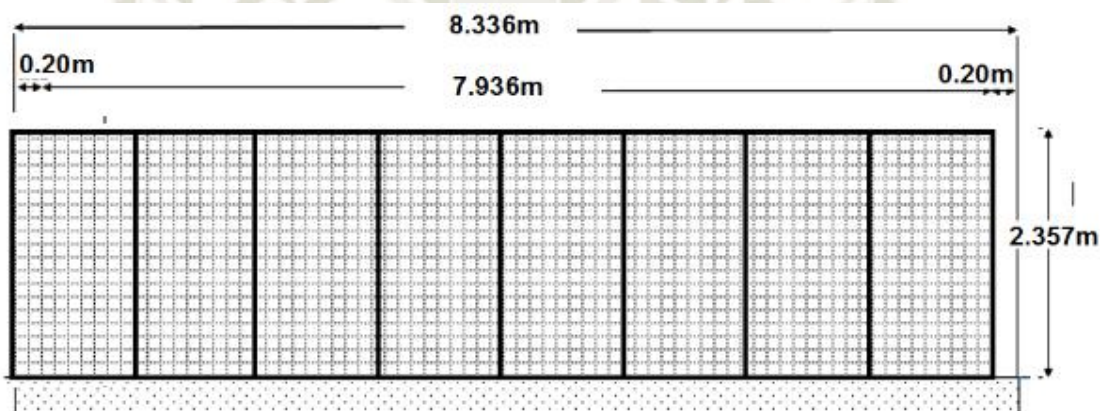


Figura 4.1: Distribución de paneles por fila. Fuente propia

Para disponer las 2 filas se tiene que calcular la distancia mínima que debe existir entre cada fila para que no se generen sombras. En la Figura siguiente se muestran las variables a considerar para determinar la distancia:

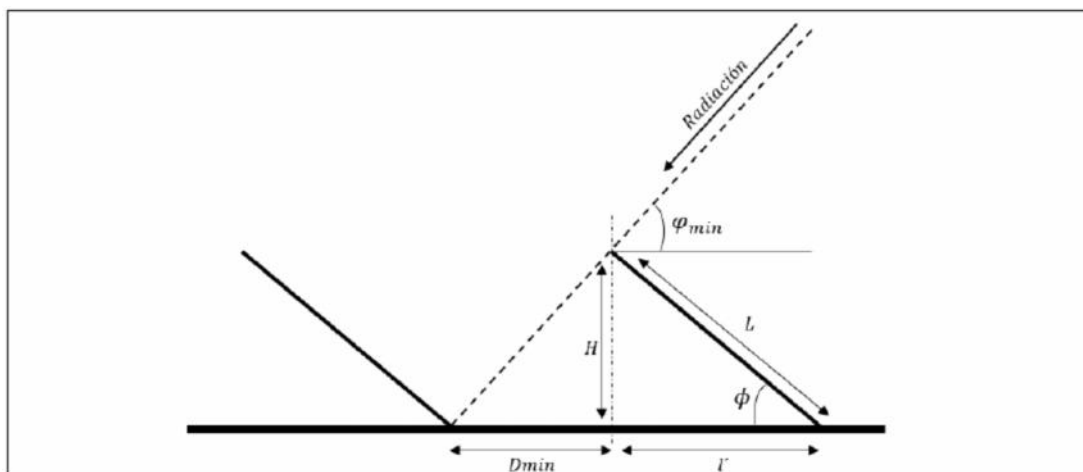


Figura 4.2: Esquema para el cálculo de distancia entre paneles.
Adaptado de <http://edii.uclm.es/~arodenas/Solar/componentes.htm>.

Donde:

: Ángulo de inclinación del panel, cuyo valor es 15°;

L: Largo del panel, su longitud es 1.957 m;

H: Altura del panel inclinado, es 0.54 m;

l': Largo del panel inclinado, es 1.88 m;

φ_{\min} : Ángulo de altura solar mínima, resulta de restar al ángulo de altura máxima solar (90°) la declinación terrestre (23.45°) y la latitud del lugar (16.389°), es decir 50.16°.

Se ha considerado colocar las dos filas de paneles de manera escalonada y a mitad de altura para reducir la distancia mínima como se muestra en la Figura 28.

Para el cálculo de distancia mínima entre filas de paneles se utiliza la siguiente ecuación:

$$D_{\min} = \frac{H}{\tan \varphi_{\min}}$$

$$\frac{0.54 \text{ m}}{\tan(50.16^\circ)} = \mathbf{0.23 \text{ m}}$$

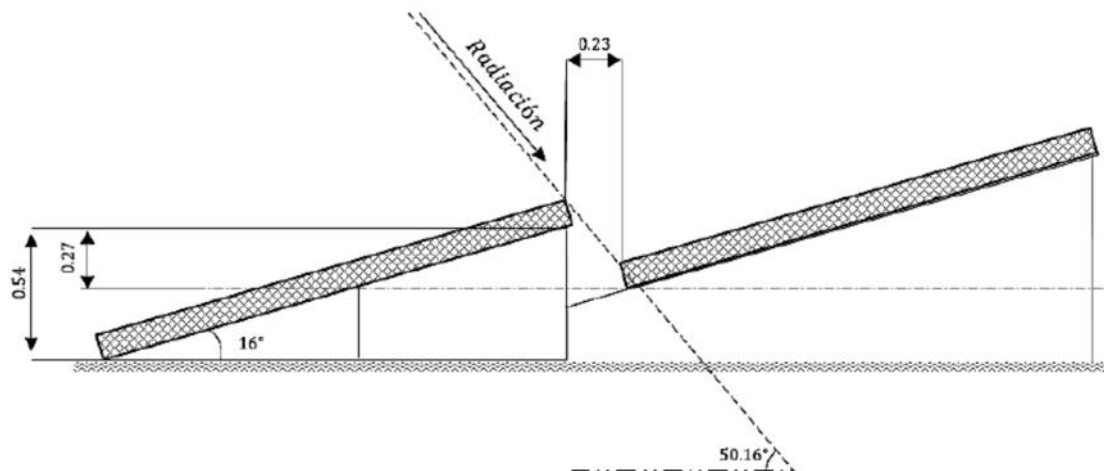


Figura 4.3: Esquema de disposición de paneles por columnas

4.4. Rentabilidad y Período de Recuperación de la Inversión

En la Tabla 4.4 se indica el costo de los equipos necesarios para la instalación del sistema para iluminación, mientras que en la Tabla 4.5 se muestran los costos para el sistema en general.

En esta estimación no se han considerado los materiales para soporte de los paneles, cables eléctricos, protecciones adicionales, mano de obra y varios.

Tabla 4.4: Costo del sistema de generación solar

Item	Equipo	Descripción	Capacidad	Unidad	Cant.	COSTO UNIT (Dolares)	COSTO TOTAL (Dolares)
1	Baterías	Banco de Baterías, 250 Ah, 12 VDC, selladas	250	Ah	14	300	4,200.00
2	Paneles FV	De acuerdo a las condiciones del diseño del sistema se utilizaron paneles de un potencia de 360 Wp	360	Wp	16	280	4,480.00
3	Regulador	El regulador de sobrecarga deberá soportar una intensidad de corriente máxima de 180 A	60	A	1	1800	1,800.00
4	Inversor	El inversor de tensión deberá soportar una potencia instantánea máxima de 2,300 W	2300	W	1	1400	1,400.00
5	Conmutador	Sistema conmutador de circuito, red eléctrica a sistema fotovoltaico, 2,300 W, 220 VAC	2300	W	1	400	400.00
						PRECIO TOTAL (\$)	12,280.00

Tabla 4.5: Costo de la implementación total del sistema de generación solar

Item	Descripcion	Descripción	Cant.	COSTO UNIT (Dolares)	COSTO TOTAL (Dolares)
1	Sistema de generacion fotovoltaico	Incluye todos los materiales y mano de obra	1	12280	12,280.00
2	Estructura	Incluye todos los materiales y mano de obra	2	850	1,700.00
3	Instalaciones eléctricas	Incluye cableado e interconexion del sistema de generacion fotovoltaico con el sistema de iluminacion	1	600	600.00
				PRECIO TOTAL (\$)	14,580.00

La duración de los paneles fotovoltaicos se estima de 25 años, al igual que para las lámparas LED, no se consideró los costos de las lámparas LED ya que actualmente se encuentran instaladas en la ampliación que realizaron al pabellón R.

En el análisis de costos también hay que considerar la vida útil de los componentes que forman parte del sistema de generación solar fotovoltaico, que de acuerdo a los fabricantes sería:

Tabla 4.6: Resumen del tiempo de vida útil de los componentes

Item	Equipo	Descripción	Cant.	Tiempo de vida util (años)
1	Baterías	Banco de Baterías, 250 Ah, 12 VDC, selladas	14	8
2	Paneles FV	De acuerdo a las condiciones del diseño del sistema se utilizaron paneles de un potencia de 360 Wp	16	25
3	Regulador	El regulador de sobrecarga deberá soportar una intensidad de corriente máxima de 180 A	1	10
4	Inversor	El inversor de tensión deberá soportar una potencia instantánea máxima de 2,300 W	1	10
5	Conmutador	Sistema conmutador de circuito, red eléctrica a sistema fotovoltaico, 2,300 W, 220 VAC	1	20

Entonces si se analiza el costo final del sistema solar fotovoltaico en un tiempo de 20 años no solo habría que considerar el costo de la inversión inicial sino también el costo de reposición de componentes de dicho sistema ya que no todos como se puede apreciar en la tabla anterior tienen una vida útil de 20 años o más.

Los componentes que encarecen más dicho sistema son las baterías, ya que son los segundos componentes más costosos de la instalación y además los que tienen menos tiempo de vida útil.

Costo de energía convencional

Según la tarifa vigente de la empresa concesionaria SEAL AREQUIPA, el tipo de tarifa que tiene la universidad es la MT3. Según se muestra a continuación:

Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad

Empresa: Seal

Pliego	Vigencia	Sector
AREQUIPA	4/Set/2018	2

	MEDIA TENSIÓN	UNIDAD	TARIFA
			Sin IGV
TARIFA MT2:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE DOS POTENCIAS 2E2P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.71
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	22.94
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	18.74
	Cargo por Potencia Activa de Generación en HP	S./kW-mes	54.33
	Cargo por Potencia Activa de Distribución en HP	S./kW-mes	11.30
	Cargo por Exceso de Potencia Activa de Distribución en HFP	S./kW-mes	12.01
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.28
TARIFA MT3:	TARIFA CON DOBLE MEDICIÓN DE ENERGÍA ACTIVA Y CONTRATACIÓN O MEDICIÓN DE UNA POTENCIA 2E1P		
	Cargo Fijo Mensual	S./mes	6.71
	Cargo por Energía Activa en Punta	ctm. S./kW.h	22.94
	Cargo por Energía Activa Fuera de Punta	ctm. S./kW.h	18.74
	Cargo por Potencia Activa de generación para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	50.60
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	24.97
	Cargo por Potencia Activa de redes de distribución para Usuarios:		
	Presentes en Punta	S./kW-mes	12.08
	Presentes Fuera de Punta	S./kW-mes	12.04
	Cargo por Energía Reactiva que exceda el 30% del total de la Energía Activa	ctm. S./kVar.h	4.28

Se ha calculado el costo de la energía consumida de acuerdo a la tarifa vigente, la Universidad tiene la opción tarifaria MT3, considerando además un consumo de energía de lunes a viernes, un costo de ctm S./KWH 22.94 en horas HP (Horas Punta), y de ctm S./KWH 18.74 en horas HFP (Horas fuera Punta), considerando

que cada día se utiliza la energía en horas punta de 18:00 a 21:00 (03 horas diarias).

Tabla 4.7: Resumen del consumo de la energía convencional en HP y HFP

Elementos de consumo	Potencia (W)	Nº de equipos	Tiempo HP h/día	Tiempo HFP h/día	Energía HFP (W.h)/día		Energía HP (W.h)/día		
	P	N			P·N·h/día		P·N·h/día		
ILUMINACION LABORATORIO 1	36	8	3	9	2592		864		
ILUMINACION LABORATORIO 2	36	12	3	9	3888		1296		
ILUMINACION LABORATORIO 3	36	12	3	9	3888		1296		
ILUMINACION LABORATORIO 4	36	6	3	9	1944		648		
ILUMINACION LABORATORIO 5	36	6	3	9	1944		648		
ILUMINACION LABORATORIO 6	36	6	3	9	1944		648		
ILUMINACION PASADIZOS	18	4	3	9	648		216		
Total E2					16848	Wh/día	5616	Wh/día	
(Considerando un factor de seguridad del 20%)					TOTAL	20217.6	Wh/día	6739.2	Wh/día
					TOTAL	26956.8	Wh/día		

Tabla 4.8: Resumen del costo de la energía convencional

Energía HP (KWh/día)	Energía HFP (KWh/día)	Cantidad (días/mes)	Energía HP (KWh/mes)	Energía HFP (KWh/mes)	COSTO MENSUAL ENERGIA HP (Soles)	COSTO MENSUAL ENERGIA HFP (Soles)	COSTO ANUAL ENERGIA (Soles)	COSTO 20 AÑOS ENERGIA (Soles)
6.7392	20.2176	26	175.22	525.66	40.20	98.51	1.664.44	33.288.84

De acuerdo al cuadro siguiente el costo de la energía solar fotovoltaica nos da un valor aproximado de ctm S./KWH 43.38 tanto para horas punta y fuera de punta, en comparación con los costos de la energía convencional estamos hablando de un 89.1% más costoso en comparación de la tarifa en HP y un 131.48% más costoso en comparación de la tarifa en HP.

Tabla 4.9: Resumen del costo de la energía solar fotovoltaica

Potencia (KW)	Energía total (KWh/día)	Cantidad (días/mes)	Energía Total (KWh/mes)	Energía total (KWh/año)	Energía 20 años (KWh/año)	Costo total sistema (\$)	Costo KWH (\$)	Costo KWH (SOLES) TC 3.32
1.872	26.956	26	700.86	8410.27	168,205.44	21,980.00	0.1307	0.4338

4.5. Especificaciones técnicas de montaje

a) Conductores Eléctricos

- Los conductores de mayor sección a 10 mm²., serán cableados.
- Los conductores serán continuos de caja a caja, sin interrupciones ni empalmes que queden dentro de las tuberías. Todos los empalmes se ejecutarán en las cajas y eléctrica y mecánicamente seguros, protegidos con cinta aislante plástica.
- Los empalmes de los conductores alimentadores entre el tablero general y los tableros de distribución eléctrica de cada servicio, se harán soldados o con grampas o terminales de Cobre electrolítico.
- Antes de proceder al alambrado, se limpiarán y secarán todos los tubos y e barnizarán todas las cajas. Además para facilitar el paso de los conductores a través de los electroductos se utilizará estearina o talco en polvo, no debiendo utilizarse de ningún modo grasas o aceites.
- Los alambrados de los conductores alimentadores y salidas de fuerza, serán ejecutados de conformidad con los planos de instalaciones eléctricas, pero controlando el número y calibre de los conductores con los Diagramas Eléctricos del sistema.

b) Paneles fotovoltaicos²⁷

Deberá de realizarse el Montaje de estructura y fijación de módulo, con Arandela Nylon. Cables y uso de terminales de presión, Prensa estopas y Uso de cajas de conexiones.

c) Pruebas

Antes de la colocación de los artefactos de alumbrado y aparatos de utilización se efectuarán las pruebas de toda la instalación. Las pruebas serán de resistencia de aislamiento a tierra y de resistencia de aislamiento entre conductores, debiendo efectuarse estas en cada circuito y alimentador.

²⁷ MANUAL DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAÍCOS, Max Gutiérrez Vargas

Para una tensión nominal de la instalación inferior o igual a 500 V la resistencia del aislamiento entre conductores o entre conductor y tierra deberá ser igual o mayor a 0.5 M , La tensión de ensayo será de 500 V de corriente continua durante 1 minuto.

El Constructor entregará una relación de las pruebas de aislamiento con los valores obtenidos por cada circuito y en cada tablero.

Los sistemas de puesta a tierra serán probados según los requerimientos de la Supervisión, por el Contratista al final de la obra, según esto las pruebas de medición de puesta a tierra deberán cumplir con los valores establecidos en las especificaciones técnicas de materiales y equipos. Para el sistema eléctrico el valor de la resistencia de puesta a tierra no deberá ser mayor a 25 Ohmios. Para el sistema de pararrayos el valor de la resistencia de puesta a tierra no deberá ser mayor a 10 Ohmios, de los tres pozos a tierra en conjunto. Para el sistema estabilizado de la red de datos el valor de la resistencia de puesta a tierra no deberá ser mayor a 5 Ohmios, de los dos pozos a tierra en conjunto.

- Instalación Módulos - Pruebas
- Prueba de circuito abierto
- Prueba de corto circuito
- Controlador desconectado
- Capacidad multímetro
- Altas tensiones
- Verificar estado físico general y de celda
- Cajas de conexiones

Aplicación del código nacional de electricidad utilización

Además de todo lo indicado en el plano y especificaciones, para el presente proyecto, rigen todas las disposiciones contempladas en el Código Nacional de Electricidad Utilización, última edición, y en caso de duda serán estas disposiciones valederas por encima de cualquier otra aquí indicada.

4.6. Especificaciones técnicas de materiales

El objetivo de las presentes Especificaciones Técnicas es definir las características de los trabajos a realizar para la provisión, instalación y puesta en servicio del alumbrado de los laboratorios del cuarto nivel del Pabellón R a través de energía fotovoltaica.

a) Seguridad

En la ejecución de los trabajos, el contratista deberá tomar todas las medidas de seguridad necesarias para la protección de su personal y de los transeúntes.

b) Documentación, Normativa y Certificados

Antes de iniciar las obras el contratista deberá entregar a las cartas de garantía de los equipos a instalar, las especificaciones, planos y anexos correspondientes de las obras a ejecutar y los certificados de cumplimiento de normas de los equipos solicitados en las presentes Especificaciones Técnicas.

c) Descripción del Sistema.

El sistema a implementar debe considerar, como mínimo, los elementos que se detallan a continuación:

- Paneles fotovoltaicos 16 x 360 Wp total.
- Luminaria LED, 220 V CA, de potencia entre 9W por lámpara y 36 W por luminaria. (Existente)
- Estructura de soporte de paneles.
- Regulador solar con salida de 24 V y 170 A (mínimo) para cargar batería de 24 V.
- Batería de tipo 14 x 250 Ah, tensión nominal banco 24V.
- Cable solar y conductor adecuado para la interconexión entre elementos.
- Conjunto de conectores y ferretería eléctrica necesaria para la instalación.

4.6.1. Especificaciones Técnicas Mínimas a Cumplir por Equipo.

4.6.1.1. Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos a utilizar en la implementación del alumbrado fotovoltaico, deben cumplir las siguientes características técnicas mínimas:

- a) Potencia peak mínima de 360 Wp total.
- b) Marco de aluminio anodizado.
- c) Caja de conexión posterior con protección IP65 o superior.
- d) Garantía de fabricación mayor o igual a 20 años.
- e) Garantía de potencia nominal mayor o igual al 80% a 25 años.
- f) Tolerancia de potencia igual o mayor a cero.
- g) Deberán ser nuevos y del mismo modelo.
- h) Cumplimiento de las normas IEC 61215 y 61730 o UL1703 según hoja de datos del panel.
- i) Se debe indicar configuración de conexión en caso de utilizar dos paneles.

No. de Modelo	SC350M
Garantía	
Garantía de Producto	20 Años
Características Eléctricas en STC	
Potencia Máxima (P _{max})	360 Wp
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (V _{mp})	38 V
Corriente en el punto de máxima potencia (I _{mp})	9.48 A
Tensión en Circuito Abierto (V _{oc})	46.0 V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	10.06 A
Eficiencia	18.54 %
Tolerancia de Potencia (±)	- 1.5 %

4.6.2. Regulador Solar o Regulador de Carga

El regulador solar a utilizar para el alumbrado fotovoltaico, debe cumplir con las siguientes especificaciones técnicas mínimas:

- a) Tipo PWM o MPPT. Corriente de carga a la salida mayor o igual a 60 A.
- b) Tensión nominal de salida de 24 V.
- c) Autoconsumo menor o igual a 10mA, o eficiencia máxima mayor a 95%.

- d) Tensión máxima de carga menor o igual a 28 V.
- e) Grado de protección mayor o igual a IP67.
- f) Debe implementar protección contra descarga profunda de la batería.
- g) Debe ser acorde con el campo fotovoltaico ofertado.
- h) Debe permitir el encendido y apagado de la luminaria LED de manera automática y por un período máximo de 12 horas por noche.
- i) Garantía mínima de 1 año y debe ser nuevo.
- j) Deberá instalarse protegido contra las inclemencias climáticas y actos vandálicos.

Controladores de carga BlueSolar con conexión rosca de MC4 PV
MPPT 150/45, MPPT 150/60, MPPT 150/70, MPPT 150/80, MPPT 150/100 www.victronenergy.com

**Controlador de carga solar
MPPT 150/70-Tr**

**Controlador de carga solar
MPPT 150/70-MC4**

Seguimiento del punto de potencia máxima

Curva superior:
Contenido de salida (I) de un panel solar como función de tensión de salida (V). El punto de máxima potencia (MPP) es el punto Pmax de la curva en el que el producto de la I x V alcanza su pico.

Curva inferior:
Potencia de salida P = I x V como función de tensión de salida. Si se utiliza un controlador PWM (no MPPT) la tensión de salida del panel solar será casi igual a la tensión de la batería, e inferior a Vmp.

Seguimiento ultrarrápido del punto de máxima potencia (MPPT, por sus siglas en inglés)
Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Detección Avanzada del Punto de Máxima Potencia en caso de nubosidad parcial
En casos de nubosidad parcial, pueden darse dos o más puntos de máxima potencia (MPP) en la curva de tensión de carga. Los MPPT convencionales tienden a seleccionar un MPP local, que pudiera no ser el MPP óptimo. El innovador algoritmo de BlueSolar maximizará siempre la recogida de energía seleccionando el MPP óptimo.

Excepcional eficiencia de conversión
Sin ventilador. La eficiencia máxima excede el 98%.

Algoritmo de carga flexible
Algoritmo de carga totalmente programable (consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web), y ocho algoritmos preprogramados, seleccionables mediante interruptor giratorio (ver manual para más información).

Amplia protección electrónica
Protección de sobretensión y reducción de potencia en caso de alta temperatura.
Protección de cortocircuito y polaridad inversa en los paneles FV.
Protección de corriente inversa FV.

Sensor de temperatura interna
Compensa la tensión de carga de absorción y flotación, en función de la temperatura.

Opciones de datos en pantalla en tiempo real
- Smartphones, tabletas y otros dispositivos Apple y Android
- módulo "Módulo inteligente de conexión VE.Direct a Bluetooth"
- Panel ColorControl

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 150/45	MPPT 150/60	MPPT 150/70	MPPT 150/80	MPPT 150/100
Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 V (se necesita una herramienta de software)				
Corriente de carga nominal	45 A	60 A	70 A	85 A	100 A
Potencia FV máxima, 12V 1a, 2h	650 W	860 W	1000 W	1200 W	1450 W
Potencia FV máxima, 24V 1a, 2h	1300 W	1720 W	2000 W	2400 W	2900 W
Potencia FV máxima, 48V 1a, 2h	2600 W	3440 W	4000 W	4800 W	5800 W
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo				
Eficiencia máxima	98 %				
Autoconsumo	10 mA				
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (ajustable)				
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (ajustable)				
Algoritmo de carga	variable multietapas				
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, 32 mV / °C temp.				
Protección	Polaridad inversa / Cortocircuito de salida / Sobretensión				
Temperatura de trabajo	-30 a 46°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				
Humedad	95 %, sin condensación				
Puerto de comunicación de datos y on-off remoto	VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web)				
Funcionamiento en paralelo	Sí (no sincronizado)				

CARACTERÍSTICAS	
Color	Azul (RAL 5012)
Terminales FV (2)	35 mm ² /AIG2 (modelos Tr), o conectores Dual MC4 (modelos MC4)
Bornes de batería	35 mm ² / AWR52
Tipo de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (gama de conexión)
Peso	3 kg
Dimensiones (al x an x pl)	Modelo Tr: 180 x 200 x 85 mm Modelo Tr: 180 x 200 x 103 mm Modelo MC4: 215 x 250 x 85 mm Modelo MC4: 248 x 250 x 103 mm

EFICIENCIAS	
Seguridad	EN/IEC 62109
(a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la potencia de entrada al máximo estipulado.	
(b) La tensión FV debe exceder en 2V la Vbat (tensión de la batería) para que arranque el controlador. Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.	
(c) Modelos MC4: se necesitarán varios separadores para conectar en paralelo las cadenas de paneles solares.	

Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1151 JG Almere | Países Bajos
Centralite: +31 (0)36 535 07 00 Fax: +31 (0)36 535 07 40
E-mail: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com

4.6.3. Batería

La batería a utilizar en la implementación del alumbrado fotovoltaico, debe cumplir con las siguientes características técnicas mínimas:

- a) Se deberá contar con un banco de batería de ciclo profundo del tipo VRLA (Valve regulated lead-acid) sellada, de libre mantención y estacionaria. La cual podrán ser del tipo AGM o GEL.
- b) Deberá ser de tensión nominal 12 V y capacidad nominal mayor o igual a 250 Ah según C10 (descarga a 10 horas). Se aplicarán factores de corrección en caso que la capacidad de la batería no se indique según C10.
- c) Se deben utilizar baterías nuevas, de igual marca, modelo y capacidad.

Datos Técnicos:

- Batería ELTRIK modelo LP12-250
- Ciclo Profundo VRLA AGM, sellada, libre de mantención.
- Capacidad 250Ah (C10)
- Voltaje 12V
- Dimensiones 226 X 522 X 268 mm (alto x largo x ancho)
- Teminal T11
- Peso 72,5 Kg

4.6.4. Inversor

El inversor Clayton de onda pura 2324 ofrece una potencia de 2300W y convierte el voltaje de 24V a 230V. A diferencia de los simples inversores de onda modificada, los inversores de onda pura generan una onda real y de la misma calidad que la de la compañía eléctrica. Este tipo de onda es necesaria para que funcionen electrodomésticos de electrónica sensible como neveras, congeladores, lavadoras, lavavajillas, etc. Damia Solar siempre recomienda el uso de este tipo de inversor para garantizar el buen funcionamiento de todo tipo de aparatos eléctricos. El inversor senoidal Clayton 2300W permite un pico de arranque de 3000W y una potencia extra durante 15 minutos de 2500W. Entre sus principales características, destaca por disponer de un sistema de protección por bajo voltaje,

el cual desconecta el inversor cuando hay peligro de descarga total de la batería solar.

Características:

- Diagnóstico LED
- Conversión del voltaje: de 24V a 230V.
- Potencia nominal en vatios: 2300W.
- Potencia extra durante 15 minutos: 2500W.
- Pico de potencia: 3000W.
- Eficiencia del inversor: 90%
- Autoconsumo en vacío: 15W.
- Protección por cortocircuito de salida.
- Protección por sobrecarga.
- Sistema de desconexión por tensión de la batería demasiado baja.
- Peso: 9,5 Kg.
- Dimensiones: 535 x 270 x 275 mm.

4.6.5. Garantía y Mantenimiento

El contratista deberá asegurar la mantención adecuada de los equipos, así como también la garantía en caso de falla del sistema fotovoltaico por un periodo de a lo menos 2 años.

CONCLUSIONES

1. Se ha efectuado el proyecto de iluminación, considerando luminarias tipo LED de bajo consumo y logrando los valores de iluminación recomendados por el Reglamento Nacional de Edificaciones y los planos de arquitectura de la distribución, se consiguió una distribución óptima que cumple la norma.
2. Se ha diseñado un Sistema de energía solar con paneles fotovoltaicos de alta eficiencia de 360Wp, Se requieren 16 paneles de 360Wp, 14 baterías de 250 Ah/12V, 1 controladores de 170A/24V y 1 inversores de 2300W/24V para una demanda energética de 26,956Wh/día de consumo diario (iluminación de los laboratorios del cuarto nivel del Pabellón R). Los paneles estarán dispuestos en 2 filas de 8 paneles c/u, con una inclinación de 15 grados. Las baterías permitirán una autonomía de 1 día. Además para la implementación del sistema de energía solar se requiere una inversión inicial de USD 14,580; sin embargo, a lo largo de los 20 años de vida se tienen que renovar diferentes componentes, de acuerdo al tiempo de vida útil de cada uno, considerando que solo el panel tiene una vida útil de hasta 25 años, mientras que el resto de componentes varían de entre 8 a 10 años de vida útil, lo cual genera una inversión total de USD 21,980. De acuerdo a la demanda de energía para la cual fue diseñado el sistema, y los costos asociados a la implementación del sistema a lo largo de 20 años, el costo de kWh producido de la energía solar fotovoltaica nos da un valor aproximado de ctm S./KWH 43.38 tanto para horas punta y fuera de punta, en comparación con los costos de la energía convencional para la opción tarifaria MT3, un costo de ctm S./KWH 22.94 en horas HP (Horas Punta), y de ctm S./KWH 18.74 en horas HFP (Horas fuera Punta) entonces estamos hablando de un 89.1% más costoso en comparación de la tarifa en HP y un 131.48% más costoso en comparación de la tarifa en HFP, es decir que el sistema no sería rentable respecto de la tarifa de energía proveniente de la red eléctrica. Pero dicha factibilidad del proyecto no debe ser una decisión netamente económica. Se deben tomar en cuenta varios factores, que se lograrían al implementar dichos sistemas en nuestra Universidad, tales como:
 - Difundir y fomentar el interés del uso e investigación de los recursos

- energéticos renovables para los alumnos de nuestra Facultad.
- Una buena estrategia de marketing institucional.
 - La implementación de este proyecto se puede adaptar para ser utilizado como un laboratorio experimental.
 - Contribución a la mejora del medio ambiente al reducir de emisiones de gases de efecto invernadero.
3. Considerando que la Universidad Católica no es una empresa con fines de lucro sino que sobre todo apoya el aspecto de investigación en todos los niveles de pregrado y postgrado, además en cumplimiento con el Decreto Supremo N°009-2009-MINAM, que establece medidas de ecoeficiencia para el sector público. Además Arequipa es una ciudad privilegiada en lo que respecta a recursos solares, cuenta con una amplia superficie de áreas libres en la provincia y con altos niveles de radiación solar durante prácticamente durante todo el año. Pudiendo utilizarse no solo áreas libres sino que también en el caso de nuestro campus, todas las azoteas de los pabellones para instalar paneles fotovoltaicos.
4. Se ha seleccionado un Sistema conmutador del circuito, que conecte la red eléctrica a sistema fotovoltaico, de potencia de 2300 W, 220 VAC que deba de conmutar en forma automática entre energía eléctrica proporcionada por paneles solares y la red eléctrica convencional.
5. Se ha analizado las diferentes alternativas de lámparas para la iluminación de los ambientes, eligiendo finalmente lámparas tubulares tipo LED de 9W para las luminarias existentes. Según la comparación realizada para distintos tipos de lámparas y potencias, se pueden observar ventajas y desventajas para cada uno de los tipos. Por ejemplo para la lámpara incandescente la principal desventaja es su baja eficiencia energética, ya que desperdicia la mayor parte de la energía en calor, mientras que su única ventaja es su bajo precio. Para el caso de las LFC (lámparas ahorradoras compactas), sus ventajas principales son un consumo energético relativamente bajo y precio asequible, aunque su principal desventaja es lo peligrosas que se vuelven una vez que termina su vida útil, por su contenido de mercurio y además su tiempo de vida útil no supera los 15,000 horas en el mejor de los casos. Por último, para las

lámparas tipo LED ,su principal desventaja, actualmente, es su precio elevado, mientras que las ventajas que entregan con su bajo consumo energético, gran cantidad de vida útil dependiendo de su fuente de continua que puede ser hasta de 100,000 horas y alto grado de eficiencia, las hacen una alternativa factible para aplicaciones donde se demanden largos periodos de luz artificial.

6. Como conclusión final podemos decir que es viable técnicamente, pero no económicamente implementar un sistema fotovoltaico de tipo autónomo aun cuando el potencial energético solar en la ciudad de Arequipa es alto ya que La escasa masificación de las instalaciones fotovoltaicas en nuestro país, provoca que los costos asociados a la instalación sean excesivamente elevados, haciéndolos poco rentables, y si hablamos de los sistemas de generación solar interconectados a la red de los usuarios finales, aun no existe la normatividad para regular dicha inyección de energía a la red, ni tampoco los dispositivos de medición bidireccional necesarios para este tipo de generación que se ahorraría las baterías para que su implementación no sea tan costosa. La tecnología si existe, pero aun las empresas concesionarias como SEAL en el caso de Arequipa no realiza la instalación de dichos equipos.

RECOMENDACIONES

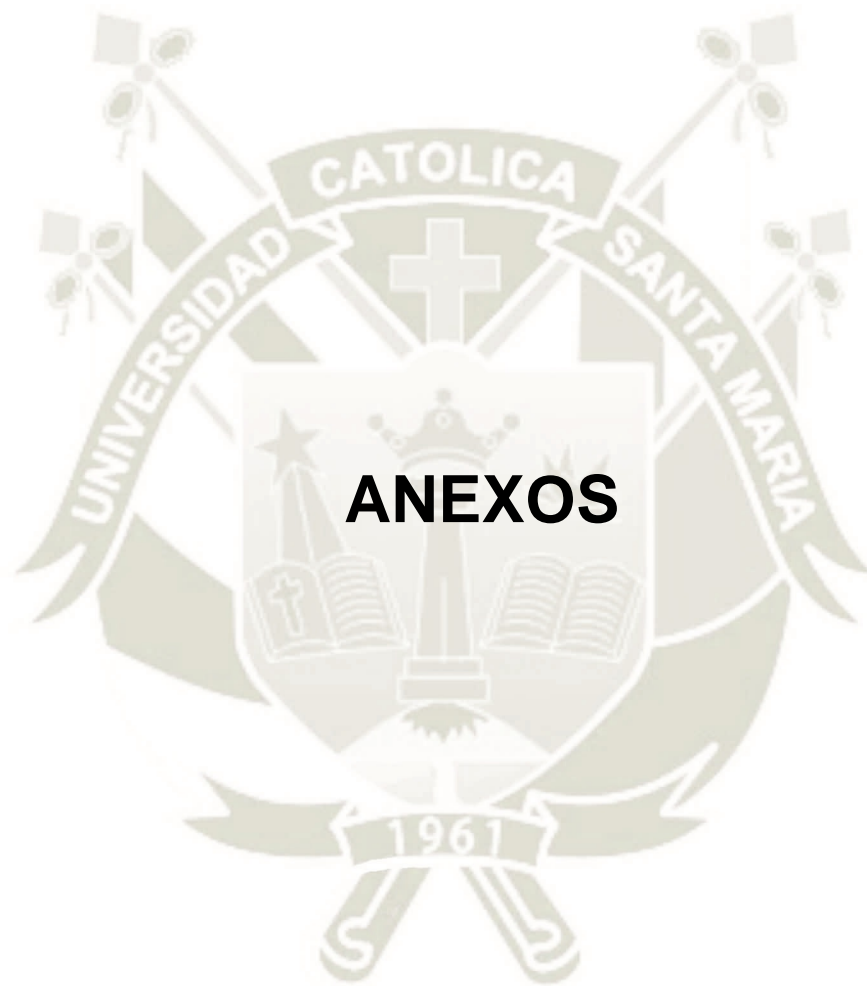
1. Es importante mencionar, que si bien es cierto el presente estudio solo ha sido realizado para el sistema de iluminación de los laboratorios del cuarto nivel del Pabellón R, ocupando aproximadamente 45m², y considerando que tenemos solo en ese pabellón una azotea con área disponible de 430m², sería bueno ampliar el estudio para abastecer más cargas eléctricas y alimentar no solo un nivel sino todo el pabellón R con el sistema de generación solar. Y es más considerando que se tienen libres casi todas las azoteas de los pabellones, campo deportivo y comedor de la UCSM, en todas ellas debería de instalarse, previo estudio un sistema de generación solar por lo menos que abastezca el 100% de las cargas de iluminación de nuestro campus universitario, y ser así la primera Universidad en Arequipa en liderar y fomentar el uso de las Energías Renovables.
2. Se recomienda la implementación del presente estudio para su estudio y pruebas posteriores en los cursos de pregrado de nuestra Escuela y Facultad.
3. Se recomienda también realizar campañas en nuestro campo sobre una utilización responsable de los recursos energéticos, ya que se puede observar en todo el campus computadoras e iluminación encendidas en ambientes vacíos o con poca habitabilidad, sería bueno además medir el consumo eléctrico en cada pabellón con equipos registradores para hacer un seguimiento del consumo eléctrico, y tal vez hasta incentivar de alguna manera a aquellos usuarios de los pabellones donde se disminuya el consumo de energía mes a mes.
4. Se recomienda el cambio o reemplazo de todas las lámparas del campus universitario por Tipo LED o en todo caso también la independización de circuitos de iluminación y no se enciendan todas las lámparas a la vez en los ambientes.

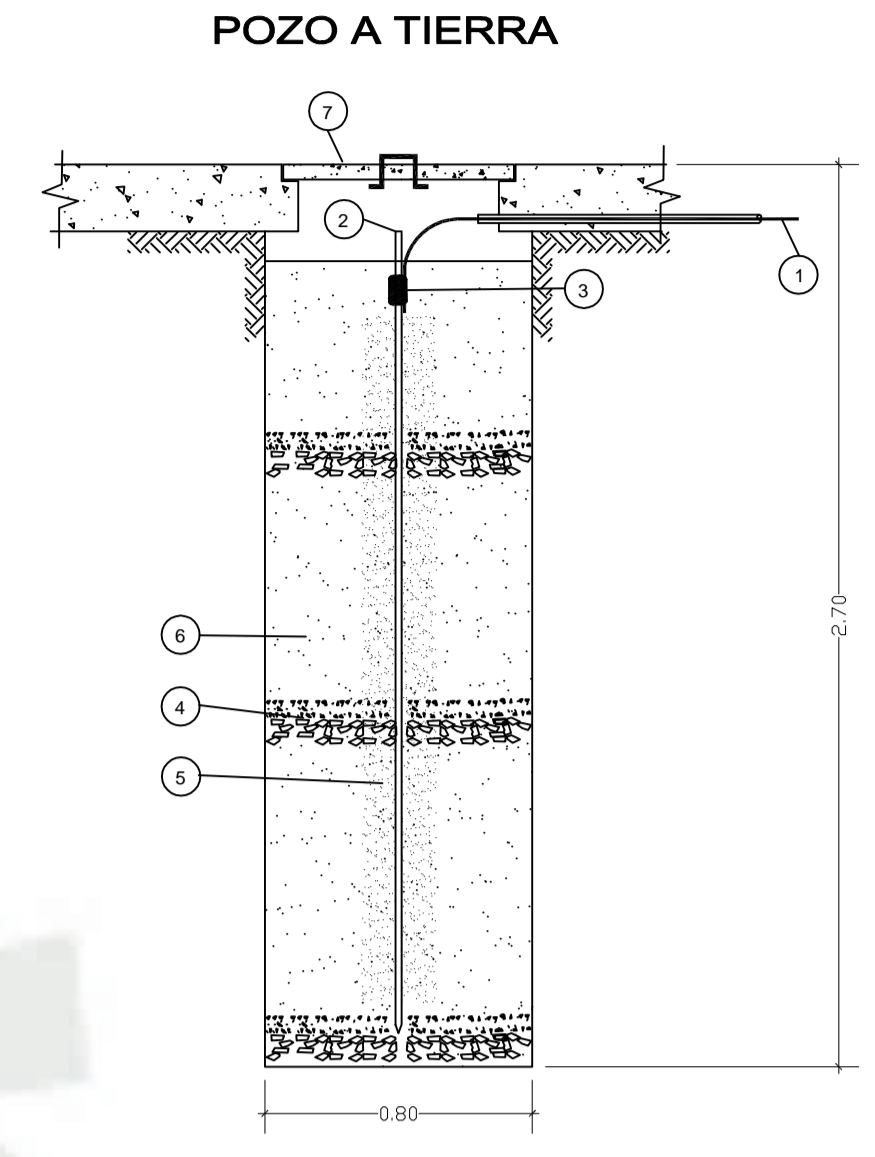
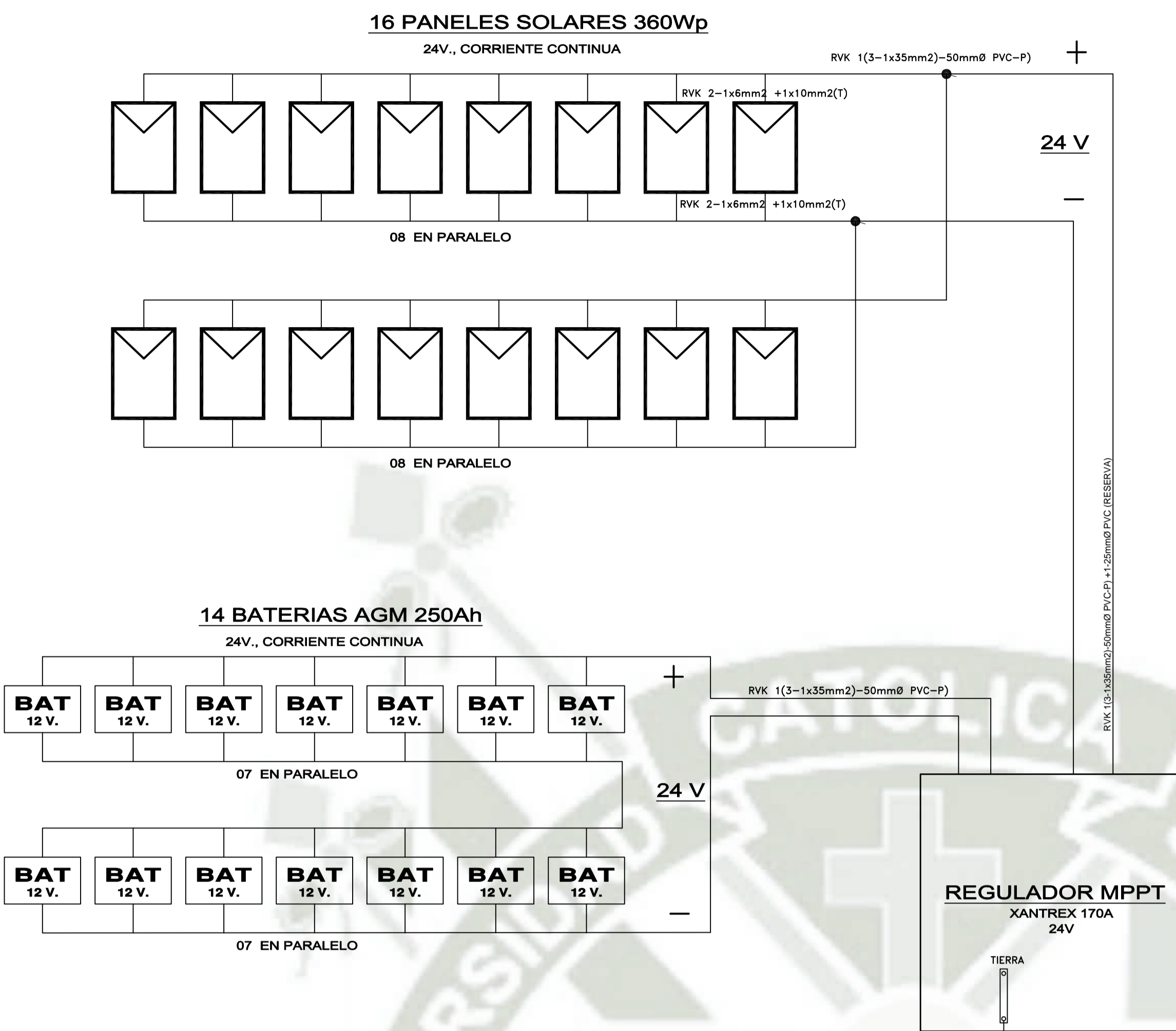
5. Se recomienda restringir el uso de ascensores y el uso solo de aquellos equipos que posean una menor eficiencia de utilización de la energía. Con respecto a la utilización de etiquetas de eficiencia energética en refrigeradores, congeladores y lámparas, es una medida que ayuda en el proceso de elección del equipo



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

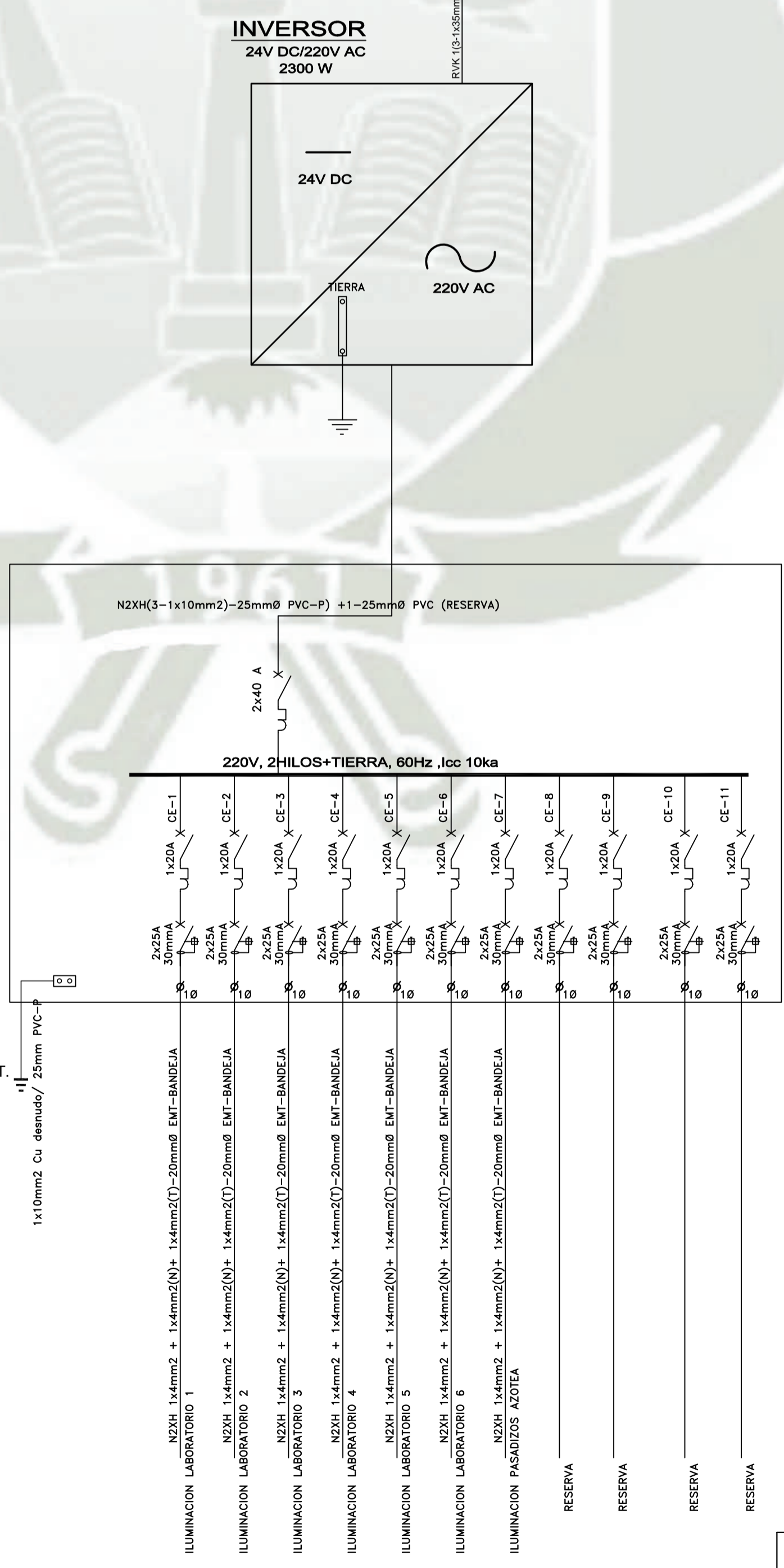
1. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, 2005 Resolución Directorial N° 030-2005 EM/DGE. Reglamento técnico“Especificaciones técnicas y ensayos de los componentes de sistemas fotovoltaicos domésticos hasta 500 Wp”. 22 de Marzo.
2. MEDINA QUESADA, María de los Ángeles2010 Generación de Energía Eléctrica con sistemas fotovoltaicos conectados ala red.1era Edición. Madrid: Abecedario.
3. HADZICH MARÍN, Miguel A.2006 Curso en línea “Selección de sistemas fotovoltaicos”. Lima
4. SARMIENTO, P. 1995. Energía Solar: Aplicaciones e Ingeniería.
5. Manual de Iluminación Philips, 1995
6. Manual de Luminotecnia OSRAM, 2004
7. Harper Enríquez, G. 2003, Manual Práctico del Alumbrado, Primera Edición.
8. Código Nacional Electricidad –Utilización 2006
9. Reglamento Nacional de Edificaciones
10. Normas DGE “Terminología en Electricidad” y “Símbolos Gráficos en Electricidad”.
11. Energía Solar, Selección del Equipo, Instalación y Aprovechamiento, Richardsd H Montgomery, LIMUSA 1994 México D.F.
12. SARMIENTO, P.1995.Energía Solar: Aplicaciones e Ingeniería.





ITEM.	CANT.	DESCRIPCION
1	-	CONDUCTOR Cu. DESNUDO, CABLEADO
2	1	VARILLA DISPERSORA DE COBRE Ø 3/4" x 2.40 m.
3	1	CONECTOR ANDERSEN
4	100 Kg.	CEMENTO CONDUCTIVO
5	80 Kg.	BENTONITA SODICA
6	2 m ³	TIERRA COMUN CERNIDA
7	1	TAPA CUADRADA DE REGISTRO DE C-A" DE Ø 70x70x0.05 m. CON SEÑALIZACION DE PUESTA A TIERRA

LEYENDA B.T.	
	INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO, 400 V, 60 Hz
	INVERSOR DC/AC
	PANEL SOLAR 360 Wp
	MEDIDOR MULTIFUNCION CON PUERTO DE COMUNICACION
	LAMPARAS DE SEÑALIZACION, PRESENCIA DE TENSION
	INTERRUPTOR DIFERENCIAL 30 mA
	BATERIA 12 V, AGM 250 Ah
	CONEXION A TIERRA DEL EQUIPO



ORDEN DE UN SISTEMA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LA ILUMINACION DE LOS LABORATORIOS DE ELECTRICIDAD DEL PABELLON R DE LA UCSM.

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELECTRICA Y MECATRONICA
 INSTALACIONES ELECTRICAS, DIAGRAMA UNIFILAR

HAREILA MARIANI RAMOS
 Calle Samuel Velarde Umacollo
 Cercado - Arequipa

IE-03

1:50

ENERO 2024

Specification

Nominal Voltage	12V
Nominal Capacity(10HR)	250.0AH
Dimensions	Length 522±3mm (20.55 inches)
	Width 268±3mm (10.55 inches)
	Container Height 220±3mm (8.66 inches)
	Total Height (with Terminal) 226±3mm (8.90 inches)
Approx Weight	Approx 72.5 kg (160.0lbs)
Terminal	T11
Container Material	ABS
Rated Capacity	260.0 AH/13.0A (20hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	250.0 AH/25.0A (10hr, 1.80V/cell, 25°C/77°F)
	215.0 AH/43.0A (5hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	195.3 AH/65.1A (3hr, 1.75V/cell, 25°C/77°F)
	152.5 AH/152.5A (1hr, 1.60V/cell, 25°C/77°F)
Max. Discharge Current	2500A (5s)
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ
Operating Temp. Range	Discharge : -15~50°C (5~122°F)
	Charge : 0~40°C (32~104°F)
	Storage : -15~40°C (5~104°F)
Nominal Operating Temp. Range	25±3°C (77±5°F)
Cycle Use	Initial Charging Current less than 75.0A. Voltage 14.4V~15.0V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -30mV/°C
	No limit on Initial Charging Current Voltage 13.5V~13.8V at 25°C(77°F)Temp. Coefficient -20mV/°C
Standby Use	
Capacity affected by Temperature	40°C (104°F) 103%
	25°C (77°F) 100%
	0°C (32°F) 86%
Self Discharge	Eltrik LP series batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77°F) and then a freshening charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.



Applications

- ◆ All purpose
- ◆ Uninterruptable Power Supply (UPS)
- ◆ Electric Power System (EPS)
- ◆ Emergency backup power supply
- ◆ Emergency light
- ◆ Railway signal
- ◆ Aircraft signal
- ◆ Alarm and security system
- ◆ Electronic apparatus and equipment
- ◆ Communication power supply
- ◆ DC power supply
- ◆ Auto control system



Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)

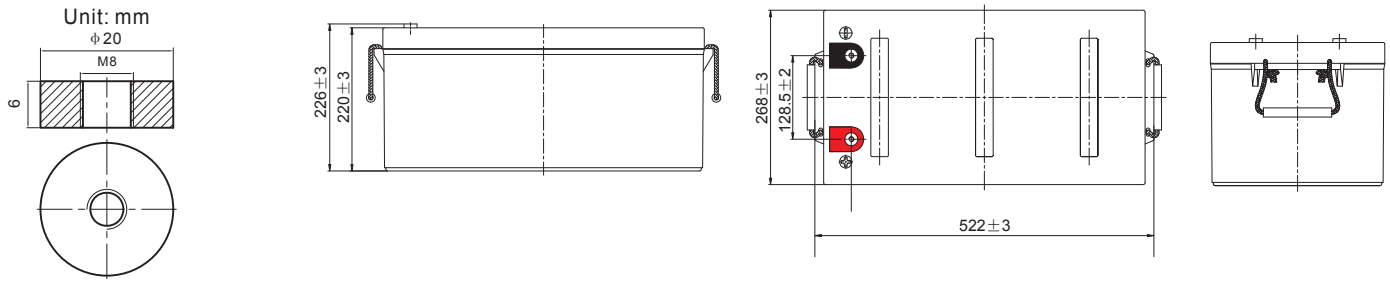
F.V/Time	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	336.4	286.1	239.3	190.2	143.9	117.9	75.1	59.4	48.5	39.1	34.0	27.6	23.6	12.9
1.80V/cell	429.8	345.7	282.9	224.4	167.4	132.0	81.9	63.9	51.8	42.0	36.5	29.3	25.0	13.0
1.75V/cell	472.3	377.6	304.3	233.0	173.7	138.1	85.0	65.1	52.9	43.0	37.5	29.8	25.3	13.1
1.70V/cell	/	403.1	319.8	242.5	180.7	142.5	88.4	66.9	54.3	44.2	38.3	30.2	25.5	13.4
1.65V/cell	/	428.6	339.7	255.8	185.2	147.3	90.8	69.7	56.2	45.4	39.1	30.7	26.0	13.5
1.60V/cell	/	458.4	361.9	270.1	193.0	152.5	93.9	71.9	58.0	46.9	40.0	31.0	26.3	13.6

Constant Power Discharge (Watts/cell) at 25 °C (77°F)

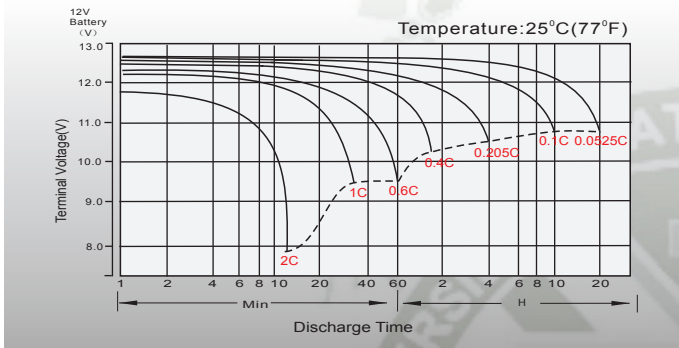
F.V/Time	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	621.4	533.8	451.0	362.5	276.7	227.3	145.8	115.7	94.8	76.6	66.9	54.5	46.7	25.5
1.80V/cell	784.6	636.3	525.3	421.2	319.3	253.3	158.0	123.8	100.7	81.9	71.5	57.7	49.4	25.7
1.75V/cell	848.3	686.5	559.7	433.6	328.2	263.8	163.3	125.6	102.6	83.8	73.2	58.5	49.8	25.9
1.70V/cell	/	722.7	583.8	448.8	340.0	271.2	169.4	128.9	105.1	85.7	74.6	59.3	50.3	26.4
1.65V/cell	/	762.6	615.6	469.6	345.4	278.3	173.2	133.7	108.3	87.8	76.0	60.1	51.2	26.7
1.60V/cell	/	802.1	648.6	492.3	358.0	286.7	178.1	137.2	111.3	90.4	77.4	60.5	51.7	26.8

Dimensions

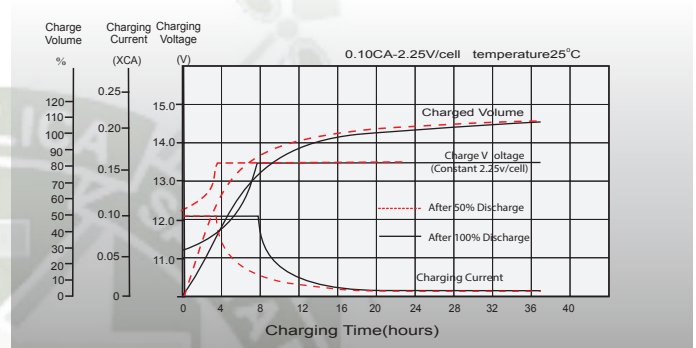
T11 Terminal



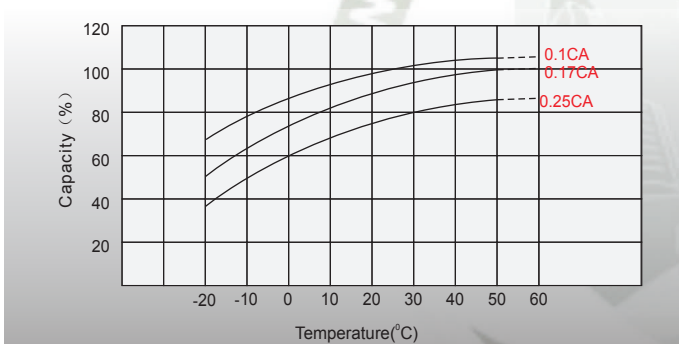
Discharge Characteristics



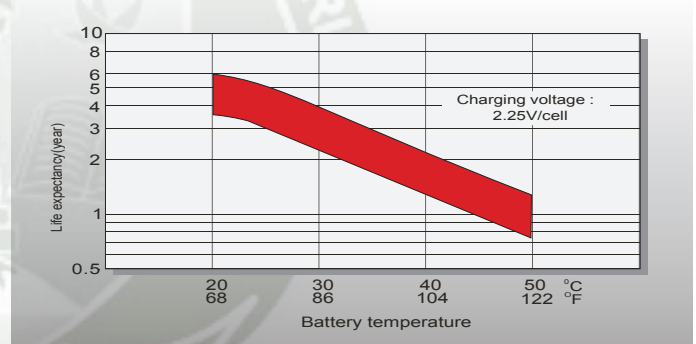
Float Charging Characteristics



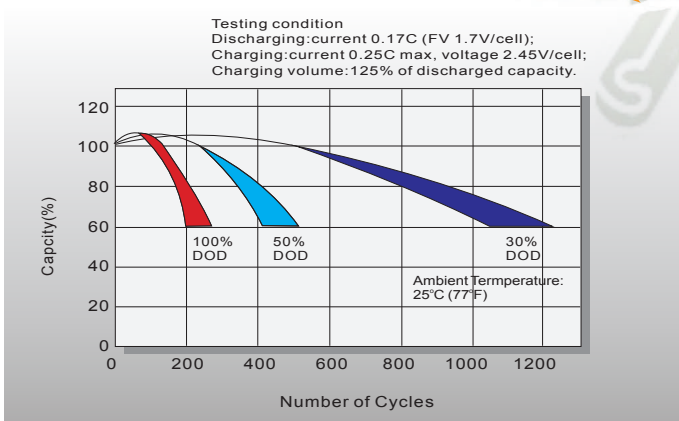
Temperature Effects in Relation to Battery Capacity



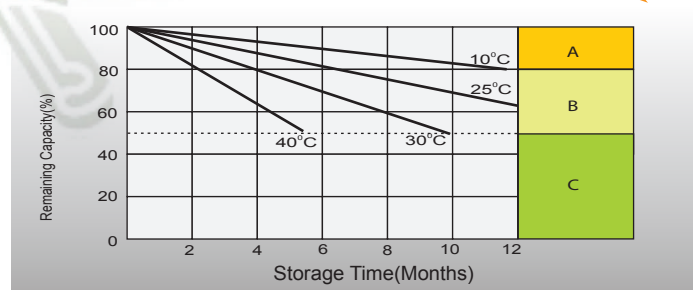
Effect of Temperature on Long Term Float Life



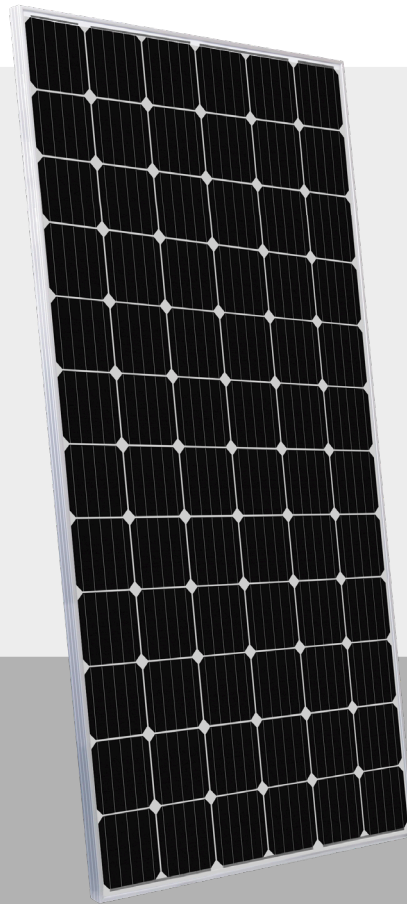
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



Self Discharge Characteristics



- A** No supplementary charge required
(Carry out supplementary charge before use if 100% capacity is required.)
- B** Supplementary charge required before use. Optional charging way as below:
1. Charged for above 3 days at limited current 0.25CA and constant voltage 2.25V/cell.
2. Charged for above 20 hours at limited current 0.25CA and constant voltage 2.45V/cell.
3. Charged for 8-10 hours at limited current 0.05CA.
- C** Supplementary charge may often fail to recover the capacity.
The battery should never be left standing till this is reached.



PERC TECHNOLOGY*
Passivated Emitter and Rear Cell



30 YEAR LINEAR POWER WARRANTY
ANNI GARANZIA LINEARE PRODUZIONE

20 YEAR PRODUCT WARRANTY
ANNI GARANZIA PRODOTTO

HIGH POWER LINE

SG360M

 "MADE IN ITALY" MODULE

PEIMAR monocrystalline solar panels, produced using a combination of innovative production processes and advanced engineering techniques, provide customers with maximum output and super high performance (over 20% efficiency). This allows fewer panels to be used to generate more energy, ideal if space is restricted or environmental conditions are challenging. Modern design and frames and a very long lifespan ensure this monocrystalline are a great option.

*Thanks to the use of **PERC** cells, PEIMAR modules are able to reach even higher efficiencies, as they facilitate the light imprisonment in close proximity to the rear surface and optimise the electron capture.



POSITIVE POWER OUTPUT TOLERANCE



MODULE FIRE PERFORMANCE: **CLASS I**



ANTI-REFLECTIVE GLASS



HAILSTORM RESISTANCE

CELLS

72
MONO



QTY:
72 CELLS
TYPE:
MONO 5BB
PERC TECHNOLOGY ⚡
DIMENSION:
156x156 mm / 6x6"

FRAME



BACKSHEET



JUNCTION BOX



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (STC)*

	SG360M
Nominal Output (Pmax)	360 W
Flash Test Power Tolerance	0/+5 W
Voltage at Pmax (Vmp)	38 V
Current at Pmax (Imp)	9.48 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.6 V
Short Circuit Current (Isc)	10.09 A
Maximum System Voltage	1500 V
Maximum Series Fuse Rating	15 A
Module Efficiency	18.54%

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Solar Cells	72 (6x12) monocrystalline PERC
Solar Cells Size	156x156 mm / 6x6"
Front Cover	3.2 mm / 0.12" thick, low iron tempered glass
Back Cover	TPT (Tedlar-PET-Tedlar)
Encapsulant	EVA (Ethylene vinyl acetate)
Frame	Anodized aluminium alloy, double wall
Frame finishing	Silver
Backsheet finishing	White
Diodes	3 Bypass diodes serviceable
Junction Box	IP67 rated
Connector	MC4 or compatible connector
Cables Length	900 mm / 35.4"
Cables Section	4.0 mm ² / 0.006 in ²
Dimensions	1957x992x40 mm / 77x39x1.57"
Weight	22.5 Kg / 49.6 lbs
Max. Load	Certified to 5400 Pa

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT**	45±2 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.40 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.32 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.047 %/°C
Operating Temperature	-40 °C ~ +85°C

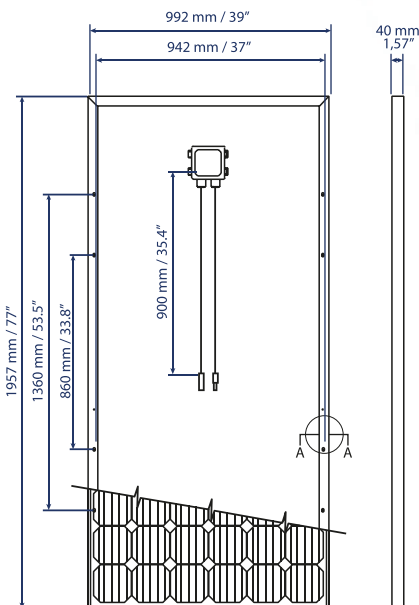
PACKAGING***

Pallet dimensions	2000x1200x1200 mm / 79x47x47"
Pieces per pallet	27
Weight	622 Kg / 1371 lbs

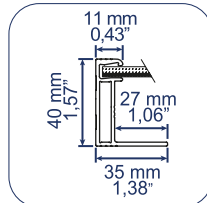
CERTIFICATIONS

Fire Resistance Rating	1 (UNI 9177)
------------------------	--------------

DIMENSIONS

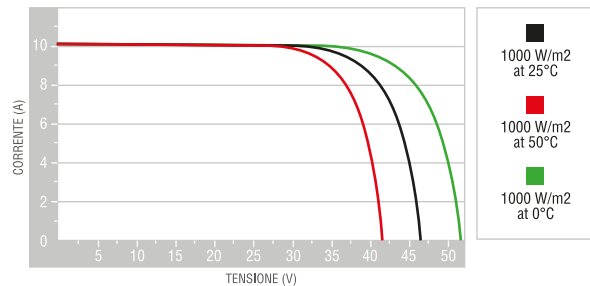
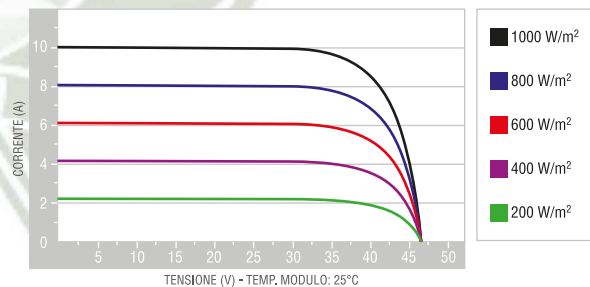


SECTION A-A



CURRENT/VOLTAGE CHARACTERISTICS

Values apply to modules: SG360M



*STC: (Standard Test Condition) Irradiance 1000W/m²; Module Temperature 25°C; Air Mass 1.5

**NOCT: (Nominal Operation Cell Temperature) Sun 800W/m²; Air 20°C; Wind speed 1m/s

***Pallets can be stacked up to two

It is important to point out, that all technical specifications, information and figures contained in this datasheet are estimated values. Peimar reserves the right to change the technical specifications, information and figures contained in this document at any time without notice.

WW_VERS 1_08/2018

PEIMAR
ITALIAN PHOTOVOLTAIC MODULES

Via Creta 72, 25124 Brescia, ITALY • www.peimar.com • info@peimar.com