

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

“Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote”

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Energía

Autor:

Bach. Acero Roncal Kevin

Asesor:

Dr. Aranguri Cayetano Denis Javier

Código ORCID: 0000-0002-6119-2072

Nuevo Chimbote – Perú

2023-05-25

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

El presente Informe Final de Tesis ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 580-2022-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Energía

“Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote”

AUTOR:

Bachiller Kevin Acero Roncal

Dr. Aranguri Cayetano Denis Javier

ASESOR

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍA

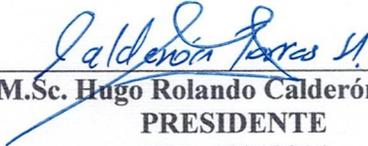


UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

Terminada la sustentación de la tesis titulada: “ESTUDIO DEL POTENCIAL DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE”; sustentada el día 25 de mayo del 2023.

Tiene la aprobación del jurado evaluador, quienes firmaron en señal de la conformidad.


M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres
PRESIDENTE
DNI: 32913914
Código ORCID: 0000-0002-0210-5565


M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello
SECRETARIO
DNI: 32850228
Código ORCID: 0000-0001-9950-2999


Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano
INTEGRANTE
DNI: 42009679
Código ORCID: 0000-0002-6119-2072

Nuevo Chimbote – Perú
2023



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los 25 días del mes de mayo del año dos mil veintitrés, siendo las once horas de la mañana, se reunieron en el aula E3 de la EPIE, el Jurado Evaluador designado mediante T/ Resolución N°111-2023-UNS-CFI de fecha 20.02.2023, integrado por los siguientes docentes:

- M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres Presidente
- M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello Secretario
- Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano Integrante

Y según la T/Resolución Decanal N° 297-2023-UNS-FI de fecha 23.05.23, se declara expedito al bachiller para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: **"ESTUDIO DEL POTENCIAL DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE"** elaborado por el Bachiller de Ingeniería en Energía: **ACERO RONCAL KEVIN** con código de matrícula N° 0201611029, teniendo como asesor al docente **Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano**, según T/Resolución Decanal N° 261-2022-UNS-FI de fecha 23.05.22.

Terminada la sustentación del Bachiller, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con el artículo 103° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
ACERO RONCAL KEVIN	18	Bueno

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.


M.Sc. Hugo Rolando Calderón Torres
PRESIDENTE


Dr. Denis Javier Arangurí Cayetano
INTEGRANTE


M.Sc. Julio Hipólito Néstor Escate Ravello
SECRETARIO



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Kevin Acero Roncal
Título del ejercicio: Turnitin UNS
Título de la entrega: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire ac...
Nombre del archivo: INFORME_FINAL_TESIS_ACERO_RONCAL_KEVIN.pdf
Tamaño del archivo: 13.86M
Total páginas: 267
Total de palabras: 66,609
Total de caracteres: 341,763
Fecha de entrega: 02-jun.-2023 05:19a. m. (UTC-0700)
Identificador de la entre... 2107439499

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

"Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote"

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Energía

Autor:

Bach. Acero Roncal Kevin

Asesor:

Dr. Aranguri Cayetano Denis Javier

Código ORCID: 0000-0002-6119-2072

Nuevo Chimbote – Perú

2023-05-25

DEDICATORIA

El presente Informe Final de Tesis, va dedicado a mi madre, mi padre, mi hermano y mis mascotas Yupi, Mafi y Peke.

A mis padres, quienes me han guiado desde muy pequeño y me han dado todas las facilidades y la oportunidad para desarrollarme en el mundo académico.

A mi hermano, que ha sido un ejemplo para mí desde que tengo uso de razón en el aspecto personal y profesional.

A mis mascotas Yupi, Mafi y Peke, que son parte de mi vida y parte de mi familia.

Es debido a su influencia en mí, que pretendo seguir mejorando y desenvolverme de la mejor forma en mi carrera profesional y en el ámbito personal.

Kevin Acero Roncal

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano, quien aceptó el desafío de guiarme, brindándome las sugerencias y recomendaciones para elaborar y mejorar la presente investigación, siendo para mí un gran ejemplo de profesionalismo.

A todos los docentes que me han impartido grandes conocimientos a lo largo de mi carrera universitaria, siendo fundamentales para mi crecimiento académico. A todo el personal administrativo y también al personal de servicios de la E.A.P. de Ingeniería en Energía y de la Universidad Nacional del Santa, que me apoyaron en mi camino universitario. De igual forma a mis amigos, compañeros y futuros colegas de la promoción 2016, por acompañarme en este largo camino.

A la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote, en especial a la directora Mg. Guadalupe del Carmen Balta Sevillano, por brindarme la oportunidad de desarrollar y elaborar el tema de mi tesis en sus instalaciones, contribuyendo con mi desarrollo profesional.

El autor

ÍNDICE GENERAL

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. Antecedentes internacionales	1
1.1.2. Antecedentes nacionales.....	3
1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	6
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	8
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	9
1.6. JUSTIFICACIÓN	9
1.7. LIMITACIONES DEL TRABAJO	10
II. MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. CLIMATIZACIÓN.....	11
2.1.1. Sistema de aire acondicionado	12
2.1.2. Ciclo de funcionamiento por compresión de vapor.....	12
2.1.3. Sistema de aire acondicionado tipo Split.....	14
2.2. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA.....	15
2.3. CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN	16
2.3.1. Cargas de refrigeración externas	18
2.3.2. Cargas de refrigeración internas:.....	24
2.3.3. Cargas de refrigeración por infiltración y/o ventilación.....	28

2.4.	CARGA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN	32
2.4.1.	Pérdidas de calor externas	33
2.4.2.	Pérdidas de calor por infiltración y/o ventilación.....	35
2.5.	FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA SOLAR.....	36
2.5.1.	Radiación solar	37
2.5.2.	Irradiancia.....	39
2.5.3.	Irradiación.....	39
2.5.4.	Hora solar pico	40
2.5.5.	Coordenadas solares	40
2.6.	SISTEMA FOTOVOLTAICO	42
2.7.	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED (SFCR).....	42
2.7.1.	Componentes del SFCR	43
2.8.	DIMENSIONAMIENTO DEL SFCR.....	58
2.8.1.	Ubicación geográfica y recurso solar	59
2.8.2.	Análisis del recurso solar.....	59
2.8.3.	Orientación e inclinación del sistema fotovoltaico.....	60
2.8.4.	Radiación solar diaria promedio mensual	61
2.8.5.	Requerimiento diario de energía.....	63
2.8.6.	Rendimiento del sistema fotovoltaico	63
2.8.7.	Potencia del generador fotovoltaico	68
2.8.8.	Dimensionamiento y configuración eléctrica de los paneles fotovoltaicos...	69
2.8.9.	Dimensionamiento y configuración del inversor.....	74
2.8.10.	Cálculo del cableado.....	78
2.8.11.	Cálculo de los equipos de protección y maniobra	80
2.8.12.	Distancia de sombra.....	84
2.9.	INDICADORES PARA EL ESTUDIO DEL SISTEMA.....	86
2.9.1.	Indicadores técnicos	86
2.9.2.	Indicadores económicos	92
2.9.3.	Equivalente de CO ₂	95
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	99
3.1.	RECURSOS.....	99
3.1.1.	Humanos.....	99
3.2.	MATERIALES	99

3.2.1.	Físicos (equipos, materiales)	99
3.2.2.	No físicos (software)	99
3.2.3.	Referentes al consumo eléctrico	99
3.2.4.	Referente al ambiente físico de estudio	100
3.3.	MÉTODOS	101
3.3.1.	Método de la investigación.....	101
3.3.2.	Diseño de la investigación.....	102
3.3.3.	Población y muestra	102
3.3.4.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	103
3.3.5.	Técnicas e instrumentos de procesamiento y análisis de los resultados.....	103
3.3.6.	Procedimiento de la investigación.....	104
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	108
4.1.	RESULTADOS	108
4.1.1.	Carga térmica para la climatización del ambiente físico de estudio.....	108
4.1.2.	Dimensionamiento de los componentes del sistema	122
4.1.3.	Estimación de los indicadores técnicos del sistema	138
4.1.5.	Equivalente de CO ₂ relacionado con el sistema	155
4.1.6.	Comportamiento del sistema para diferentes niveles de capacidad	158
4.2.	DISCUSIÓN	171
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	180
5.1.	CONCLUSIONES	180
5.2.	RECOMENDACIONES.....	181
VI.	REFRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES	182
VII.	ANEXOS.....	194

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Recomendaciones de la Norma ASHRAE Standard 55-2017.....	11
Tabla 2	Descripción de los parámetros eléctricos de un panel fotovoltaico.....	49
Tabla 3	Pérdidas de la instalación de autoconsumo solar para el cálculo del PR	65
Tabla 4	Coordenadas geográficas y UTM WGS 84 del ambiente físico de estudio	108
Tabla 5	Orientación cardinal de los elementos constructivos del ambiente físico	108
Tabla 6	Dimensiones externas e internas del ambiente físico de estudio.....	109
Tabla 7	Dimensiones de cada elemento constructivo del ambiente físico de estudio	109
Tabla 8	Materiales de construcción de cada elemento constructivo del ambiente	110
Tabla 9	Coefficiente global de transferencia de calor U para cada cerramiento	111
Tabla 10	Coefficiente global de transferencia de calor U y SC para cada fenestración	111
Tabla 11	Caudal volumétrico de renovación para los periodos del año	111
Tabla 12	Factores que afectan la carga interna por ocupantes	112
Tabla 13	Factores que afectan la carga interna por iluminación	112
Tabla 14	Factores que afectan la carga interna por motores	112
Tabla 15	Factores que afectan la carga interna por equipos diversos.....	113
Tabla 16	Condiciones de diseño para los periodos de verano e invierno.....	114
Tabla 17	Condiciones ambientales anuales para el distrito de Nuevo Chimbote.....	114
Tabla 18	Equivalencias de orientación entre el hemisferio norte y sur.....	116
Tabla 19	Corrección del CLTD por latitud y mes (LM)	117
Tabla 20	Carga térmica mensual a lo largo del año	120
Tabla 21	Coordenadas geográficas e inclinación para el arreglo fotovoltaico.....	122
Tabla 22	Irradiación diaria promedio mensual para el ambiente de estudio	124
Tabla 23	Especificaciones técnicas del equipo de aire acondicionado.....	126
Tabla 24	Requerimiento diario de energía del equipo de aire acondicionado.....	127
Tabla 25	Requerimiento mensual de energía del equipo de aire acondicionado.....	127
Tabla 26	Principales pérdidas del sistema de autoconsumo solar	128
Tabla 27	Performance Ratio del sistema a lo largo del año	129
Tabla 28	Valores de potencia del arreglo fotovoltaico a lo largo del año	130
Tabla 29	Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico.....	131
Tabla 30	Número de paneles y configuración del arreglo fotovoltaico.....	132
Tabla 31	Parámetros eléctricos del arreglo fotovoltaico	132
Tabla 32	Especificaciones técnicas del inversor	133

Tabla 33 Parámetros eléctricos del inversor	134
Tabla 34 Secciones de conductor para cada tramo del sistema	134
Tabla 35 Parámetros eléctricos de los equipos de protección y maniobra	135
Tabla 36 Distancia de sombra y ROT	136
Tabla 37 Energía generada por el sistema	138
Tabla 38 Evolución de la energía generada por el sistema.....	139
Tabla 39 Evolución de la productividad final del sistema.....	140
Tabla 40 Fracción solar mensual del sistema	141
Tabla 41 Ratio de autoconsumo mensual del sistema	142
Tabla 42 Indicador de evaluación integral mensual del sistema	144
Tabla 43 Coeficiente de performance (COP) mensual del sistema	145
Tabla 44 Área efectiva del arreglo fotovoltaico	146
Tabla 45 Eficiencia de conversión mensual del sistema fotovoltaico	147
Tabla 46 Coeficiente de performance solar mensual del sistema fotovoltaico	147
Tabla 47 Presupuesto del suministro de materiales resumido	149
Tabla 48 Presupuesto del montaje electromecánico resumido	149
Tabla 49 Presupuesto general para el sistema	150
Tabla 50 Tiempo de vida útil y número de reemplazos de equipos del sistema	150
Tabla 51 Flujo de caja económico para el sistema	151
Tabla 52 Tasa de descuento y VAN para el sistema	153
Tabla 53 Flujo de caja económico para el sistema	154
Tabla 54 Emisiones equivalentes de CO ₂ generadas por el sistema.....	156
Tabla 55 Emisiones equivalentes de CO ₂ reemplazadas por el sistema.....	156
Tabla 56 Balance de emisiones equivalentes de CO ₂ del sistema.....	157
Tabla 57 Características del inversor con los niveles de capacidad del sistema	158
Tabla 58 Energía generada anual para cada nivel de capacidad del sistema.....	159
Tabla 59 Capacidad del sistema vs Productividad final y PR	160
Tabla 60 Capacidad del sistema vs COP, eficiencia de conversión y COPsolar.....	161
Tabla 61 Fracción solar, ratio de autoconsumo e indicador de evaluación integral del sistema	163
Tabla 62 TIR, PRI e inversión para diferentes capacidades del sistema.....	164
Tabla 63 VAN para cada nivel de capacidad del sistema.....	166
Tabla 64 LCOE para diferentes TIR en cada nivel de capacidad del sistema.....	168
Tabla 65 Emisiones equivalentes de CO ₂ para diferentes capacidades del sistema.....	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema y diagrama T-s para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor	13
Figura 2 Sistema de aire acondicionado tipo split.....	14
Figura 3 Cargas de refrigeración en un recinto o ambiente físico.....	16
Figura 4 Diferencia entre ganancia instantánea de calor y carga de refrigeración real.....	17
Figura 5 Cargas de calefacción en un recinto o ambiente físico	32
Figura 6 El espectro de radiación solar extraterrestre	38
Figura 7 Irradiancia e irradiación solar para un día típico.....	39
Figura 8 Coordenadas solares para el plano de referencia con una superficie inclinada ...	41
Figura 9 Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)	43
Figura 10 Esquema de celda, panel fotovoltaico, cadena y arreglo solar.....	44
Figura 11 Clasificación de paneles fotovoltaicos por generación	46
Figura 12 Parámetros eléctricos de los paneles fotovoltaicos	47
Figura 13 Temperatura de funcionamiento de la celda versus el voltaje, potencia y corriente de los paneles fotovoltaicos.....	50
Figura 14 Configuraciones de inversores conectados a la red	53
Figura 15 Esquema de protecciones en un sistema de autoconsumo solar	56
Figura 16 Tres tipos de montaje para sistemas solares fotovoltaicos.....	57
Figura 17 Arreglo fotovoltaico con respecto a su inclinación y orientación.....	63
Figura 18 Pérdidas en una instalación solar de autoconsumo solar	64
Figura 19 Curva de eficiencia de un inversor típico.....	75
Figura 20 Representación del cableado para una instalación solar de autoconsumo	80
Figura 21 Separación de soportes de filas de los módulos fotovoltaicos.....	85
Figura 22 Diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico que suministra energía a un dispositivo de climatización	88
Figura 23 Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.....	100
Figura 24 Jefatura de Unidad Administrativa de la EESPPCH.....	100
Figura 25 Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación parte A.....	106
Figura 26 Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación parte B.....	107
Figura 27 Condiciones ambientales anuales para el distrito de Nuevo Chimbote	115
Figura 28 CLTDc para cada grupo constructivo a lo largo del día (mes febrero).....	116
Figura 29 Carga térmica de refrigeración para los meses de verano.....	118

Figura 30 Carga térmica de calefacción para los meses de invierno.....	119
Figura 31 Carga térmica para cada mes del año en BTU/h.....	121
Figura 32 Irradiancia diaria promedio mensual con $\beta=15^\circ$	123
Figura 33 Irradiación diaria promedio mensual para el ambiente de estudio.....	125
Figura 34 Requerimiento mensual de energía del equipo de aire acondicionado	128
Figura 35 Performance Ratio del sistema a lo largo del año	130
Figura 36 Diagrama esquemático del sistema	137
Figura 37 Evolución de la energía generada por el sistema	139
Figura 38 Evolución de la productividad final del sistema	140
Figura 39 Ratio de autoconsumo mensual del sistema.....	143
Figura 40 Indicador de evaluación integral del sistema	143
Figura 41 Fracción solar mensual y COP mensual del sistema.....	145
Figura 42 Eficiencia de conversión y COP_{solar} mensual del sistema.....	148
Figura 43 Tasa de descuento y VAN para el sistema.....	152
Figura 44 Flujo de Caja Acumulado para el sistema.....	152
Figura 45 Comportamiento del LCOE con respecto a la tasa de descuento	155
Figura 46 Balance general de equivalente de CO_2	158
Figura 47 Capacidad del sistema vs Energía generada	160
Figura 48 Capacidad del sistema vs Productividad final y PR.....	161
Figura 49 Capacidad del sistema vs Eficiencia de conversión y COP_{solar}	162
Figura 50 Fracción solar y ratio de autoconsumo para diferentes capacidades del sistema	163
Figura 51 Indicador de evaluación integral para diferentes capacidades del sistema	164
Figura 52 Inversión por potencia del sistema para diferentes capacidades del sistema...	165
Figura 53 TIR para diferentes capacidades del sistema	165
Figura 54 PRI para diferentes capacidades del sistema.....	167
Figura 55 LCOE para diferentes tasas de descuento y capacidades del sistema.....	169
Figura 56 Emisiones equivalentes de CO_2 para diferentes capacidades del sistema	170
Figura 57 Periodo de compensación de emisiones de CO_2 para diferentes capacidades del sistema	170

RESUMEN

La investigación aborda la intención primordial de conocer el porcentaje en el cual, la implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, permite cubrir de manera óptima la energía requerida para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote. La investigación desarrollada fue del tipo no experimental y aplicada. En el estudio se determinó, la carga térmica máxima que debe abastecer el sistema de climatización al ambiente físico, siendo de 16105,04 BTU/h. Posteriormente se dimensionó la capacidad óptima del arreglo fotovoltaico como fuente principal de energía para el equipo de aire acondicionado la cual fue de 3,60 kWp, y finalmente se estimaron y analizaron, los indicadores técnicos, económicos y el equivalente de CO₂, relacionados con el sistema en estudio y se compararon los indicadores mencionados para diferentes capacidades del sistema fotovoltaico. La investigación demostró que el sistema puede cubrir hasta un 87,36 % de la energía requerida, presentando un VAN equivalente a S/ 3712,42, una TIR de 12,61 %, un PRI de 6,90 años y también un LCOE igual a 0,7317 S//kWh. Además, en el aspecto ambiental, el sistema puede ahorrar hasta 12511,79 kgCO₂.

PALABRAS CLAVES: Sistema de aire acondicionado, Climatización de oficinas, Carga térmica en edificios, Autoconsumo solar, Energía solar fotovoltaica.

ABSTRACT

The research addresses the primary intention of knowing the percentage in which, the implementation of an air conditioning system powered by photovoltaic solar energy, allows to optimally cover the energy required for the air conditioning of the physical environment of the Administrative Unit Headquarters in the Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote. The research developed was non-experimental and applied. In the study it was determined, the maximum thermal load that must supply the air conditioning system to the physical environment, being 16105.04 BTU/h. Subsequently, the optimal capacity of the photovoltaic array as the main source of energy for the air conditioning equipment was dimensioned, which was 3.60 kW_p, and finally the technical, economic and CO₂ equivalent indicators related to the system under study were estimated and analyzed and the aforementioned indicators were compared for different capacities of the photovoltaic system. The research showed that the system can cover up to 87.36% of the required energy, presenting a NPV equivalent to S / 3712.42, an IRR of 12.61%, a payback period of 6.90 years and also an LCOE equal to 0.7317 S // kWh. In addition, on the environmental side, the system can save up to 12511.79 kgCO₂.

KEY WORDS: Air conditioning system, Office air conditioning, Thermal load in buildings, Solar self-consumption, Photovoltaic solar energy.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En virtud del desarrollo de la presente investigación se revisaron y analizaron los siguientes antecedentes.

1.1.1. Antecedentes internacionales

Chen et al. (2020), en su investigación titulada “Diseño y adaptabilidad de sistema de climatización fotovoltaica basado en edificios de oficinas”, determinaron los parámetros técnicos, económicos y ambientales de un equipo de aire acondicionado alimentado por un arreglo de módulos fotovoltaicos para cubrir su demanda eléctrica. El sistema mencionado se aplicó a un edificio de oficinas de una superficie de 20 m², además se construyó para evaluar el sistema, una plataforma de prueba. El sistema fotovoltaico contó una potencia total de 3,2 kWp. La investigación tuvo una duración de un año, donde se analizaron y recopilamos datos diarios típicos y anuales. Los resultados arrojaron que el sistema permitió un aumento de temperatura en un 17 % y una reducción de la misma en 9,5 % para una hora de calefacción y refrigeración respectivamente, lo que hizo posible mantener la temperatura interior de confort térmico de la oficina en un rango de $\pm 0,9$ °C. Se demostró que el sistema podía satisfacer el requerimiento de electricidad necesaria para alimentar al equipo de climatización. El sistema fotovoltaico generó la energía eléctrica necesaria para cubrir en un 188 %, 73 % y 114 % del total de demanda necesario para las condiciones anuales, de calefacción y de refrigeración respectivamente. Por último, el análisis económico determinó que el tiempo de retorno de la inversión fue de 7,5 años, demostrando que el ahorro de energía como la mitigación de emisiones dañinas para el ambiente fueron significativos.

Aguilar et al. (2019), en su investigación titulada “Análisis técnico-económico de una bomba de calor de aire acondicionado alimentada por paneles fotovoltaicos y la red”, presentaron un estudio técnico, económico y ambiental de un equipo de aire acondicionado alimentado por módulos fotovoltaicos y la red pública de electricidad, sin la participación de baterías. La unidad de aire acondicionado con fuente energética solar fotovoltaica, logró cubrir la demanda térmica que requería una oficina de una edificación administrativa localizada en el sureste de España, específicamente en la ciudad de

Alicante. El sistema fue monitorizado durante un año para medir la demanda térmica cubierta en el recinto, el consumo de electricidad del equipo, la aportación fotovoltaica y de la red al mismo. Las mediciones mostraron una contribución solar del 54 % a la electricidad consumida por el sistema. En consecuencia, el consumo de electricidad de la red pública se redujo drásticamente hasta un 26 % del sistema de referencia. Además, el estudio técnico-económico concluyó que, teniendo en cuenta que la inversión inicial es considerable, el ahorro que produce el menor consumo eléctrico, se tradujo en un costo anualizado del 84 % del costo del sistema de referencia.

Lv et al. (2019), en su investigación titulada “Rendimiento de un sistema híbrido solar fotovoltaico - bomba de calor de fuente de aire con almacenamiento de energía”, llevaron a cabo un diseño de un sistema de microrred que estaba compuesto por tres subsistemas: subsistema solar fotovoltaico, subsistema de bomba de calor y subsistema de almacenamiento de energía. Este sistema de microrred se aplicó a un edificio ubicado en Xining, ciudad de la provincia de Qinghai, China, el cual era una construcción de dos plantas, con una altura total de 8 m, un área edificada de 500 m² y una superficie útil de techo de 200 m². La capacidad instalada del subsistema solar fotovoltaico fue de 32 kWp. La demanda térmica calculada fue de 40 kW, proporcionada por 10 bombas de calor. La batería contó con una capacidad de 100 kWh. El rendimiento energético del sistema de microrred se evaluó y se comparó con el del sistema de suministro de energía tradicional, que dependía totalmente de la red eléctrica y el gas natural. Es así que se determinó que el 78,3 % de la electricidad generada por el subsistema solar fotovoltaico se podía utilizar directamente para las cargas del edificio. Mientras que solo el 5,7% del consumo de energía se compraba directamente a la red eléctrica, lo que redujo significativamente la dependencia hacia la misma. Por último, la emisión anual de CO₂ del sistema de microrred basado en energía renovable propuesto fue de 463 kg, y la emisión anual de CO₂ correspondiente del sistema de suministro de energía tradicional fue aproximadamente 20 veces mayor, alcanzando el valor de hasta 9488 kg. El estudio de comparación demostró que el sistema de suministro de energía híbrido propuesto es superior al sistema tradicional, disminuyendo significativamente el uso de energía adicional para la edificación y reduciendo las emisiones contaminantes.

Opoku et al. (2018), en su investigación titulada “Análisis técnico-económico de un aire acondicionado híbrido alimentado por energía solar fotovoltaica para uso de oficina durante el día en climas cálidos y húmedos: un estudio de caso en la ciudad de Kumasi,

Ghana”, realizaron un análisis sobre el rendimiento de un acondicionador de aire híbrido alimentado por energía solar fotovoltaica para la refrigeración diurna de oficinas en climas cálidos y húmedos con un estudio de caso en la ciudad de Kumasi, Ghana. Se utilizó para el estudio una oficina estándar de 30 m² de superficie construida (105 m³ de espacio de oficina). Se determinó que, para el enfriamiento diurno de oficinas, un sistema solar fotovoltaico de 1040 Wp con una configuración de batería de 200 Ah y 24 V podía cubrir la demanda mensual media en un 51 % ± 9 %, de un dispositivo de aire acondicionado con capacidad nominal de 2,5 kW y máximo consumo de energía de alrededor de 1,19 kW. Se determinó que la generación de energía del sistema solar fotovoltaico de 1040 Wp era de alrededor de 1211 kWh por año. El análisis financiero reveló que, para el acondicionador de aire híbrido alimentado por energía solar fotovoltaica, se proyectaba un ahorro potencial de 1600 dólares en comparación con el 100 % de la electricidad de la red pública en 10 años. También se estimó utilizando los datos disponibles, que existía un ahorro potencial de alrededor de 3300 dólares cuando el acondicionador de aire funcionará con energía 100 % solar en comparación con el 100 % de electricidad de la red pública en 10 años, para su uso diurno en la oficina analizada.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Mitma (2021), en su tesis de pregrado titulada “Diseño de un sistema de aire acondicionado de 14 kW por absorción y fuente solar para reducir costos de operación en el centro de cómputo del tercer nivel de la FIME-UNAC”, proyectó un sistema de climatización por absorción y fuente solar para poder satisfacer la demanda térmica del tercer nivel del centro de cómputo de su facultad, ambiente de 69.3 m² de área. Se calculó la demanda térmica y se usó el software HAP, para corroborar los resultados. Posteriormente se evaluó el nivel de radiación solar en la ubicación, para determinar las características de los equipos de absorción con fuente solar. La carga térmica total se estimó en 47536,82 BTU/h. El COP del sistema de absorción se estimó en 0,66. Al evaluar la radiación solar se determinó que eran necesarias 06 unidades de colectores solares de tubos de vacío que necesitan una superficie máxima de 12 m² y un tanque de almacenamiento de 250 L para un sistema de refrigeración mediante el efecto simple de absorción H₂O – LiBr, para poder climatizar el ambiente en estudio. Finalmente se estimó el ahorro anual en 3243,33 dólares al comparar el sistema de estudio con un sistema de compresión de vapor convencional.

Chira et al. (2020), en su trabajo de investigación “Comparativa entre sistemas de captación solar para el diseño y análisis de un sistema de acondicionamiento para un piso de oficinas”, se enfocaron en realizar un cotejo entre 02 sistemas de captación solar con el objetivo de poder alimentar a un sistema de climatización para un nivel de un edificio de oficinas que cubre un área superficial de 1981 m², el primero, por compresión mecánica alimentado por módulos fotovoltaicos y el segundo por absorción, mediante el uso de colectores solares. La demanda térmica calculada fue de 215 kW. Para el sistema fotovoltaico que cubre la demanda de energía del sistema por compresión mecánica se usó el software PV*SOL, por otro lado, se usó el software RETScreen para el análisis financiero y conocer la factibilidad económica de ambos sistemas. Analizaron, además, el impacto ambiental relacionado. Para ello el sistema fotovoltaico se diseñó con un total de 225 módulos fotovoltaicos que generó un autoconsumo de hasta el 60 % de la energía máxima demandada. Este sistema fotovoltaico se estimó con una recuperación de inversión en un plazo de 14 años. Por otro lado, el sistema de climatización por absorción, se diseñó para contar con 243 unidades de colectores solares con un tiempo estimado de recuperación de la inversión de 28 años, considerándose inviable. En relación al aspecto ambiental, las emisiones de CO₂ se proyectaron en una reducción de 149 y 93 toneladas al año, del gas de efecto invernadero mencionado, para el sistema de absorción y de compresión mecánica respectivamente. En conclusión, el sistema por compresión mecánica alimentado con energía solar fotovoltaica se consideró la mejor alternativa para el espacio de estudio, pues aseguraba un periodo de retorno de inversión menor y reducía de manera representativa la expulsión de gases de CO₂.

Vega (2019), en su tesis de pregrado titulada “Diseño de un sistema de aire acondicionado solar por absorción para la climatización del Puesto de Salud Montegrande – Jaén”, elaboró un sistema de climatización usando el efecto de absorción con fuente energética solar, para poder cubrir la demanda de confort térmico en el puesto de salud del distrito de Montegrande, el cual cuenta con una superficie total de 162,68 m². Para este propósito se evaluó la radiación solar en Jaén, provincia de Cajamarca y se determinó la demanda térmica necesaria para climatizar en su totalidad el puesto de salud mencionado. La carga térmica total se estimó en 74384 BTU/h, y su COP respectivo fue de 0,715. Del diseño del sistema se calculó que un área de captación solar total de 76 m² y un tanque de almacenamiento de 2112 L, tienen el potencial de climatizar en su totalidad la demanda térmica en la temporada de verano, y hasta un 90 % de la carga térmica en las demás

estaciones del año. Para ello se consideró un equipo de refrigeración de efecto simple por absorción $\text{H}_2\text{O} - \text{LiBr}$. La evaluación económica realizada indicó que el sistema de absorción proyectaba un valor actual neto igual a 140589,2 dólares y con respecto a la tasa interna de retorno se estimó en 13,128 %.

Regalado (2017), en su tesis titulada “Evaluación energética de sistemas de refrigeración solar en Piura usando el software Trnsys”, presentó un estudio en donde evaluó 02 ambientes de la edificación de Ingeniería de la Universidad de Piura usados como aulas, de 32 m^2 de superficie cada uno. Así mismo analizó 03 sistemas de climatización de ambientes para los recintos físicos mencionados. El primero por compresión mecánica convencional alimentado por energía solar fotovoltaica en un sistema autónomo con baterías. El segundo, un sistema por absorción de efecto simple con fuente solar térmica. Por último, también evaluó un sistema fotovoltaico híbrido con conexión a la red para alimentar el equipo de climatización. Para ello en primer lugar, calculó la demanda térmica necesaria para cada aula, la cual fue de 55000 BTU/h. A continuación, mediante el uso del software Trnsys, se analizaron y elaboraron gráficas relacionadas a las variaciones de energía y potencia del sistema de climatización a lo largo de un año. Finalmente, realizó una comparación económica entre las tres alternativas y un sistema de compresión de vapor convencional. Los resultados arrojaron que, la primera alternativa de un sistema fotovoltaico de 5,20 kWp, podía cubrir la demanda térmica necesaria perfectamente en los meses de verano. En invierno a pesar de tener una menor irradiación solar, también cubre en su totalidad la demanda térmica, debido a la reducción en el uso del equipo de climatización. El valor actual neto correspondiente fue de 26094,64 dólares, con una tasa interna de retorno del 27 %. En contraparte, el sistema de absorción requería de un total de 21 colectores solares, para poder cubrir hasta un 80 % la demanda térmica total para las 02 aulas de estudio. Sin embargo, sus indicadores económicos hicieron inviable esta alternativa dado que el valor actual neto correspondiente fue de (- 119538,64 dólares) y la tasa interna de retorno fue (- 14 %), ambos valores negativos. Por último, la alternativa con un sistema fotovoltaico híbrido con conexión a la red de 5,20 kWp, también se presentó como una alternativa rentable sin embargo sus indicadores económicos presentaron valores menores en comparación a la primera alternativa mencionada, siendo el valor actual neto de 1652,32 dólares y la tasa interna de retorno de 11 %.

1.2. REALIDAD PROBLEMÁTICA

En los últimos años, se han suscitado con más frecuencia fenómenos meteorológicos como las olas de calor y temporadas extremas de frío (Agencia Internacional de la Energía o International Energy Agency [IEA], 2022). Esto está provocando un aumento de la temperatura ambiente significativo, mientras que, para el caso de las heladas, ha causado la pérdida de tierras de cultivo y ganadería. Los fenómenos mencionados, junto con el aumento poblacional, la urbanización y la mejora en el nivel de vida de las personas alrededor del planeta, está impulsando la compra e instalación de equipos de climatización.

En sintonía con el párrafo anterior, la necesidad de climatizar las edificaciones residenciales y comerciales, entre estos últimos, los recintos de labores, se ha incrementado vertiginosamente. Este panorama ha hecho indispensable el uso de equipos que permitan alcanzar el confort térmico para las personas. En consecuencia, la demanda de unidades de aire acondicionado ha experimentado un aumento acelerado a nivel mundial. La IEA (2022), señala que, aproximadamente 2,2 mil millones de unidades de aire acondicionado están ahora en funcionamiento en todo el mundo.

Dentro de este marco, el consumo de energía eléctrica relacionado a la climatización de ambientes ha llegado a ser de 2000 TWh para el año 2021 (IEA, 2022), y se espera que la demanda de equipos de aire acondicionado y su consumo eléctrico aumenten en un 40 % hasta el año 2030 (IEA, 2018). En el aspecto ambiental, la IEA (2022), da a conocer que las emisiones de CO₂ relacionadas con la climatización de ambientes están aumentando rápidamente, más del doble, se ha emitido casi 1 Gt entre los años 1990 al 2021.

En el sector de servicios o terciario, el principal consumo eléctrico se encuentra relacionado a la climatización y refrigeración de ambientes, oficinas o espacios, representando entre un 40 a 60 % del consumo final de energía eléctrica en la edificación, dependiendo de su estructura, de la posición geográfica, y el propósito de la instalación (Bravo et al., 2018).

Este escenario desemboca en un aumento impresionante de las necesidades energéticas del sector y presenta implicaciones significativas para las redes eléctricas, especialmente en los picos de demanda máxima y eventos de extremo calor, dado que mantener y operar la generación de electricidad para satisfacer dicha demanda es un proceso muy costoso porque se usa solo por períodos limitados, y esto aumenta los costos generales de la producción de electricidad (IEA, 2018).

Asegurar la accesibilidad técnica, económica y ambiental de soluciones de climatización amigables con el ambiente (sean pasivas o activas), sobre todo en las áreas y lugares donde más se las necesita, se convierte, citando a la IEA (2022), en un reto fundamental para proteger nuestra salud, en el ámbito relacionado con la ergonomía dentro de nuestros centros de labores y conseguir el confort térmico en los recintos. Es relevante también, no dejar de lado, la necesidad de reducir el impacto medioambiental relacionado a los gastos y costos energéticos de la climatización.

Es por ello que, hoy en día, la atención mundial se dirige a las energías renovables, principalmente la energía solar, como rutas para una transición energética eficaz. En este orden de ideas, en las instalaciones de climatización donde se usan equipos de aire acondicionado, emplear como fuente de alimentación la energía solar fotovoltaica, se establece como una alternativa con respecto a las técnicas tradicionales de climatización y refrigeración de ambientes.

Las principales ventajas que convierten a la energía solar fotovoltaica en una buena solución para su uso en climatización de edificios son: fácil mantenimiento, su disponibilidad, alta fiabilidad y su potencial en virtud de mitigar las contribuciones de generación de gases de efecto invernadero y las emisiones de CO₂ (Aguilar et al., 2019). En sintonía con lo antes expuesto, Alwashdeh y Ammari (2019), destacan que, usar energía solar del tipo fotovoltaica para alimentar los equipos de aire acondicionado por compresión de vapor, muestra una mayor promesa para su aplicación en edificios desde las perspectivas económica y de conservación de energía.

Es pertinente mencionar, que los equipos actuales de compresión de vapor, han demostrado un diseño que integra sistemas de control para los refrigerantes que usan. Esto se logra mediante el uso de sensores y la combinación de diferentes tecnologías. Teniendo en cuenta también, que los refrigerantes usados actualmente son libres de clorofluorocarbonos (CFC) e Hidroclorofluorocarbonos (HCFC). Dichos compuestos, debilitan en gran medida la protección que nos ofrece la capa de ozono contra las radiaciones ultravioleta, al momento de ser liberados al ambiente (Ministerio del Medio Ambiente [MMA], 2017).

En nuestro país, como expresa el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, (SENAMHI, 2021), se combinan hasta 38 tipos de climas, esto debido a su ubicación geográfica y las diversas maneras en cómo se relaciona con los factores climáticos que se encuentran presentes en Sudamérica. Esto hace prioritario el uso de equipos

acondicionadores de aire para la climatización de ambientes. Además, cabe resaltar que, la ciudad de Nuevo Chimbote, presenta niveles de radiación solar adecuados para su aprovechamiento en la generación de electricidad para alimentar dichos equipos.

La Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote, (EESPPCH, 2023), institución con 39 años al servicio de la formación docente en Chimbote y Nuevo Chimbote, entiende que, es relevante conseguir un confort térmico para los trabajadores, dado que las buenas condiciones climáticas dentro de las oficinas son importantes para prevenir daños a la salud de los empleados y son un factor que afecta directamente el bienestar y el desempeño óptimo de sus responsabilidades. Sin embargo, instalar equipos de aire acondicionado convencionales representaría un consumo energético de más del 20 % con respecto a su consumo de electricidad final. Lo que se traduciría en un aumento significativo del costo energético para la institución y dado el panorama nacional donde los costos referidos al consumo de energía eléctrica siguen aumentando año tras año, se hace importante considerar y estudiar alternativas renovables, entre ellas, la energía solar fotovoltaica, para suministrar energía al dispositivo de climatización. De esta manera, se puede reducir los costos asociados para cubrir la demanda térmica del equipo de climatización y mitigar las emisiones de CO₂ relacionadas al equipo.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿En qué porcentaje, la implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, permitirá cubrir de manera óptima, la energía requerida para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

- Estudiar la implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la carga térmica que debe abastecer el sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio.
- Dimensionar los componentes del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio.
- Estimar el valor de los indicadores técnicos del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio.
- Calcular los indicadores económicos del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio.
- Estimar el equivalente de CO₂ relacionado con el sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio.

1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, permitirá cubrir de manera óptima un 85 % de la energía requerida, para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

1.6. JUSTIFICACIÓN

El panorama internacional, nacional y local relacionado con la climatización de ambientes que engloba aspectos energéticos, económicos y ambientales, hace necesario estudiar soluciones de climatización respetuosas con el clima y fuentes de energía alternativas que permitan cubrir el exceso de demanda y reducir los costos asociados para los usuarios de los equipos de climatización, en virtud de cumplir con los requisitos básicos para garantizar el confort térmico en los recintos.

Los estudios e investigaciones realizados a nivel nacional se enfocan principalmente en el uso de equipos de absorción para la climatización de ambientes usando la energía solar

térmica como fuente principal, sin embargo, las investigaciones que estudian o analizan unidades de acondicionamiento de aire alimentados por energía solar fotovoltaica para la climatización, son escasas. Es por los motivos mencionados, que el presente estudio se encamina en complementar las investigaciones mencionadas y afianzar el conocimiento teórico y práctico relacionado con la climatización y refrigeración usando energía solar fotovoltaica como fuente principal de energía.

Así mismo, la investigación busca ser fuente importante de conocimiento en la toma de decisiones para plantear o incentivar en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote, considerar dentro de sus posibilidades, la diversificación de su matriz energética usando energías renovables para la climatización de espacios, permitiendo disminuir sus costes energéticos relacionados y convirtiéndose en una institución que reduzca su huella de carbono a nivel local en el sector de servicios o terciario.

Dentro de este orden de ideas, futuros estudios que utilicen metodologías compatibles con la presente investigación, posibilitan nuevos análisis y evaluaciones para la comparación de la implementación de un dispositivo de climatización suministrado energéticamente con energía solar fotovoltaica en diferentes lugares y diferentes climas de nuestro país, o plantear y contrastar el uso de otras fuentes renovables para alimentar cargas de climatización.

Por último, se pretende aportar información útil para la comunidad, que sirva como antecedente en el empleo de energías renovables como fuente principal de alimentación en equipos de climatización de ambientes en nuestro país y a nivel local en la ciudad de Nuevo Chimbote.

1.7. LIMITACIONES DEL TRABAJO

Las limitaciones de la presente investigación fueron las siguientes:

- Los datos de radiación solar para la ciudad de Nuevo Chimbote fueron obtenidos de la fuente virtual web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2, de la Unión Europea.
- La investigación tomó como recinto para el estudio, la Jefatura de Unidad Administrativa, oficina ubicada en el segundo nivel del Pabellón “A” de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. CLIMATIZACIÓN

La climatización es un proceso por el cual, se puede intervenir los factores climáticos internos en cualquier recinto o ambiente físico. Engloba el enfriamiento y calentamiento del aire interior, para buscar el control de temperatura interna en los rangos recomendados por las normas nacionales e internacionales. De igual forma, en el proceso se puede mantener la humedad y concentración de CO₂, en niveles adecuados para el ser humano (López, 2022). Las normas internacionales relacionadas con la climatización y confort térmico son emitidas por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado o American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, (ASHRAE). Por otro lado, a nivel nacional las normas relacionadas a la climatización de ambientes se encuentran en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y son emitidas por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS).

Carbó (2021), describe la climatización como:

Acción y efecto de climatizar, es decir de dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas (p. 248).

Chumbiray (2021), en base a la Norma ASHRAE Estándar 55-2017 -- Condiciones Ambientales Térmicas para Ocupación Humana o ASHRAE Standard 55-2017 -- Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, indica cuales son las temperaturas y rangos aceptables operativos dentro de un recinto o ambiente físico, para las estaciones de invierno y verano. Estos valores recomendados se observan en la Tabla 1.

Tabla 1

Recomendaciones de la Norma ASHRAE Standard 55-2017

Estación del año	Temperatura operativa	Rango aceptable
Invierno	22 °C	20 – 23 °C
Verano	24.5 °C	23 – 26 °C

Nota: Tomado y adaptado de Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos (p. 16), por I. Chumbiray, 2021. Pontificia Universidad Católica Del Perú.

Tal como expresa López (2022), en virtud de lograr su misión fundamental, los sistemas de climatización necesitan energía en forma térmica o eléctrica. En la gran parte de equipos encargados de climatizar ambientes, la energía eléctrica es primordial. Es por ello que los dispositivos mencionados, aumentan drásticamente el consumo y posterior pago de la edificación, correspondiente al rubro de electricidad. Dentro de este orden de ideas, es esencial optimizar el uso energético de los sistemas de climatización.

Los sistemas de aire acondicionado en años recientes, se han convertido en las unidades de climatización por excelencia a nivel mundial, y nuestro país no es ajeno al panorama expuesto. Es por ello que a continuación se los define de manera concisa.

2.1.1. Sistema de aire acondicionado

El dispositivo de acondicionamiento de aire moderno basado en la tecnología de compresión de vapor, es el sistema más versátil y largamente utilizado para lograr una calidad de aire interior agradable. Los componentes elementales del sistema de compresión de vapor son el condensador, la válvula de expansión, el evaporador y el equipo de más consumo energético, el compresor. Estos sistemas funcionan en un circuito cerrado en el que una cantidad fija de fluido de trabajo (refrigerante) fluye continuamente en el arreglo cíclico de los componentes (Khan et al., 2019).

2.1.2. Ciclo de funcionamiento por compresión de vapor

El ciclo de funcionamiento es comúnmente llamado ciclo inverso de compresión de vapor y se puede apreciar en la Figura 1. El compresor trabaja entre la presión del evaporador y el condensador. En el momento que el refrigerante ingresa al compresor como vapor, sufre un proceso termodinámico, en el cual, de encontrarse en una temperatura baja y presión baja, cambia a un estado de sobrecalentamiento y alta presión por acción del compresor. Este refrigerante sobrecalentado con alta presión y alta temperatura ingresa al condensador, liberando calor al aire ambiente para condensarse. El refrigerante en estado líquido se dirige hacia la válvula de estrangulación o expansión a presión alta, en donde ésta reduce su presión hasta los valores adecuados para ingresar al evaporador.

Luego, el refrigerante en un estado de baja temperatura y presión dentro del evaporador se encuentra preparado para absorber calor del espacio o recinto a climatizar, elevando su

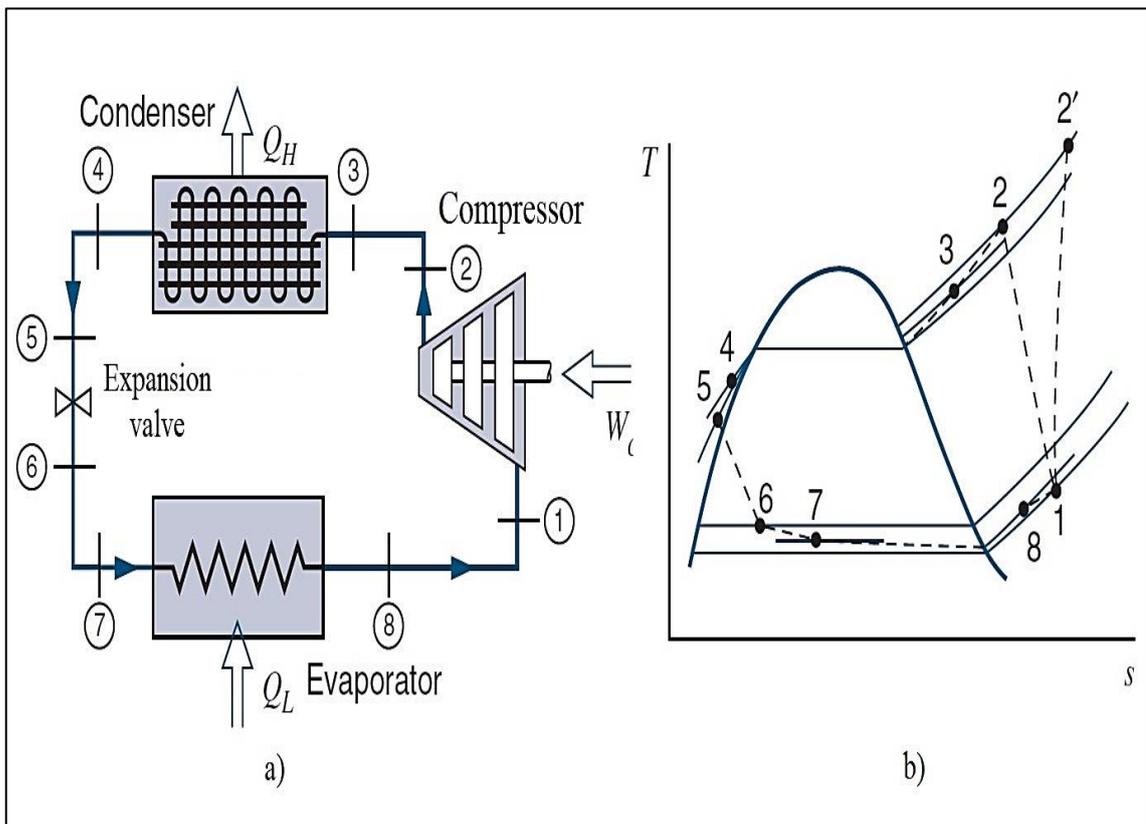
temperatura y pasando a estado gaseoso. El refrigerante en forma de vapor se incorpora al compresor para completar el ciclo termodinámico y comenzar de nuevo el proceso.

Khan et al. (2019), menciona que, el sistema de compresión de vapor se puede utilizar tanto para calentar como para enfriar el espacio que cuenta con aire acondicionado. La capacidad de enfriamiento y calefacción dependen de la carga térmica latente, relacionada a la humedad relativa y la carga térmica sensible del recinto.

El efecto de enfriamiento y calentamiento se genera cíclicamente por condensación y evaporación del refrigerante en el condensador y el evaporador. El calor emitido por el condensador representa la carga de calefacción, mientras que el calor que es absorbido por la unidad evaporativa representa la carga de refrigeración. Actualmente como fluido de trabajo dentro del ciclo termodinámico explicado, se usan refrigerantes que son menos dañinos para el ambiente como el R-410A o el R-314. (Regalado, 2017).

Figura 1

Esquema y diagrama T-s para el ciclo real de refrigeración por compresión de vapor



Nota: Se muestra a) Esquema del ciclo real de refrigeración por compresión de vapor, b) Diagrama T-s del ciclo real de refrigeración por compresión de vapor. Tomado de *Fundamentals of Thermodynamics* (p. 283), por C. Borgnakke y R. Sonntag, 2019, Wiley.

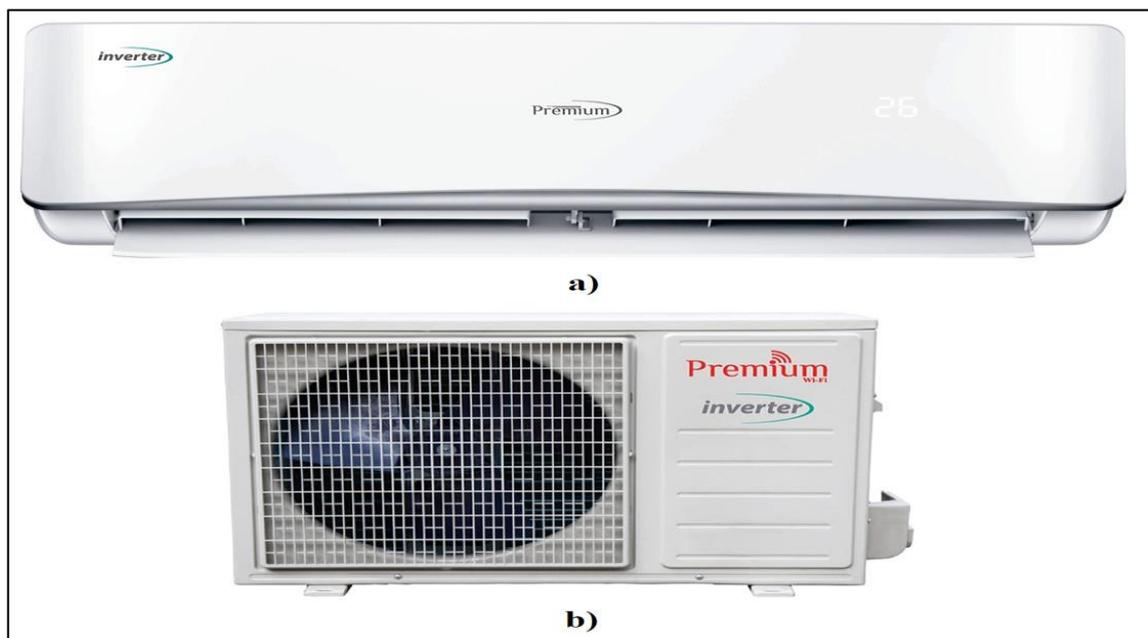
Las unidades de aire acondicionado por compresión mecánica están ampliamente difundidas y especializadas para cualquier condición. Uno de los modelos más importantes y reconocidos a nivel mundial es el aire acondicionado tipo Split.

2.1.3. Sistema de aire acondicionado tipo Split

Equipos de acondicionamiento de aire llamados igualmente descentralizados. Un ejemplo de este tipo de sistema se aprecia en la Figura 2. El compresor y condensador se encuentran en una unidad en el exterior, y el evaporador se encuentra en la unidad interior de la instalación. Las conexiones donde fluye el refrigerante y la red eléctrica se conectan a través de la pared. Sus principales ventajas son su gran adaptabilidad, su fácil instalación, tiene la posibilidad de ser manejado a control remoto, no genera ruidos molestos, el mantenimiento es sencillo y es más eficiente energéticamente que otros tipos de aire acondicionado. Sus desventajas principales se encuentran en que se debe perforar la pared para su instalación, la unidad exterior puede generar problemas estéticos y también problemas de ubicación, además que se necesita un grado más alto de conocimiento para su instalación sobre todo en la parte eléctrica (Rodas, 2018).

Figura 2

Sistema de aire acondicionado tipo split



Nota. a) Unidad interior, b) Unidad exterior. Tomado de Aire acondicionado inverter tipo split 24.000 BTU 220V [Fotografía], por Premiun Levella, 2022, Premiun Levella. (<https://premiumlevella.com/producto/24000-btu-split-a-c-inverter-220v/?lang=es>).

2.2. CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA

La ASHRAE (2017b), menciona que, la base primordial para la incorporación de la climatización y el confort térmico en los edificios y ambientes interiores son los cálculos de la carga de potencia térmica de calefacción y refrigeración. Los cálculos mencionados usan las ecuaciones fundamentales, leyes y principios estudiados en termodinámica, en transferencia de calor y en la mecánica de fluidos. Resulta claro mencionar que la carga térmica de calefacción y refrigeración afecta directamente el dimensionamiento de los componentes, equipos o dispositivos del sistema que acondiciona los ambientes interiores.

En el ámbito económico, el cálculo mencionado puede afectar significativamente los costos operativos y de consumo de energía, así como evidentemente el confort térmico, ergonomía, y también, la productividad de los ocupantes.

Citando a Díaz y Barreneche (2011), definen la carga térmica para la climatización de recintos, como la cuantificación del calor que se debe eliminar del recinto, o adicionar al mismo, en las estaciones de verano o invierno respectivamente. Esta cantidad de calor se puede obtener mediante un cálculo, determinando los aportes de calor de tipo latente y sensible que se deben a las características propias del ambiente, para lograr en el local las condiciones de temperatura y de humedad relativa que garantizan un confort térmico a lo largo del año.

En correspondencia a la idea anterior, es significativo recalcar, que la cantidad de potencia de calefacción y refrigeración requerida en un ambiente determinado, depende de factores como: los parámetros climatológicos externos al ambiente físico o recinto a climatizar, y los factores internos de diseño que serán los valores estables dentro de la edificación.

Es de suma importancia según Díaz y Barreneche (2011), antes de realizar el cálculo, conocer las instalaciones a climatizar, para que el análisis sea lo más completo y exacto posible, para ello es necesario recopilar información relacionada a:

- Planos del local a acondicionar (Dimensiones, estructuras, materiales de construcción y características de los cerramientos como paredes, techo, suelo o fenestraciones como ventanas, puertas, entre otros).
- Tipo de instalación que se desea colocar.
- Coordenadas geográficas y cómo se orienta el ambiente, con respecto a los puntos cardinales.

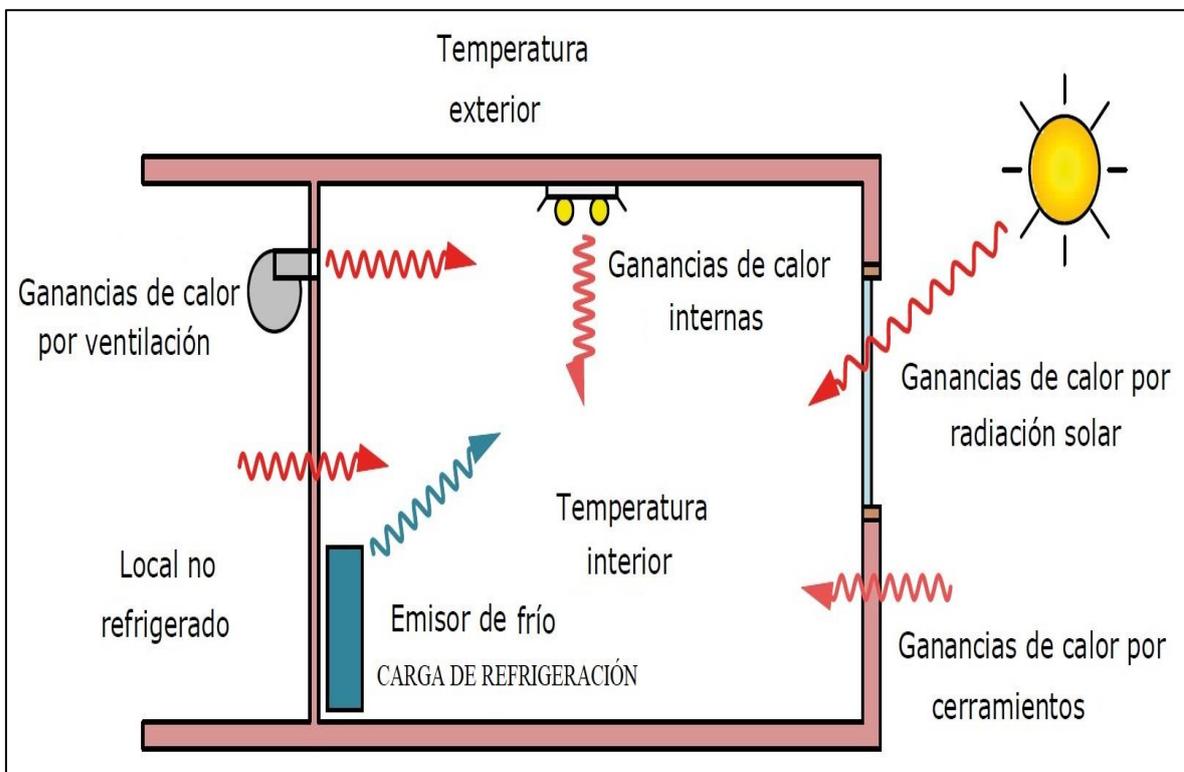
- Condiciones de diseño interior (humedad relativa y temperatura de confort)
- Número de horas de funcionamiento al día previsto
- Cantidad de ocupantes del recinto
- Alumbrado, con potencia y horas de uso
- Máquinas, motores, equipos eléctricos y electrónicos y equipos diversos dentro del ambiente
- Espacio disponible para ubicar los equipos de aire acondicionado y accesibilidad para su control y mantenimiento.

2.3. CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN

La carga térmica de refrigeración hace referencia al calor que es necesario extraer del recinto para conservar las condiciones de diseño internas, como humedad relativa y temperatura, que garanticen el confort térmico en el ambiente a climatizar, en la época de verano (González, 2013).

Figura 3

Cargas de refrigeración en un recinto o ambiente físico



Nota. Las cargas de refrigeración que determinan la carga térmica de refrigeración total. Tomado de *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización* (p. 89), por C. González, 2013, CANO PINA SL.

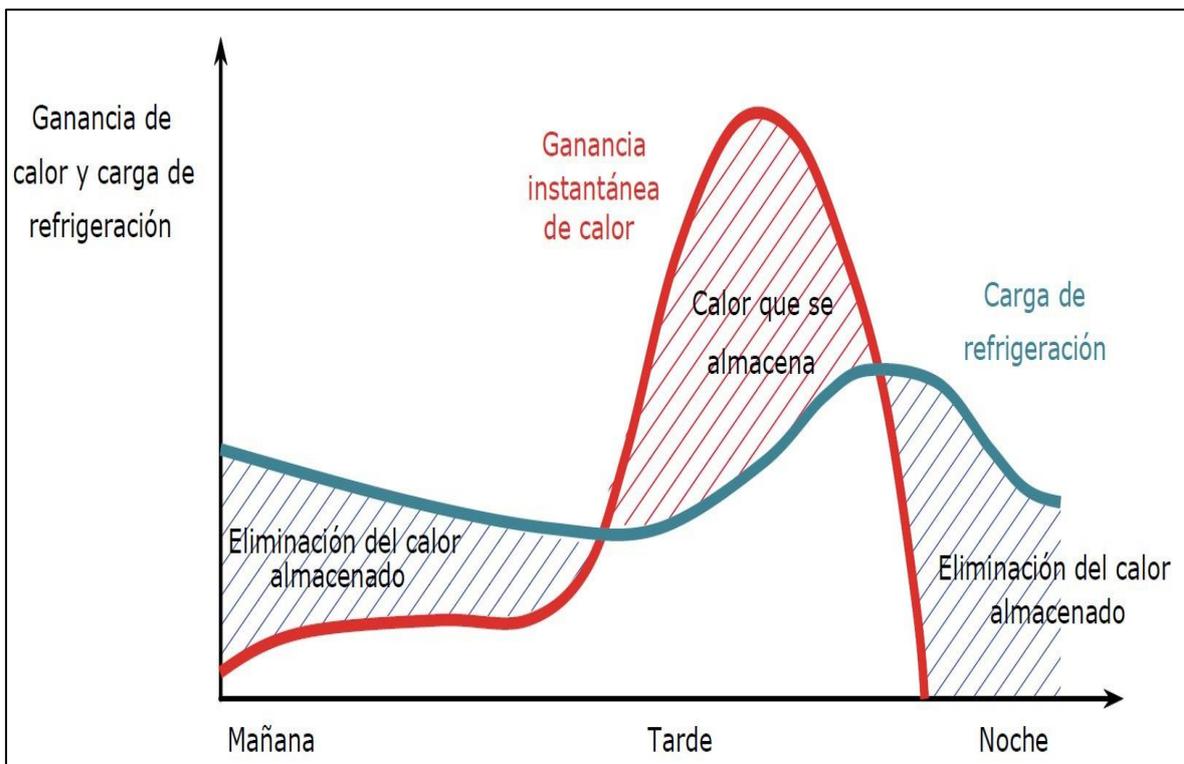
Las diferentes cargas de refrigeración se ven representadas en la Figura 3, y se dividen, en palabras de la ASHRAE (2017b), de la siguiente forma:

- Cargas de refrigeración externas: cerramientos y fenestraciones del ambiente, teniendo en cuenta el aporte de la radiación solar.
- Cargas de refrigeración internas: iluminación, personas, motores, equipos diversos (pueden ser equipos eléctricos y electrónicos, entre otros).
- Cargas de refrigeración por infiltración: ventilación de aire y migración de humedad.

En busca de poder determinar la carga térmica de refrigeración de un ambiente o recinto, uno de los métodos desarrollados y más difundido para este propósito por la ASHRAE es el método CLTD/SCL/CLF (Ahmed, 2012). En el cálculo de cargas térmicas, el método CLTD/SCL/CLF es un procedimiento que se puede calcular de forma manual, aunque también existen diferentes hojas de cálculo para su desarrollo, que no necesita de procesos iterativos para llegar a una respuesta adecuada.

Figura 4

Diferencia entre ganancia instantánea de calor y carga de refrigeración real



Nota. Diferencia entre la ganancia instantánea de calor y la carga de refrigeración real. Tomado de *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización* (p. 90), por C. González, 2013, CANO PINA SL.

El método CLTD/SCL/CLF es perfecto para calcular la carga de refrigeración debida a la transmisión de calor por superficies como techos, paredes y ventanas, la ganancia de calor por la radiación solar a través de las fenestraciones y la ganancia de calor debida a las cargas internas del recinto en estudio. A su vez también toma en consideración la aportación de calor debida a la infiltración y/o ventilación de aire en el ambiente estudiado (Acharya et al., 2019).

Al momento de hablar de la carga térmica de enfriamiento, es importante tener en cuenta que cualquier edificación almacena calor a lo largo de la mañana y tarde cuando la radiación solar toma sus valores más altos, como se aprecia en la Figura 4. Es así que se necesita conocer el efecto del almacenamiento para calcular el valor real de la potencia térmica de refrigeración asociada para el recinto.

Las definiciones de todas las siglas en el nombre del método son precisadas por Ahmed (2012), y se mencionan a continuación:

- CLTD: Es la diferencia de temperatura de la carga de refrigeración o Cooling Load Temperature Difference: Hace referencia a un gradiente de temperatura que engloba el efecto de almacenamiento de calor de la estructura de la construcción y la conducción de calor regular.
- SCL: Carga de enfriamiento solar o Solar Cooling Load: Es un parámetro indicado para conocer la potencia térmica de calor ganada al ser transmitida a través de los vidrios de las ventanas.
- CLF: Factor de carga de enfriamiento o Cooling Load Factor: Factor que hace hincapié en la capacidad de almacenamiento de calor de las cargas internas.

A continuación, se enumeran las cargas de enfriamiento y su procedimiento para ser calculadas haciendo uso del método indicado:

2.3.1. Cargas de refrigeración externas

En lo que respecta al cómputo de las cargas externas, se hace necesario determinar el Coeficiente Global de Transferencia de Calor el cual es comúnmente simbolizado con la letra U, y su significado físico asocia las propiedades higrométricas de las capas de cada cerramiento o envolvente del recinto en estudio. Un cerramiento o envolvente hace referencia a las paredes, techo o piso que envuelven el ambiente interior en análisis.

Spitler (2014), expresa que, antes de realizar todos los procesos para determinar las cargas térmicas, primero se debe calcular la resistencia térmica total.

Este parámetro es simplemente la adición aritmética de cada una de las resistencias de las capas individuales de la envolvente, agregando los efectos producidos por los coeficientes relacionados a la convección entre el ambiente exterior e interior con la construcción, reflejados en las resistencias superficiales respectivas.

Para conocer la resistencia térmica del material correspondiente a una capa de cerramiento, la siguiente ecuación puede ser usada, según Spitler (2014):

$$R = e_{mat}/k_{mat} \quad (1)$$

Donde:

R: Resistencia térmica de una capa en ($m^2\text{°C}/W$)

e_{mat}: Espesor de la capa del material en (m)

k_{mat}: Conductividad térmica del material de la capa en ($W/m\text{°C}$)

El espesor de cada capa de material que compone el cerramiento depende de la construcción en estudio. En nuestro país es común el uso de ladrillo hecho a base de arcilla, concreto simple o armado y capas de cemento con arena conocidas como mortero o tarrajeo. Las propiedades higrométricas de los materiales característicos de construcción se encuentran tabuladas en la Norma Técnica EM.110 Envolvente térmica del RNE y son las siguientes: conductividad térmica, densidad, calor específico (consultar Anexo 3, según corresponda).

Por lo antes mencionado se define la resistencia térmica total de cada envolvente con la siguiente ecuación (Spitler, 2014):

$$R_T = R_i + \sum_{j=1}^{N_{cc}} R_j + R_e \quad (2)$$

Donde:

R_T: Resistencia térmica total del cerramiento en ($m^2\text{°C}/W$)

R_j: Resistencia térmica de la capa enésima del cerramiento en ($m^2\text{°C}/W$)

R_i : Resistencia térmica superficial interna en ($m^2\text{°C}/W$)

R_e : Resistencia térmica superficial externa en ($m^2\text{°C}/W$)

N_{cc} : Número de capas del cerramiento o envolvente

Los valores de las resistencias térmicas de las capas se determinan usando la Ecuación 1. Por otro lado, para conocer el valor de las resistencias térmicas superficiales relacionadas a la convección, se toma en cuenta en primer lugar la orientación del flujo de calor y también es necesario conocer la posición de la superficie en contacto con el ambiente exterior e interior (consultar Anexo 4, según corresponda).

Finalmente, Spitler (2014) define el valor del Coeficiente Global de Transferencia de Calor empleando la Ecuación 3:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (3)$$

Donde:

U : Coeficiente Global de Transferencia de Calor del cerramiento

en ($W/m^2\text{°C}$)

R_T : Resistencia térmica total del cerramiento en ($m^2\text{°C}/W$)

En el caso de las fenestraciones (el término fenestraciones hace referencia a los espacios abiertos en los cerramientos como puertas y ventanas, entre otros), el valor del Coeficiente Global de Transferencia de Calor correspondiente se encuentra tabulado y organizado por las autoridades competentes (consultar Anexo 5 y 6, según corresponda).

Hace unas páginas atrás se expresó como se define el CLTD, sin embargo, para hablar de su significado físico, González (2013), menciona que es necesario entender que representa o explica los efectos compuestos de la variación de temperatura interna y exterior del ambiente físico, así como también asocia la energía de la radiación solar y el almacenamiento de calor debido a las características constructivas del edificio en cuestión. Es evidente que, al considerar la radiación solar, el parámetro CLTD depende de la orientación, inclinación y datos geográficos como longitud y latitud de la edificación.

La ASHRAE definió los valores de CLTD para condiciones específicas de ubicación geográfica y características constructivas, por lo que es necesario corregir este valor, para ello, González (2013), define el valor del CLTD corregido como:

$$CLTD_c = K(CLTD + LM) + (25.5 - T_{id}) + (T_{me} - 29.4) \quad (4)$$

Donde:

CLTD_c: Diferencia de temperatura de la carga de refrigeración corregida en (°C)

CLTD: Diferencia de temperatura de la carga de refrigeración en (°C)

K: Corrección debida al color de la superficie (Adimensional)

LM: Corrección debida a la latitud y mes en (°C)

T_{id}: Temperatura del ambiente o recinto de diseño en (°C)

T_{me}: Temperatura media diaria exterior (°C)

El valor de *CLTD* toma en cuenta los efectos del almacenamiento de calor que se producen dentro del recinto (consultar Anexo 7, 8, 9 y 10 según corresponda). El valor de *LM* busca corregir el valor de *CLTD* para la latitud y mes correspondientes (consultar Anexo 11, según corresponda). El valor de *K* toma valores de:

K = 1.0 para superficies oscuras o en zonas industriales

K = 0.5 para techos pintados de color claro

K = 0.65 para paredes pintadas de color claro

El *CLTD_c* para las ventanas no toma en cuenta el valor de *LM* y tampoco el valor de *K*. Es así que, para determinar los valores de las ganancias de calor, debemos conocer los parámetros expuestos líneas arriba. El valor de *T_{me}*, corresponde a la semisuma de la temperatura máxima y mínima diaria. Comúnmente estos valores son promedios mensuales. En relación a la idea anterior, se expresan las ecuaciones fundamentales para el cálculo de carga térmica correspondiente. Estas ecuaciones representan la potencia térmica por cada elemento unitario evaluado (cerramiento o fenestración). En virtud de tener en cuenta el valor total, es necesario evaluar cada tipo de elemento constructivo y la cantidad total de estos, según corresponda en el análisis de la edificación en cuestión.

a. Conducción de calor por cerramientos y fenestraciones en contacto con la radiación solar

Con respecto a la conducción de calor en techos, paredes, puertas y conducción a través del vidrio de las ventanas, la siguiente ecuación presentada por Acharya et al. (2019), define su comportamiento:

$$\dot{Q}_c = UA(CLTD_c) \quad (5)$$

Donde:

\dot{Q}_c : Ganancia de calor por conducción a través del cerramiento o fenestración en (W)

U : Coeficiente Global de Transferencia de Calor del cerramiento o fenestración en (W/m²°C)

A : Área del cerramiento o fenestración en (m²)

$CLTD_c$: Diferencia de temperatura de la carga de refrigeración corregida en (°C)

b. Ganancia de calor por la radiación solar a través del vidrio de las ventanas

Las ventanas, al ser fenestraciones que contienen vidrio, el cual es un elemento con características y propiedades ópticas diferentes con respecto a las paredes, techo, suelo o puertas, entre otros, tienen un elemento de carga térmica que también debe ser evaluado. Este término tiene en cuenta la transmisión de la radiación solar por parte del vidrio. Por consiguiente, la ganancia de calor por la radiación solar a través del vidrio de las ventanas, se expresa con la Ecuación 6 (Acharya et al., 2019):

$$\dot{Q}_{sv} = A(SCL)(SC) \quad (6)$$

Donde:

\dot{Q}_{sv} : Ganancia de calor por la radiación solar a través del vidrio de la ventana en (W)

A: Área de la ventana en (m²)

SCL: Carga de enfriamiento solar en (W/m²)

SC: Coeficiente de sombra (Adimensional)

Los valores de SCL dependen de la ubicación geográfica de la edificación y el ambiente en estudio, así como la radiación solar incidente (consultar Anexo 12, según corresponda).

De igual forma, los valores de SC se han determinado para diferentes situaciones, en donde existen obstáculos que disminuyen el aporte de la ganancia de potencia térmica debida a la energía solar a través de los vidrios de las ventanas (consultar Anexo 13, según corresponda).

c. Conducción de calor por cerramientos y fenestraciones sin contacto con la radiación solar

En algunas situaciones citando a González (2013), el recinto de estudio cuenta con cerramientos o fenestraciones que no tienen interacción con la radiación solar, o que no se encuentran climatizados. La potencia térmica aportada por paredes, tabiques, techos y/o suelos sin contacto con la radiación solar o que no se encuentran climatizados se define como:

$$\dot{Q}_b = UA(T_b - T_{id}) \quad (7)$$

Donde:

\dot{Q}_b : Ganancia de calor por conducción a través de cerramiento o fenestración sin contacto con radiación solar o no climatizado en (W)

U: Coeficiente Global de Transferencia de Calor del cerramiento o fenestración en (W/m²°C)

A: Área del cerramiento o fenestración en (m²)

T_b: Temperatura del ambiente adyacente en (°C)

T_{id}: Temperatura del ambiente o recinto de diseño en (°C)

Al haber definido los aportes de calor debidos a factores externos, podemos determinar su valor numérico con la Ecuación 8 como sigue:

$$Q_{EXT} = \dot{Q}_c + \dot{Q}_{sv} + \dot{Q}_b \quad (8)$$

Donde:

\dot{Q}_{EXT} : Carga de refrigeración externa en (W)

\dot{Q}_c : Ganancia de calor por conducción a través de cerramientos o fenestraciones en (W)

\dot{Q}_{sv} : Ganancia de calor la radiación solar a través del vidrio de las ventanas en (W)

\dot{Q}_b : Ganancia de calor por conducción a través de cerramientos o fenestraciones sin contacto con radiación solar o no climatizado en (W)

2.3.2. Cargas de refrigeración internas:

En el interior del ambiente físico de estudio existen elementos que generan ganancias de calor que deben ser calculadas, tal como lo expresa la ASHRAE (2017b), estas ganancias de calor se ven emparentadas con la cantidad de ocupantes dentro del recinto, el tipo de iluminación, motores o equipos con motores, electrodomésticos, equipos eléctricos y/o electrónicos. Estos elementos contribuyen en el cálculo de la potencia térmica de enfriamiento. En los últimos años y debido al vertiginoso crecimiento de la tecnología las cargas internas han aumentado, sobre todo en ambientes del tipo oficinas, data centers o centros de atención de llamadas comúnmente conocidos como call centers. Las principales cargas internas que se evalúan se expresan a continuación.

a. Ocupantes

González (2013), explica que, las personas aportamos calor sensible y latente al momento de entrar a un recinto. Es por ello que es necesario calcular esta aportación para poder extraerla del ambiente mediante el dispositivo de climatización.

– **Carga de refrigeración sensible por ocupantes**

El aporte de calor debido a los ocupantes del tipo sensible se define como (Ahmed, 2012):

$$\dot{Q}_{so} = N_p q_{so} CLF \quad (9)$$

Donde:

\dot{Q}_{so} : *Ganancia de calor sensible por ocupantes en (W)*

N_p : *Número de ocupantes en el recinto*

q_{so} : *Factor de ganancia de calor sensible en (W/persona)*

CLF : *Factor de carga de enfriamiento (Adimensional)*

El valor de CLF se considera 1 siempre y cuando el ambiente físico se presente una alta densidad de ocupación (24 h) y/o se refresca continuamente en los periodos nocturnos o los fines de semana.

– **Carga de refrigeración latente por ocupantes**

La carga de refrigeración latente por ocupantes se define según Ahmed (2012), como:

$$\dot{Q}_{lo} = N_p q_{lo} \quad (10)$$

Donde:

\dot{Q}_{lo} : *Ganancia de calor latente por ocupantes en (W)*

N_p : *Número de ocupantes en el recinto*

q_{lo} : *Factor de ganancia de calor latente en (W/persona)*

En la actualidad, más de la mitad de nuestro tiempo en actividad lo pasamos dentro de una oficina o un recinto ajeno a nuestro hogar. Es fundamental entonces contemplar el confort térmico y la ergonomía en los centros de trabajo. En el centro de trabajo no se hacen solo actividades suaves, sino también actividades que contemplan un esfuerzo físico mayor. Es por ello que se ha hecho necesario tener en cuenta que los factores de

ganancia de calor sensible y latente q_{so} y q_{lo} depende de la actividad que realicen las personas dentro del establecimiento (consultar Anexo 14, según corresponda).

b. Iluminación

Las cargas por iluminación están relacionadas con la potencia eléctrica de los equipos de alumbrado como lámparas fluorescentes, incandescentes, ahorradoras o led (Ahmed, 2012). La carga de refrigeración por iluminación se define como:

$$\dot{Q}_{il} = N_{il}P_{il}F_{ul}F_{sa}CLF \quad (11)$$

Donde:

\dot{Q}_{il} : Ganancia de calor por iluminación en (W)

N_{il} : Número de luminarias en el ambiente o recinto

P_{il} : Potencia de la luminaria en (W)

F_{ul} : Factor de uso de la iluminación (Adimensional)

F_{sa} : Factor de asignación especial (Adimensional)

CLF : Factor de carga de enfriamiento (Adimensional)

El valor de CLF se considera 1 siempre y cuando la luz se use las 24 horas del día y/o se refresca continuamente en los periodos nocturnos o los fines de semana. El valor de F_{ul} y F_{sa} dependen del uso y tipo de luminaria que se encuentra instalada.

c. Motores

Se calcula la ganancia instantánea de calor para equipos operados por motores eléctricos en un espacio, con la siguiente ecuación (ASHRAE, 2017):

$$\dot{Q}_{me} = N_{me}(P_{el}/\eta_{el})F_{UM}F_{LM}CLF \quad (12)$$

Donde:

\dot{Q}_{me} : Ganancia de calor por motores en (W)

N_{me} : Número de motores en el ambiente o recinto

P_{el} : Potencia eléctrica del motor en (W)

η_{el} : Eficiencia eléctrica del motor (Adimensional)

F_{UM} : Factor de uso del motor (Adimensional)

F_{LM} : Factor de carga del motor (Adimensional)

CLF : Factor de carga de enfriamiento (Adimensional)

El factor de carga del motor F_{LM} , es la fracción de la carga nominal suministrada en las condiciones normales de operación. Por otro lado, el factor de uso del motor F_{UM} , se puede aplicar cuando se sabe que el uso del motor es intermitente. Para aplicaciones convencionales se le considera 1 como valor adecuado.

El valor de CLF se considera 1 siempre y cuando el motor se use las 24 horas del día y/o se refresca continuamente en los periodos nocturnos o los fines de semana.

d. Equipos diversos

En equipos diversos, según la ASHRAE (2017b), los valores de placa del equipo en pocas ocasiones reflejan su consumo real dentro del ambiente o recinto. En lo que respecta al cálculo del aporte de calor por parte de los equipos diversos, se debería considerar que el consumo de placa es igual a su aporte de calor, sin embargo, esta relación varía ampliamente. En particular, para los equipos de oficina, la relación real entre el aporte térmico total y el valor expresado en la placa oscila entre un 25 a 50 %, siendo en algunos casos valores inferiores a este rango.

Es así que el aporte de calor asociado a los dispositivos diversos se expresa con la Ecuación 12:

$$\dot{Q}_{ed} = N_{ee}PP_{ee}CLF \quad (13)$$

Donde:

\dot{Q}_{ed} : Ganancia de calor por equipos diversos en (W)

N_{ee} : Número de equipos en el ambiente o recinto

PP_{ee} : Ganancia de calor pico del equipo en (W)

CLF : Factor de carga de enfriamiento (Adimensional)

Los aportes específicos de las ganancias térmicas por equipos diversos reales PP_{ee} , se han evaluado en diversos tipos de ambientes y con una amplia gama de variación de sus características (consultar Anexo 15, 16, 17, 18 y 19, según corresponda).

El valor de CLF se considera 1 siempre y cuando el equipo se use las 24 horas del día y/o se refresca continuamente en los periodos nocturnos o los fines de semana.

Los aportes de calor internos totales están conformados por la adición de los aportes térmicos internos debidos a los ocupantes, por la iluminación, motores y equipos diversos, entonces:

$$\dot{Q}_{INT} = \dot{Q}_{so} + \dot{Q}_{lo} + \dot{Q}_{il} + \dot{Q}_{me} + \dot{Q}_{ed} \quad (14)$$

Donde:

\dot{Q}_{INT} : Carga de refrigeración interna en (W)

\dot{Q}_{so} : Ganancia de calor sensible por ocupantes en (W)

\dot{Q}_{lo} : Ganancia de calor latente por ocupantes en (W)

\dot{Q}_{il} : Ganancia de calor por iluminación en (W)

\dot{Q}_{me} : Ganancia de calor por motores en (W)

\dot{Q}_{ed} : Ganancia de calor por equipos diversos en (W)

2.3.3. Cargas de refrigeración por infiltración y/o ventilación

González (2013), plantea que es fundamental que los ambientes tengan una ventilación permanente, esto con el objetivo de alcanzar los parámetros de bienestar o confort térmico adecuados, expulsando también la concentración de gases nocivos, microorganismos, malos olores, suciedad, polvo entre otros.

Una ventilación adecuada, está relacionada con un confort térmico correcto. Para ello las características intrínsecas de la edificación pueden ser parámetro suficiente para evitar que la ventilación se realice correctamente.

Teniendo en cuenta lo expuesto, al ventilarse el ambiente, el aire que entra aportará calor al ambiente, es por eso que también se determina esta aportación en las cargas térmicas.

En ese orden de ideas, el aire puede entrar al recinto, mediante dos formas:

- Ventilación natural: Es aquella que pasa a través de las aberturas como las puertas y ventanas o por infiltraciones entre los marcos, rendijas. El flujo de aire no es posible de controlar.
- Ventilación forzada: Se utilizan dispositivos que extraen e impulsan el aire como los extractores o ventiladores. En este caso sí se puede controlar el caudal de aire que viene del exterior.

El intercambio de aire entre el exterior e interior del recinto, aumenta el valor de la potencia térmica de refrigeración por aportación de calor latente y sensible. Es necesario entonces, conocer el caudal volumétrico de renovación de aire, pues este valor es obligatorio para determinar las ganancias de calor asociadas.

El método para determinar el caudal volumétrico se conoce como método de la tasa mínima de ventilación, para ello se utilizan los datos establecidos según tipo de ambiente, proporcionados por la Norma Técnica EM 030 Instalaciones de Ventilación del RNE (consultar Anexo 20, según corresponda). La norma hace uso de la siguiente ecuación para obtener el caudal volumétrico mínimo necesario.

$$\dot{V}_{bz} = R_p (P_z) + R_a (A_z) \quad (15)$$

Donde:

\dot{V}_{bz} : Caudal volumétrico de ventilación o renovación en (L/s)

R_p : Caudal de aire exterior requerido por persona en (L/s persona)

P_z : Número de personas en la zona ventilada

R_a : Caudal de aire exterior requerido por área en (L/s m²)

A_z : Área del recinto en estudio en (m²)

La ASHRAE (2017b), recomienda que el caudal volumétrico de ventilación o renovación en condiciones de verano (carga de refrigeración) sea la mitad del valor concertado para las condiciones de invierno (carga de calefacción).

Se hace evidente entonces mencionar que, el caudal volumétrico mínimo necesario se relaciona para las condiciones de verano. Mientras que, para invierno, se asume el doble del valor calculado.

a. Cargas de refrigeración por ventilación aporte de calor sensible

González (2013), indica que el aire al ingresar genera que aumente la temperatura del ambiente, por lo tanto, la Ecuación 16 define la ganancia de calor asociada:

$$\dot{Q}_{vse} = 1,23 \dot{V}_r (T_e - T_{id}) \quad (16)$$

Donde:

\dot{Q}_{vse} : Carga de refrigeración por ventilación aporte de calor sensible en (W)

\dot{V}_r : Caudal volumétrico de ventilación o renovación en (L/s)

T_e : Temperatura externa del aire en (°C)

T_{id} : Temperatura del ambiente o recinto de diseño en (°C)

b. Cargas de refrigeración por ventilación aporte de calor latente

El aire que ingresa aporta un calor relacionado al vapor de agua mezclado con el mismo (González, 2013). Es así que la ganancia de calor que toma en cuenta el fenómeno indicado se expresa por la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{vla} = 3010 \dot{V}_r (W_e - W_{id}) \quad (17)$$

Donde:

\dot{Q}_{vla} : Carga de refrigeración por ventilación aporte de calor latente en (W)

\dot{V}_r : Caudal volumétrico de ventilación o renovación en (L/s)

W_e : Humedad absoluta exterior del aire en
(kg de vapor de agua / kg de aire seco)

W_{id} : Humedad absoluta en el recinto de diseño en
(kg de vapor de agua / kg de aire seco)

A su vez, los valores de humedad absoluta exterior e interior se determinan haciendo uso de la carta psicrométrica, relacionando la humedad relativa y la temperatura de bulbo seco en °C, para el ambiente exterior e interior (consultar Anexo 21, según corresponda). En la misma línea de ideas, la humedad relativa que se debe mantener en el ambiente físico en análisis, se considera un valor del 50 %, indistintamente para los periodos de invierno y verano (Chumbiray, 2021).

La carga de refrigeración por infiltración y/o ventilación total se expresa de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{VEN} = \dot{Q}_{vse} + \dot{Q}_{vla} \quad (18)$$

Donde:

\dot{Q}_{VEN} : Carga de refrigeración por ventilación en (W)

\dot{Q}_{vse} : Carga de refrigeración por ventilación aporte de calor sensible en (W)

\dot{Q}_{vla} : Carga de refrigeración por ventilación aporte de calor latente en (W)

Finalmente, la carga de refrigeración total para el recinto o ambiente físico de estudio es la suma de las cargas de refrigeración externas, internas y de ventilación, y se expresa con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_R = \dot{Q}_{EXT} + \dot{Q}_{INT} + \dot{Q}_{VEN} \quad (19)$$

Donde:

\dot{Q}_R : Carga de refrigeración total en (W)

\dot{Q}_{EXT} : Carga de refrigeración externa en (W)

\dot{Q}_{INT} : Carga de refrigeración interna en (W)

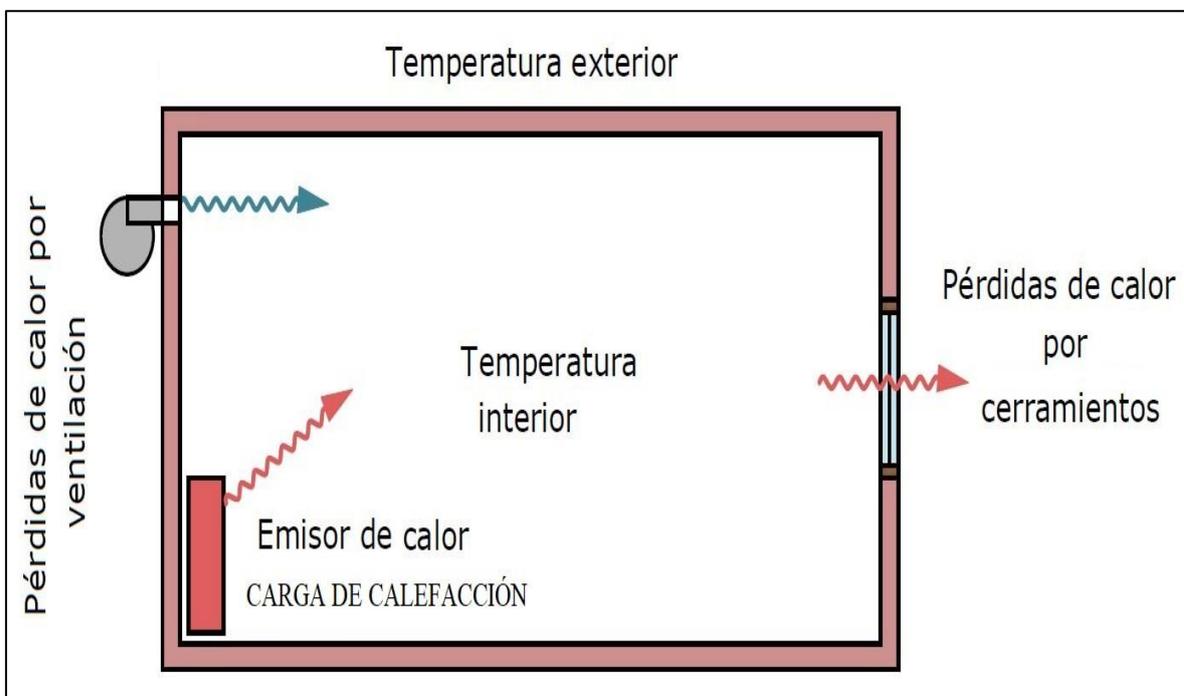
\dot{Q}_{VEN} : Cargas de refrigeración por ventilación en (W)

2.4. CARGA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN

En la estación de invierno, la temperatura interna del ambiente se encuentra por encima de la temperatura del ambiente exterior. Este gradiente de temperatura genera un flujo de pérdida de calor que tiene una dirección de adentro hacia afuera del recinto, esto representa el caso opuesto de la carga de refrigeración (González, 2013). Es por ello que la carga de calefacción se delimita como la aportación de calor que se debe abastecer para conservar el ambiente a la temperatura de confort térmico y humedad relativa deseadas. Las diferentes cargas de calefacción se ven representadas en la Figura 5.

Figura 5

Cargas de calefacción en un recinto o ambiente físico



Nota. Las cargas de calefacción que determinan la carga térmica de calefacción total. Tomado de *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización* (p. 62), por C. González, 2013, CANO PINA SL.

Las principales consideraciones al momento de estimar la carga térmica de calefacción son según (Spitler, 2014):

- No se consideran los aportes de calor por parte de la radiación solar.
- Por lo general, se supone que no hay aportes de calor internos (por ejemplo, personas, luces, equipos, entre otros), y el usuario puede establecerlos en cero.
- Se asumen temperaturas exteriores constantes.

Es así que para determinar la potencia térmica de calefacción se debe tener en consideración las siguientes pérdidas de calor (Díaz y Barreneche, 2011):

- Las pérdidas de calor externas: Estas se deben a la transmisión de calor que acontece entre el ambiente exterior y el recinto a calentar y que pasan por los cerramientos (techos, paredes del local) y las fenestraciones (ventanas y puertas, entre otros).
- Las pérdidas por infiltración y/o ventilación: Calor que debe equiparar las pérdidas debidas a la ventilación que ocurre por entradas del aire del exterior, en virtud de la ventilación del ambiente para conservar las condiciones adecuadas de salubridad.

En este orden de ideas, las cargas externas que se presentaron para calcular la potencia térmica de enfriamiento se modifican, para poder computar la potencia térmica de calefacción de la siguiente forma:

2.4.1. Pérdidas de calor externas

a. Conducción de calor por cerramientos y fenestraciones con el exterior

La definición del parámetro U, para los cerramientos y fenestraciones continúa siendo la misma, y ya no se usa el valor del $CLTD_c$ para computar la potencia térmica de calefacción, al no tener que considerar el componente de radiación solar. Ahora la siguiente ecuación define el comportamiento del fenómeno según (González, 2013):

$$\dot{Q}_c = UA(T_{id} - T_e) \quad (20)$$

Donde:

\dot{Q}_c : Pérdida de calor por conducción a través de cerramiento

o fenestración en (W)

U: Coeficiente Global de Transferencia de Calor del cerramiento

o fenestración en ($W/m^2\text{°C}$)

A: Área del cerramiento o fenestración en (m^2)

T_{id} : *Temperatura del ambiente o recinto de diseño en (°C)*

T_e : *Temperatura externa del aire en (°C)*

b. Conducción de calor por cerramientos y fenestraciones con ambientes no climatizados

De la misma manera que podían existir ambientes adyacentes al recinto que se pretende climatizar que no se encuentran climatizados o que reciben la radiación solar, como era el caso para el cálculo de la potencia térmica de enfriamiento (González, 2013).

En el cálculo de la potencia térmica de calefacción, también puede suscitarse la presencia de los ambientes descritos, sin embargo, como se mencionó anteriormente ya no se considera las aportaciones de radiación solar, por lo que se debe inspeccionar que los ambientes adyacentes no cuenten con equipos de climatización, de esta forma la ecuación que representa el fenómeno es la siguiente:

$$\dot{Q}_b = UA(T_{id} - T_b) \quad (21)$$

Donde:

\dot{Q}_b : *Pérdida de calor por conducción a través de cerramiento o fenestración no climatizado en (W)*

U : *Coficiente Global de Transferencia de Calor del cerramiento o fenestración en (W/m²°C)*

A : *Área del cerramiento o fenestración en (m²)*

T_{id} : *Temperatura del ambiente o recinto de diseño en (°C)*

T_b : *Temperatura del ambiente adyacente en (°C)*

Una práctica común en ambientes no climatizados, es considerar su temperatura igual a la temperatura externa del aire esto es: $T_e = T_b$, tanto para el cálculo de potencia térmica de calefacción o de enfriamiento. En otras ocasiones, se puede determinar su valor, midiendo la temperatura del ambiente no climatizado por un periodo de tiempo relevante. Esto depende de las consideraciones en el cálculo.

Al haber definido las pérdidas de calor debidas a factores externos, podemos determinar su valor numérico con la Ecuación 22 como sigue:

$$\dot{Q}_{EXT} = \dot{Q}_c + \dot{Q}_b \quad (22)$$

Donde:

\dot{Q}_{EXT} : Pérdidas de calor externas en (W)

\dot{Q}_c : Pérdidas de calor por conducción a través de cerramientos o fenestración en (W)

\dot{Q}_b : Pérdidas de calor por conducción a través de cerramientos o fenestración no climatizado en (W)

2.4.2. Pérdidas de calor por infiltración y/o ventilación

En relación a las pérdidas térmicas por infiltración y/o ventilación, el procedimiento para poder determinarlas es similar solo que de sentido opuesto a las cargas de refrigeración.

El caudal volumétrico de ventilación se determina usando la información proporcionada por la Norma Técnica EM 030 Instalaciones de Ventilación del RNE (consultar Anexo 20, según corresponda) y empleando el método mencionado de la tasa mínima de ventilación. Además, se tiene en cuenta la recomendación expresada por la ASHRAE (2017b).

En el caso de las pérdidas térmicas por ventilación aporte de calor sensible (Ecuación 16), solo cambiaría el orden de la diferencia de temperaturas pues ahora la temperatura T_{id} es mayor a la T_e . Mientras que en las pérdidas térmicas por ventilación aporte de calor latente (Ecuación 17), se cambia el orden de la diferencia de humedades absolutas.

De igual modo para cuantificar el valor de las humedades absolutas exterior e interior, estas se determinan haciendo uso de la carta psicrométrica, relacionando la humedad relativa y la temperatura de bulbo seco en °C para el ambiente exterior e interior (consultar Anexo 21, según corresponda).

Las pérdidas térmicas por infiltración y/o ventilación se expresan como:

$$\dot{Q}_{VEN} = \dot{Q}_{vse} + \dot{Q}_{vla} \quad (23)$$

Donde:

\dot{Q}_{VEN} : Pérdida de calor por ventilación en (W)

\dot{Q}_{vse} : Pérdida de calor por ventilación aporte de calor sensible en (W)

\dot{Q}_{vla} : Pérdida de calor por ventilación aporte de calor latente en (W)

Finalmente, la carga de calefacción para el recinto o ambiente físico de estudio es la suma de las pérdidas de calor externas y por ventilación, y se expresa con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_C = \dot{Q}_{EXT} + \dot{Q}_{VEN} \quad (24)$$

Donde:

\dot{Q}_C : Carga de calefacción total en (W)

\dot{Q}_{EXT} : Pérdida de calor externas en (W)

\dot{Q}_{VEN} : Pérdida de calor por ventilación en (W)

Las cargas térmicas que mencionadas en los párrafos anteriores sirven como base para dimensionar los sistemas de climatización en la edificación o recinto en estudio. A continuación, se desarrollan los fundamentos teóricos relacionados a la energía solar y el sistema fotovoltaico encargado de alimentar al equipo de climatización en mención.

2.5. FUNDAMENTOS DE LA ENERGÍA SOLAR

La fuente principal de vida en nuestro planeta es la energía solar, y es también el génesis de la mayoría de los otros tipos de energías que conocemos. Para entender la magnitud y relevancia de la energía solar, León (2019), menciona que, si tuviéramos que hacer una comparación, la radiación del sol cada año, representa varios miles de veces la energía que se necesita suministrar a todo el planeta.

Son ampliamente populares las diferentes formas por las cuales se aprovecha la energía solar, en primer lugar, con sistemas activos conocidos como colectores térmicos solares, que

transforman la energía solar incidente en energía térmica para sus diferentes aplicaciones, y, por otro lado, se presenta el caso de las células fotovoltaicas, materiales semiconductores fabricados a partir de silicio, uno de los semimetales más abundantes del mundo. Los fotones del sol golpean las células fotovoltaicas mencionadas y generan una corriente eléctrica (este fenómeno físico se denomina efecto fotoeléctrico). Este efecto se aprovecha usando los módulos solares fotovoltaicos, los cuales son un conjunto de células fotovoltaicas con parámetros similares, conectadas en paralelo y/o en serie, que producen electricidad en corriente continua (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN], 2019). Es por lo antes mencionado que a continuación se definen las características fundamentales de la radiación solar.

2.5.1. Radiación solar

La radiación solar, es un término colectivo que se usa para referirse a la radiación electromagnética que el sol emite. Esta radiación solar actualmente puede capturarse con diferentes tecnologías y materiales y convertirse en formas aprovechables de energía como la electricidad o el calor. Las diferentes partes del espectro electromagnético, se pueden apreciar en la Figura 6, y por supuesto, tienen efectos muy diferentes al interactuar con la materia, por lo tanto, se usan para diferentes propósitos (Singh et al., 2020).

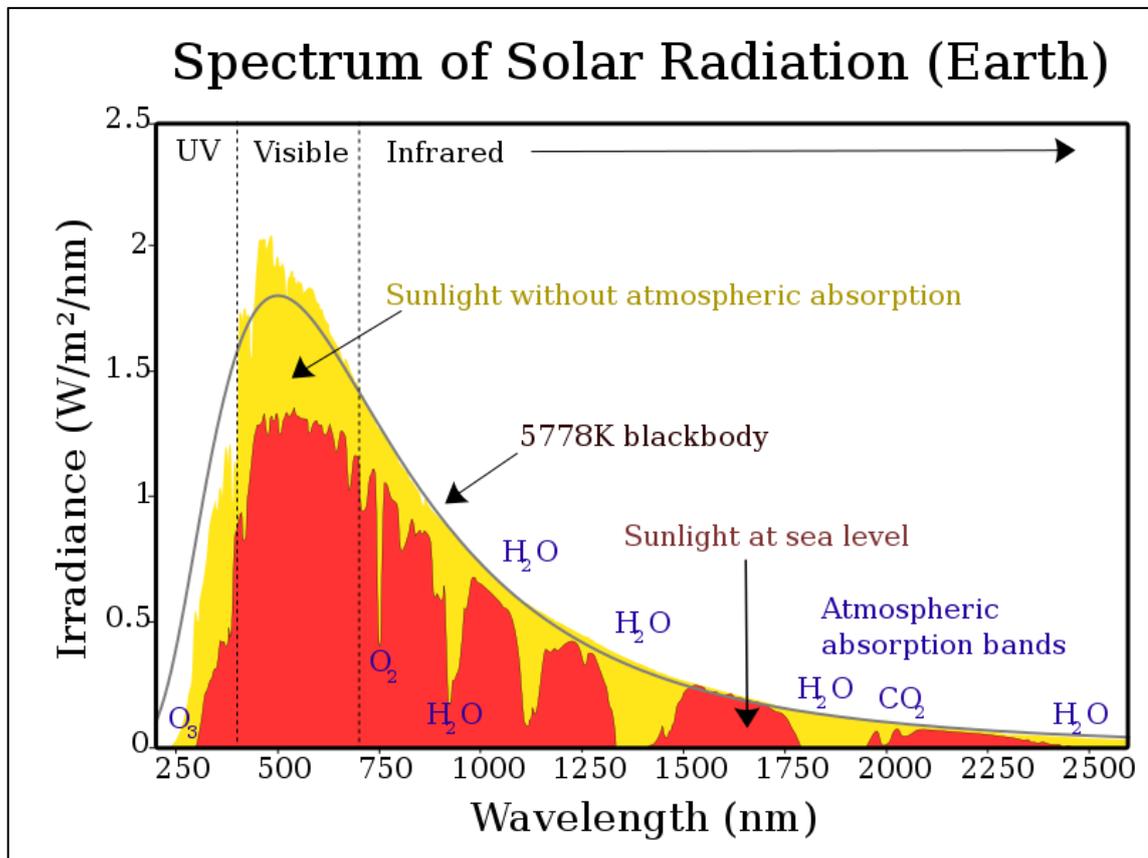
El espectro de la radiación solar electromagnética incidente que se observa en la Figura 6, (250-2500 nm) fuera de la atmósfera terrestre, tiene forma de campana y define la temperatura solar superficial (5778 K). Además, Duffie et al. (2020), mencionan que, el valor total de energía por unidad de área emitida por el sol y recibida antes de ingresar a la atmósfera terrestre (constante solar) es un valor equivalente a 1367 W/m^2 .

La atmósfera, en especial las nubes, son las causantes de que la radiación solar incidente en el planeta se refleje. Por otro lado, elementos como, por ejemplo, el ozono O_3 , el oxígeno O_2 , vapor de agua H_2O y dióxido de carbono CO_2 , abundantes en nuestra atmósfera, provocan un cambio en las propiedades espectrales de la radiación solar.

Además, Potes (2019), indica que, la dispersión provocada por partículas minúsculas como (aerosoles, polvo, gotitas de agua) modifica cómo se distribuye espacialmente la radiación solar incidente. Es por ello que en la superficie de nuestro planeta, la radiación solar se divide de la siguiente forma: 46 % radiación infrarroja, 7 % ultravioleta y 47 % luz visible.

Figura 6

El espectro de radiación solar extraterrestre



Nota. El gráfico muestra el espectro de la radiación solar extraterrestre. Tomado de *Solar radiation and light materials interaction* (p. 3), por V. Singh et al., 2020. Elsevier.

Sin embargo, la radiación solar que llega a la superficie del planeta, presenta tres componentes, los cuales son según Duffie et al. (2020):

- Radiación directa: Es la emisión de radiación que recibimos del sol y la cual no ha sido dispersada por la capa atmosférica y llega de manera directa (línea recta), a la superficie terrestre.
- Radiación difusa: Es la emisión de radiación que recibimos del sol posteriormente a su cambio de orientación debido a la dispersión e interacción con la atmósfera. Es una radiación que depende de la zona de procedencia.
- Radiación reflejada: Una porción de la radiación global se refleja desde el suelo (dispersión) y se comporta como una contribución adicional a la radiación. El valor conocido como albedo describe la fracción de reflexión de esta radiación.

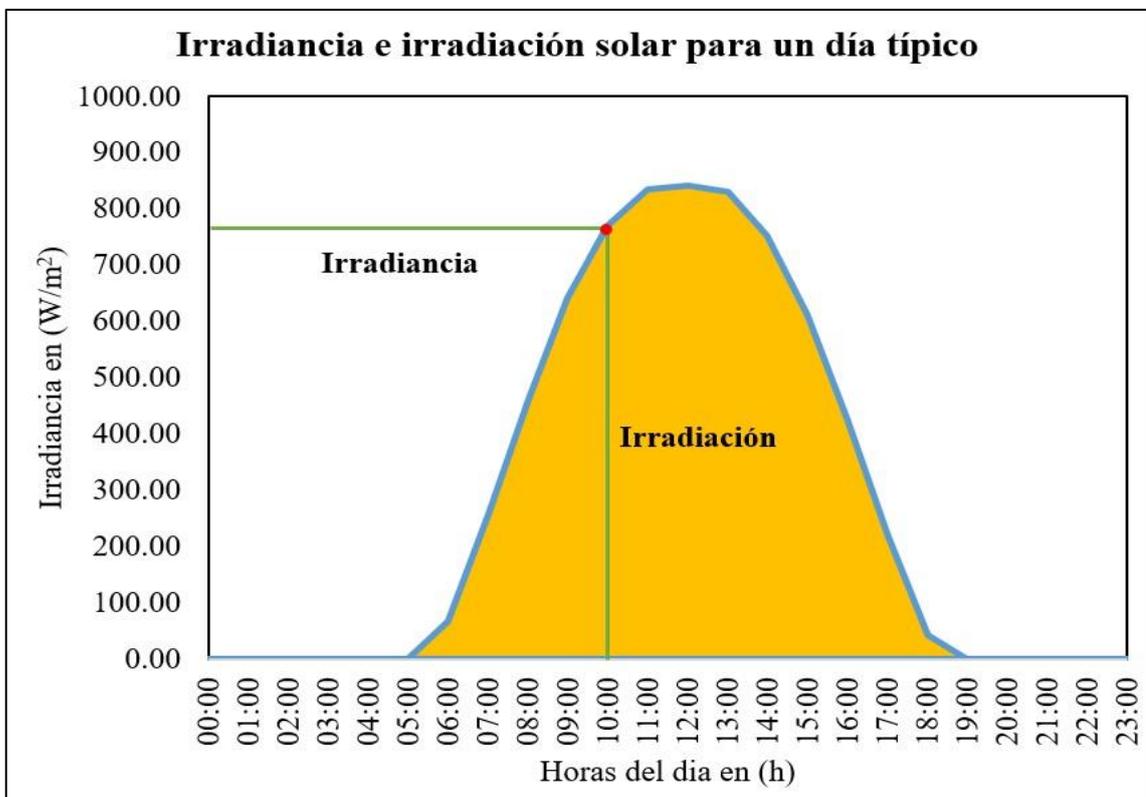
Es necesario a continuación, definir algunos conceptos básicos relacionados a la radiación solar y sus relaciones geométricas.

2.5.2. Irradiancia

En palabras de Duffie et al. (2020), es “la razón en la que la energía radiante incide sobre una superficie por unidad de área” (p.10). Es decir, la potencia incidente con respecto a una superficie como apreciamos en la Figura 7. También es conocido como el valor instantáneo de la radiación medido en W/m^2 o kW/m^2 .

Figura 7

Irradiancia e irradiación solar para un día típico



Nota: El gráfico muestra el concepto de irradiación e irradiación solar para un día típico.

2.5.3. Irradiación

La irradiación es “la cantidad de energía incidente con respecto al área de una superficie, este valor se obtiene integrando la irradiación a lo largo de cierto período de tiempo, generalmente una hora o un día” (Duffie et al., 2020, p. 10). Se mide en unidades de kWh/m^2 o MJ/m^2 y lo observamos en la Figura 7.

2.5.4. Hora solar pico

El parámetro conocido como Hora solar pico (HSP) se calcula como la cantidad de horas equivalente con un valor de irradiancia estándar equivalente a 1000 W/m^2 ideal, que equipara la irradiación total del día en evaluación. Se puede determinar dividiendo el valor de irradiación total diaria entre 1000 W/m^2 (Potes, 2019).

2.5.5. Coordenadas solares

Las coordenadas solares son los ángulos que describen las relaciones geométricas del plano de orientación de referencia en el planeta tierra, con respecto a la radiación que incide en éste. (tanto para un plano fijo o moviéndose con respecto al planeta). Además, expresan la ubicación del sol con respecto al plano mencionado (Duffie et al., 2020). Su función principal es esclarecer la ubicación precisa del sol en el firmamento, y orientar el sistema de referencia para ubicar de la manera más precisa al observador. Estas coordenadas son las siguientes:

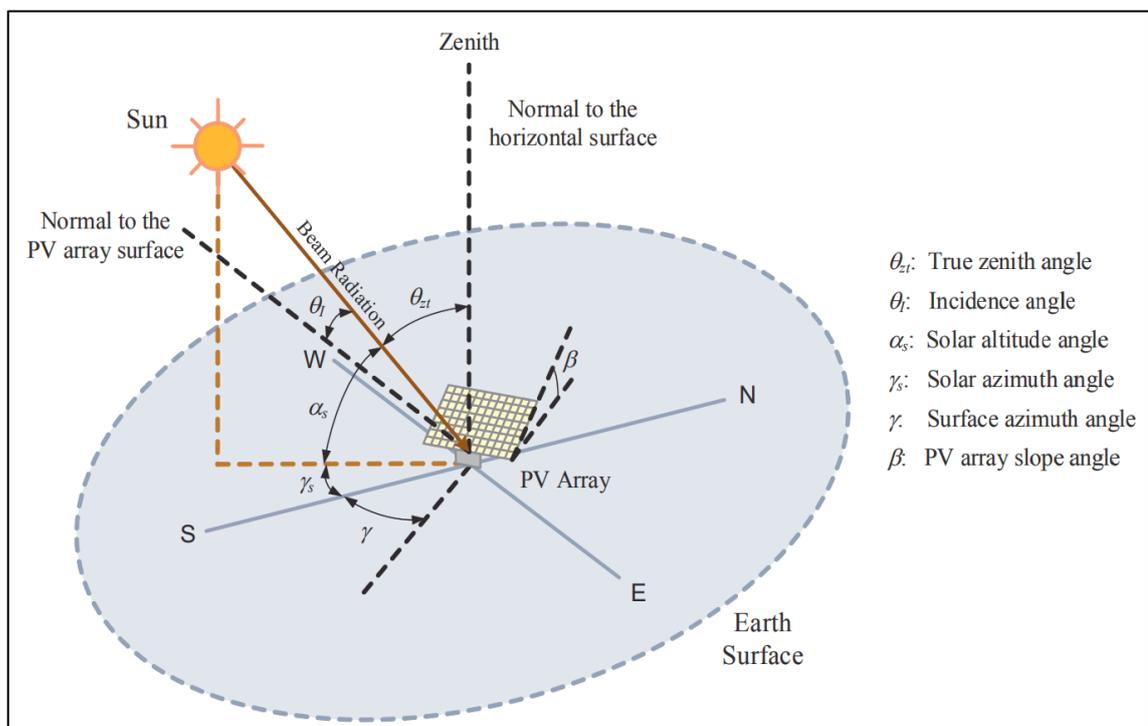
- Longitud (L): Es la ubicación angular existente que se da con respecto al meridiano de Greenwich. Esta puede ser en dirección este u oeste. En la dirección oeste se considera un valor negativo y toma un valor hasta -180° , al contrario, el este se considera un valor positivo y toma un valor hasta 180° .
- Latitud (ϕ): Es la ubicación angular referida al sur o norte del Ecuador terrestre, si está en el norte es positivo y si se encuentra en el sur es negativo. Varía desde -90° hasta 90° .
- Declinación (δ): Ángulo que representa la relación entre el sol y el plano del ecuador. Se considera norte positivo y su valor varía desde -23.45° hasta 23.45° .
- Ángulo de inclinación (β): Hace referencia al ángulo que existe entre la superficie de análisis y el plano horizontal. Sus valores se encuentran desde 0° hasta 180° .
- Ángulo azimutal de superficie (γ): Ángulo que representa la proyección del plano horizontal de la perpendicular a la superficie del meridiano local, colocando cero hacia el sur, el este es negativo, y el oeste positivo, su valor varía entre -180° y 180° .

- Ángulo de incidencia (θ_i): Ángulo que relaciona la radiación incidente solar directa en una superficie, con la perpendicular de dicha superficie.
- Ángulo cenital (θ_{zt}): Ángulo que representa la incidencia de la radiación directa con respecto a la superficie horizontal, es decir entre la vertical y la línea del sol.
- Ángulo de altitud solar (α_s): Ángulo formado entre la horizontal y la línea que representa al sol, conocido como el complemento del ángulo cenital.
- Ángulo azimutal solar (γ_s): El desfase angular que se representa con la proyección de la radiación incidente en el plano horizontal de referencia. Los desplazamientos que recorren desde el sur al este son considerados negativos, por otro lado, el desplazamiento que va desde el sur al oeste es considerado positivo. Su rango se encuentra entre -180° a 180° . Cuando el valor para esta coordenada es $\gamma_s = 0^\circ$, nos encontramos en el medio día solar, es en esta posición donde incide la máxima radiación del día.

En la Figura 8 se puede apreciar las coordenadas solares mencionadas anteriormente.

Figura 8

Coordenadas solares para el plano de referencia con una superficie inclinada



Nota. El gráfico muestra las coordenadas solares para el plano de referencia con una superficie inclinada, con su respectiva leyenda. Tomado de *Modelling and Control of Grid-connected Solar Photovoltaic Systems* (p. 59), por M. Molina, 2016, IntechOpen.

En función a lo planteado, a continuación, se mencionan los conceptos relacionados a un sistema de aprovechamiento de energía solar, en este caso un sistema fotovoltaico.

2.6. SISTEMA FOTOVOLTAICO

En palabras de Jieb y Hossain (2022), los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar según la conectividad que exista con la red eléctrica pública. Por lo tanto, existen tres tipos: sistema fotovoltaico conectado a la red o SFCR, sistema fotovoltaico autónomo (sin conexión con la red) o SFA y el sistema fotovoltaico híbrido (Combinación de los sistemas previos).

En primer lugar, un sistema fotovoltaico autónomo, va producir electricidad, con el objetivo de satisfacer una necesidad energética que no tiene la posibilidad de conectarse a una red de distribución eléctrica, ya sea por la ausencia de la misma o por su ubicación tan lejana con respecto al punto donde se requiere suministro eléctrico. Es por ello que se utiliza un sistema de acumulación de energía (baterías), para contrarrestar los lapsos de tiempo en donde la producción energética es menor con respecto al gasto energético (Perpiñán, 2020).

En la presente investigación, se tiene en cuenta para la alimentación de energía eléctrica al equipo de climatización, un sistema fotovoltaico conectado a la red, por lo que las definiciones, conceptos, componentes y procesos correspondientes al sistema mencionado se presentan en los párrafos siguientes.

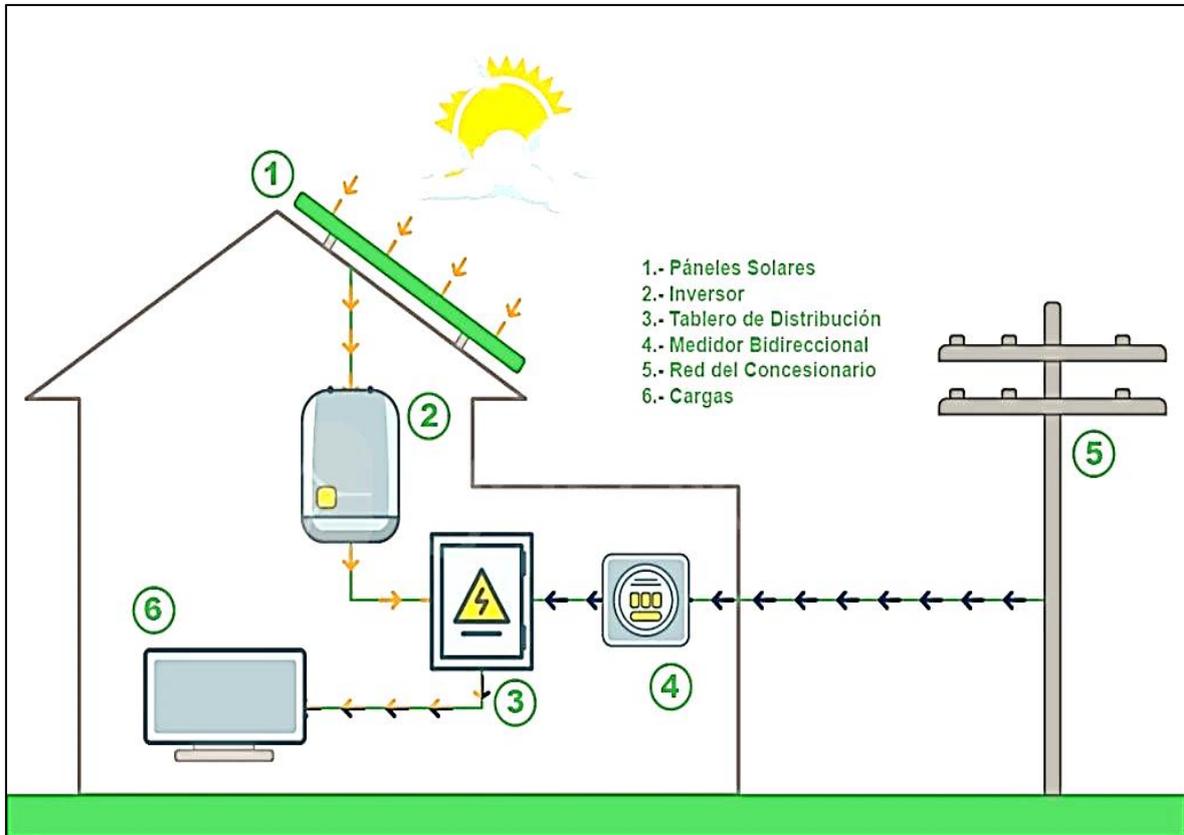
2.7. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A LA RED (SFCR)

Líneas arriba, se presentó la clasificación de los sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, el tipo de sistema que nos atañe es el conectado a la red o de autoconsumo solar. Los sistemas conectados a la red funcionan a la par de esta, si están conectados a una red de corriente alterna estable, que luego absorbe la energía generada cuando la carga local y las condiciones solares lo permiten (Kalogirou, 2017).

Por otro lado, Potes (2019), considera que, un sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR), es conceptualmente un sistema fotovoltaico de generación que funciona a la par de la electricidad proveída por la empresa distribuidora, esto significa que ambas generaciones están conectadas entre sí, y pueden inyectar energía según los requerimientos energéticos para los cuales, fueron dimensionados. La conexión básica puede apreciarse en la Figura 9.

Figura 9

Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR)



Nota. El gráfico muestra los elementos principales de un sistema fotovoltaico conectado a red. Tomado de Energía renovable (energía solar fotovoltaica) [Fotografía], por Global Energy Solutions Perú [GESOLPERU], 2022, GESOLPERU. (<https://gesolperu.com/energias-renovables/>).

2.7.1. Componentes del SFCR

Los principales componentes del SFCR son: paneles fotovoltaicos, medidor bidireccional, inversor de conexión a la red, aparatos de maniobra y protección y estructura de soporte de los paneles. Los equipos mencionados son fundamentales para Potes (2019), y se describen a continuación:

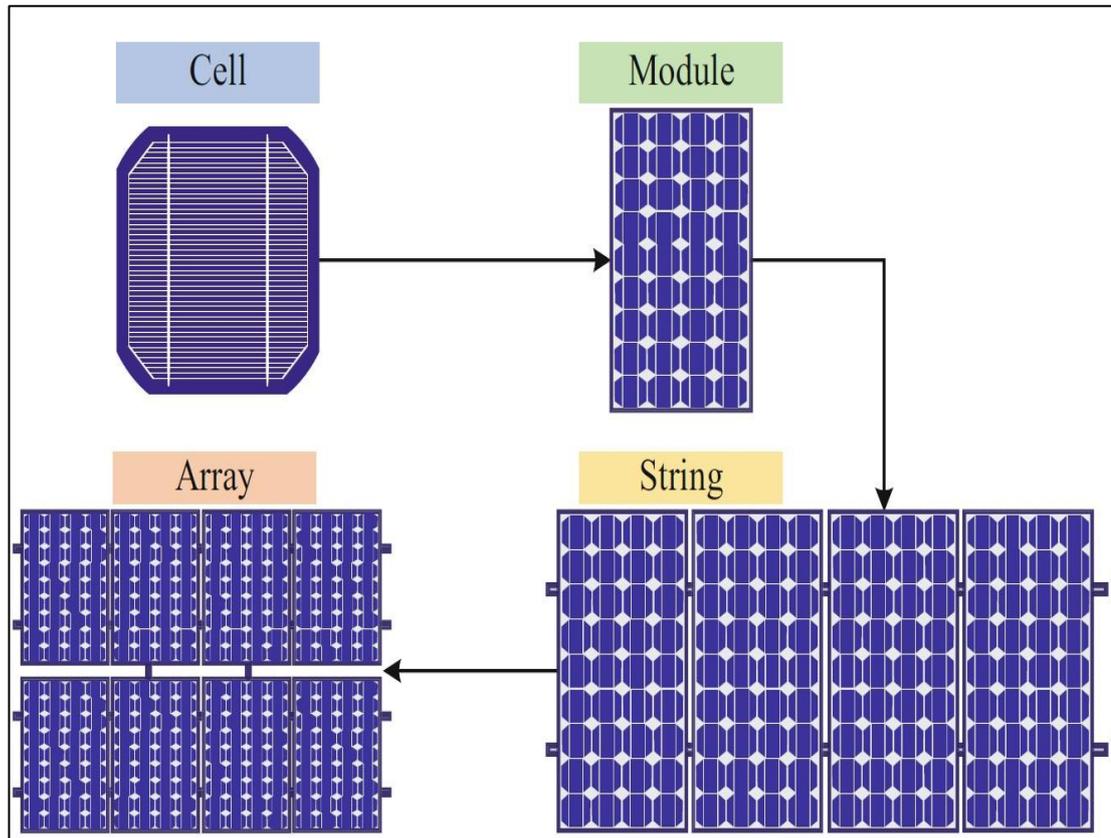
a. Panel fotovoltaico

Las células fotovoltaicas, también llamadas células solares, están hechas de los mismos materiales semiconductores que se utilizan en la electrónica y los chips de ordenador. La diversidad de materiales fotovoltaicos, las diferentes características potenciales y las tecnologías de fabricación versátiles y de bajo costo, han demostrado la riqueza de este sistema de conversión de energía. Un grupo de celdas fotovoltaicas

que se integran en paralelo y en serie conforma lo que conocemos como panel o módulo fotovoltaico (Amin, et al., 2017), y lo podemos observar en la Figura 10.

Figura 10

Esquema de celda, panel fotovoltaico, cadena y arreglo solar



Nota: Diagrama esquemático de un arreglo solar, cadena, panel y celda fotovoltaica. Tomado de *Solar Photovoltaic Systems Fundamentals and Applications* (p. 96), por Y. Jieb y E. Hossain., 2022, Springer.

– Clasificación

Kumar et al. (2020), expresan que, en virtud de entender mejor la clasificación de los paneles solares, estos se clasifican según generación de celdas solares, como se ve en la Figura 11. Es por ello que tenemos:

– Panel fotovoltaico de silicio cristalino

Estos paneles fotovoltaicos pertenecen a la primera generación. La cuota de mercado fotovoltaica está dominada actualmente por este tipo de paneles y presentan eficiencias comerciales de alrededor del 20 %. Actualmente hay dos tipos

diferentes de estos disponibles en el mercado: monocristalino (mono c-Si) y policristalino (poli c-Si), siendo los primeros, los de mayor eficiencia. Estos paneles se fabrican uniendo las células fotovoltaicas c-Si en configuraciones en paralelo y en serie. El proceso de manufactura asociado con este tipo de paneles es caro, dado que el retorno de inversión se encuentra cercano a los 5 o 6 años (Amin, et al., 2017).

– **Panel fotovoltaico de capa fina**

Los paneles fotovoltaicos de película delgada se clasifican según Amin et al. (2017), como la segunda generación de celdas solares. Un panel de película delgada consta de varias células solares conectadas entre sí. Debido a su proceso de producción, los costos asociados a este tipo de paneles son mucho menores, a comparación con la primera generación. Existen diferentes tipos de módulos de capa fina entre ellos tenemos de: indio y galio (CIGS), telurio de cadmio (CdTe) y seleniuro de cobre, así también de Si amorfo (a-Si: H) y Arseniuro de galio (GaAs).

– **Panel fotovoltaico de DSSC, perovskita, orgánico o multiunión**

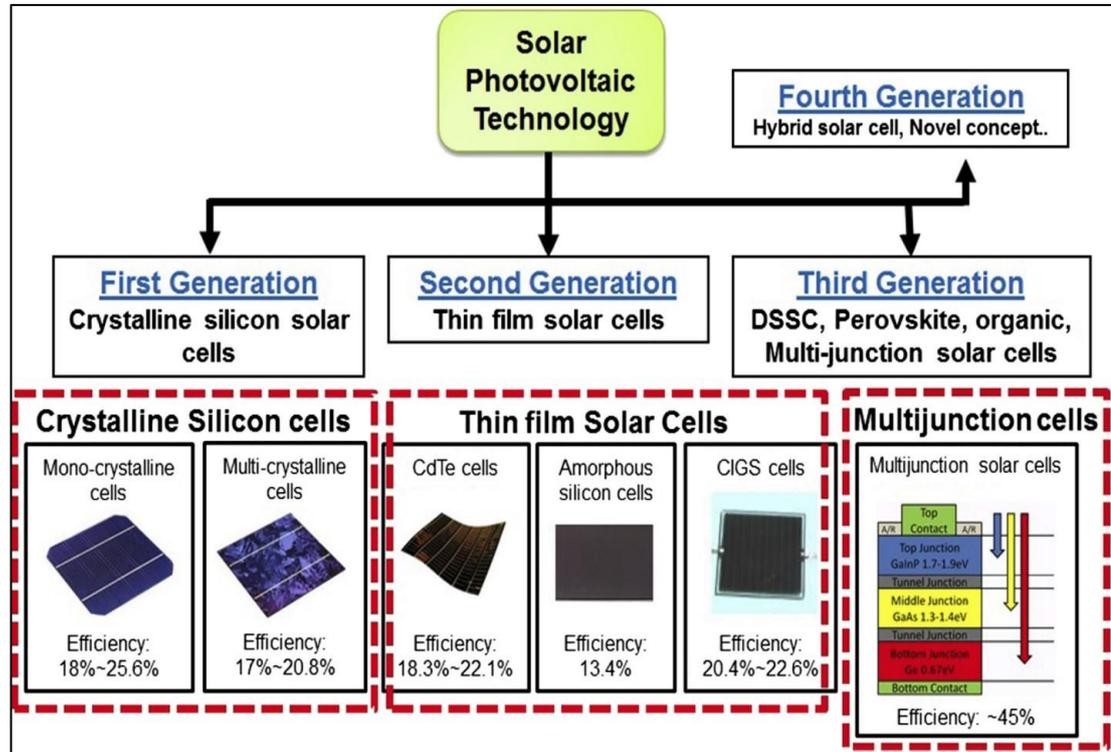
La tercera generación está representada por los paneles fotovoltaicos de células solares sensibilizadas por colorante o dye-sensitized solar cells (DSSC), las hechas por perovskita, las orgánicas y las del tipo multiunión. Este tipo de paneles buscan mejorar los rendimientos alcanzados por la segunda generación, manteniendo en la medida de lo posible los costos bajos de producción. Los rangos de eficiencia se encuentran entre un 30 a 60 % a nivel de laboratorio (Amin, et al., 2017).

– **Panel fotovoltaico híbrido**

A la par de la tercera generación, los paneles de cuarta generación combinan los beneficios de las anteriores generaciones, usando por supuesto nuevos materiales como: los óxidos metálicos, el grafeno, nanotubos de carbono entre otros. El grafeno es un material que ha tomado gran relevancia. A un punto tal, que presenta grandes esperanzas científicas para mejorar los logros tecnológicos de la cuarta generación alcanzados hasta el momento (Iqbal et al., 2022).

Figura 11

Clasificación de paneles fotovoltaicos por generación



Nota: El gráfico representa las generaciones de tecnología de paneles fotovoltaicos. Tomado de “*Solar Photovoltaic Technologies: From Inception Toward the Most Reliable Energy Resource*” (p. 13), por N. Amin et al., 2017, Encyclopedia of Sustainable Technologies, 2017(1).

– **Parámetros eléctricos**

Los principales parámetros eléctricos para un panel fotovoltaico se observan en la Figura 12 y son según Kumar et al. (2020), los siguientes:

Voltaje de circuito abierto (V_{oc}^*): Este es el valor de voltaje medido bajo las condiciones estándares de medida o Standard Test Condition (STC), colocando los terminales de la celda fotovoltaica en el estado de circuito abierto. El valor del voltaje de circuito abierto siempre es superior al valor del voltaje para la potencia máxima.

Corriente de cortocircuito (I_{sc}^*): La corriente máxima que se genera cuando una celda solar fotovoltaica se opera bajo los valores del STC. Al medir esta corriente, los terminales de la celda fotovoltaica están cortocircuitados por una determinada carga. De manera correspondiente, el valor de corriente de cortocircuito siempre es superior al módulo de la corriente de su máxima potencia.

Punto de máxima potencia (MPP): una celda fotovoltaica puede generar la máxima potencia en un determinado punto, y este punto es el referenciado como el punto de máxima potencia. Los voltajes y corrientes registrados en este punto se denominan generalmente voltaje máximo y corriente máxima. Estos valores pueden variar según la radiación solar y otros parámetros meteorológicos locales como la temperatura y la humedad.

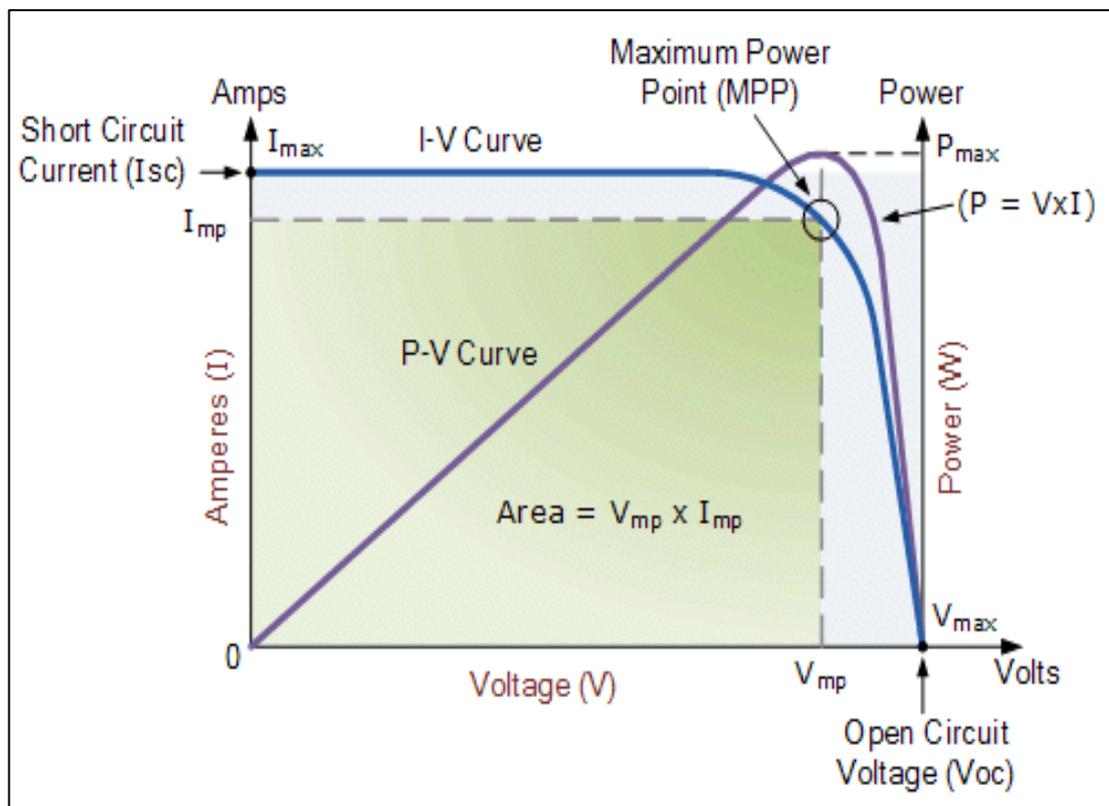
Corriente de potencia máxima del panel fotovoltaico (I_{mpp}^*): Es la corriente relacionada al MPP. Se basa de igual forma en los valores del STC.

Voltaje de potencia máximo del panel fotovoltaico (V_{mpp}^*): Es el voltaje relacionado al MPP. Se basa de igual forma en los valores del STC.

Los valores del STC son los siguientes: una masa de aire de 1.5 (cuantifica la cantidad de atmósfera que atraviesan los rayos de radiación), una temperatura de celda para el panel fotovoltaico de 25 °C y una irradiancia igual a 1000 W/m².

Figura 12

Parámetros eléctricos de los paneles fotovoltaicos



Nota: La imagen muestra el gráfico de I-V y P-V típico para un panel fotovoltaico. Tomado de “Design and Construction of a Tracking Device for Solar Electrical Systems” (p. 228), por J. Kadhun, 2018, The Journal of Scientific and Engineering Research, 5(7).

Factor de llenado: El FF o factor de llenado es la razón entre la máxima potencia o potencia pico (multiplicación de la corriente y voltaje máximos) de la celda solar y el producto de V_{oc}^* e I_{sc}^* . La siguiente ecuación representa el factor de llenado relacionando los parámetros eléctricos más importantes (Sakthivadivel et al., 2021):

$$FF = \frac{I_{mpp}^* V_{mpp}^*}{V_{oc}^* I_{sc}^*} \quad (25)$$

Donde:

FF : Factor de llenado del panel fotovoltaico (Adimensional)

I_{mpp}^* : Corriente máxima STC del panel fotovoltaico en (A)

V_{mpp}^* : Voltaje máximo STC del panel fotovoltaico en (V)

I_{sc}^* : Corriente de cortocircuito STC del panel fotovoltaico en (A)

V_{oc}^* : Voltaje de circuito abierto STC del panel fotovoltaico en (V)

Eficiencia de conversión de energía: Sakthivadivel et al. (2021), menciona que, la eficiencia de conversión se delimita como la división entre la salida de potencia máxima (P_{out}), conocida también como potencia pico y la potencia de entrada (P_{in}) recibida. Es así que la Ecuación 26 define la eficiencia de conversión de energía:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{mpp}^* V_{mpp}^*}{G(A_{PV})} \quad (26)$$

Donde:

η : Eficiencia de conversión de energía del panel fotovoltaico (Adimensional)

P_{out} : Potencia de salida máxima del panel fotovoltaico en (W)

P_{in} : Potencia de entrada del panel fotovoltaico en (W)

I_{mpp}^* : Corriente máxima STC del panel fotovoltaico en (A)

V_{mpp}^* : Voltaje máximo STC del panel fotovoltaico en (V)

G : Irradiación incidente en el panel fotovoltaico en (W/m^2)

A_{PV} : Área efectiva del panel fotovoltaico en (m^2)

Los parámetros eléctricos descritos, no siempre están basados en los valores STC, debido a la variación del clima, el tiempo, la temperatura de celda y ubicación, estos

valores pueden ser diferentes a los expresados en la ficha técnica del panel fotovoltaico. En virtud de corregir los parámetros eléctricos, es necesario hacer uso de ecuaciones que relacionan, la irradiancia, temperatura de celda y coeficientes que expresan la variación de dichos parámetros. Estos coeficientes también son parte de la hoja de datos técnicos del panel fotovoltaico. Por otro lado, las ecuaciones que pueden corregir los parámetros eléctricos, se mencionan en los posteriores apartados.

Los parámetros eléctricos mencionados líneas arriba, se encuentran resumidos en la Tabla 2.

Tabla 2

Descripción de los parámetros eléctricos de un panel fotovoltaico

Parámetro	Fórmula	Descripción
Potencia de entrada	$P_{in} = G(A_{PV})$	Es el valor de energía solar en términos de potencia disponible y se define como el producto del área del panel fotovoltaico y la radiación solar que incide en el mismo.
Potencia de salida	$P_{out} = I_{mpp}^* V_{mpp}^*$	Es la multiplicación del voltaje máximo y la corriente máxima en un momento dado. Simplemente referido como la salida de potencia en los terminales.
Eficiencia de conversión de energía	$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{I_{mpp}^* V_{mpp}^*}{G(A_{PV})}$	Es la división entre la potencia de salida y la potencia aportante o de entrada. Generalmente representa el desempeño de los paneles fotovoltaicos.
Factor de llenado	$FF = \frac{I_{mpp}^* V_{mpp}^*}{V_{oc} I_{sc}^*}$	Es un factor que representa la calidad de la Celda fotovoltaica. Simplemente se da como la relación de potencia salida y el producto del voltaje de circuito abierto con la corriente de cortocircuito.

Nota: La tabla muestra los parámetros eléctricos de un panel fotovoltaico típico. Tomado y adaptado de Solar PV module technologies (p. 53), por N. Kumar et al., 2020, Elsevier Academic Press.

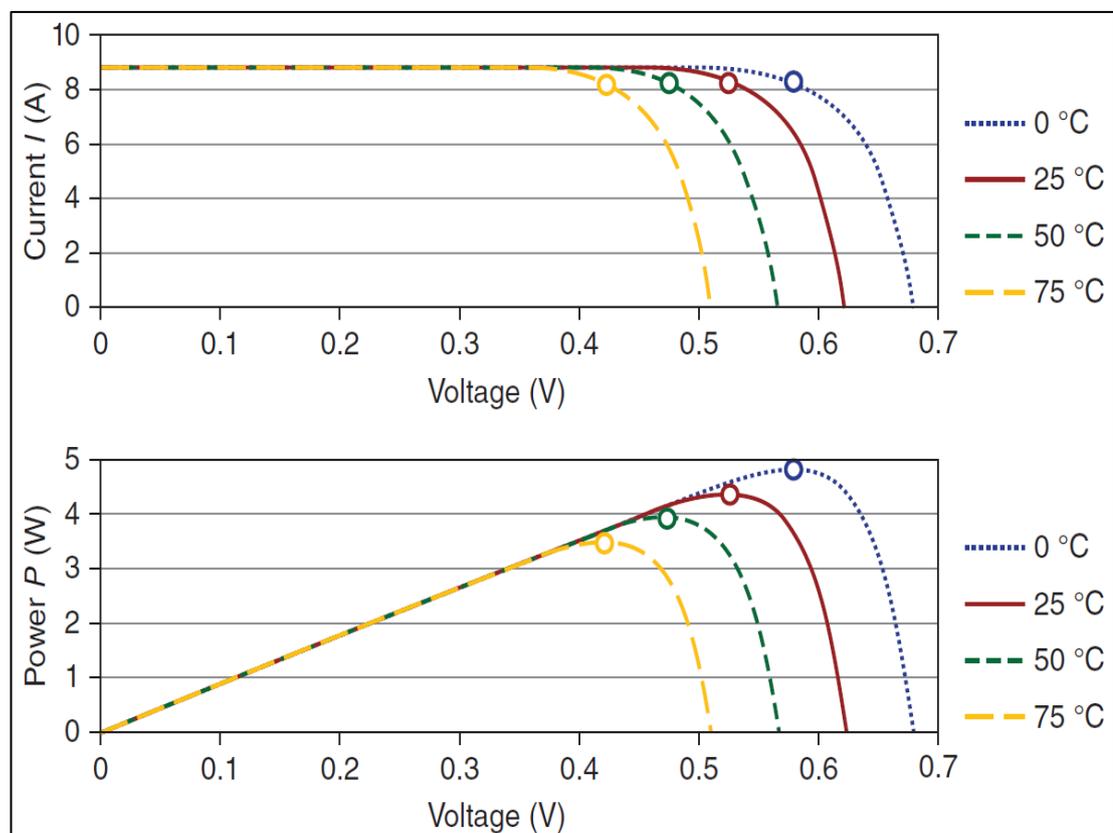
– Factores que afectan el rendimiento del panel fotovoltaico

Los factores más relevantes que deterioran la eficiencia del panel fotovoltaico son aquellos relacionados con las condiciones ambientales o factores externos. En palabras de Firake et al. (2020), los principales factores son los siguientes:

Sombreado: Un módulo solar típico consiste en una conexión en serie de celdas solares para conseguir una tensión prácticamente utilizable. Varios de estos módulos están en conexión en paralelo, en serie o utilizando una combinación que usa ambas conexiones, para conseguir la potencia necesaria. Se ha demostrado que existe una importante pérdida de potencia debido a la iluminación irregular de una cadena de filas. La electricidad generada por las celdas fuertemente iluminadas se desperdicia en forma de calor en las celdas mal iluminadas. Por lo tanto, es importante asegurarse de que todas las celdas conectadas en serie reciban la misma iluminación en lo posible.

Figura 13

Temperatura de funcionamiento de la celda versus el voltaje, potencia y corriente de los paneles fotovoltaicos



Nota: Temperatura de funcionamiento de la celda versus el voltaje, potencia y corriente de los paneles fotovoltaicos. Tomado de *Photovoltaics – Fundamentals, Technology, and Practice* (p. 85), por K. Mertens, 2019, Wiley.

El sombreado conduce a desajustes en las corrientes generadas de las celdas individuales de un módulo. Incluso el sombreado parcial de una sola celda puede reducir significativamente la potencia de salida de todo el módulo, como si todas las celdas estuvieran sombreadas. Una celda sombreada produce mucha menos electricidad que la que no está sombreada. Vieira et al. (2020), menciona que, para reducir el efecto del sombreado se usan diodos de protección en la caja de conexiones del panel (diodo by pass) y diodos de bloqueo en cada cadena de paneles fotovoltaicos.

Temperatura de funcionamiento: Diversas condiciones climatológicas, como la radiación incidente, la temperatura y la suciedad o polvo, afectan el rendimiento de un sistema fotovoltaico. Una forma eficaz de mejorar el rendimiento de un módulo fotovoltaico es reducir la temperatura de funcionamiento de su superficie. Esto se puede lograr enfriando el módulo y reduciendo el calor almacenado en las células fotovoltaicas durante el funcionamiento, en la Figura 13 se observa cómo afecta la temperatura a los parámetros eléctricos del dispositivo fotovoltaico.

Polvo: El polvo reduce significativamente la eficiencia de los módulos solares fotovoltaicos. El rendimiento de las células solares fotovoltaicas expuestas al polvo ambiental se ha investigado experimentalmente. El resultado muestra que el polvo reduce significativamente la producción y la eficiencia de la electricidad. Los parámetros eléctricos del panel solar son sensibles a la densidad del polvo, por lo que es muy importante proporcionar un mecanismo de limpieza que permita eliminar las partículas de polvo de la superficie del panel para garantizar un alto rendimiento. Esto se puede lograr, planificando un mantenimiento preventivo mensual enfocado en la limpieza de los módulos fotovoltaicos.

Humedad: La humedad puede disminuir la eficiencia de dos formas: Pequeñas gotas de agua o vapor de agua pueden acumularse en los paneles solares (como gotas de sudor) y reflejar o refractar la luz solar de las celdas solares. Esto reduce la totalidad de luz solar que les llega y por ende su producción. Además, el clima constantemente cálido y húmedo puede destruir los paneles solares incluso durante su vida útil.

En ese sentido una gota de agua se comporta como suciedad o como una sombra constante sobre el panel fotovoltaico. Todos estos factores se deben tener en cuenta para reducir su influencia en el mantenimiento preventivo a realizar en el sistema fotovoltaico.

b. Inversor de conexión a la red

Los inversores se utilizan para adecuar el voltaje de corriente continua (CC) del panel fotovoltaico o de la batería a la tensión de corriente alterna (CA) nominal de las cargas.

Existen diferentes tipos de inversores (inversores cuadrados, trapezoidales, de onda sinusoidal). Un factor esencial para el funcionamiento económico de un inversor es su eficiencia que se encuentra íntimamente ligada a la potencia de salida del mismo.

En un sistema de autoconsumo solar, el inversor toma la salida de CC del panel solar o un conjunto de paneles solares y la convierte en una salida de CA conectada a la red de electricidad pública. El inversor debe poder hacer frente a la energía en constante cambio de los dispositivos supeditados a condiciones solares cambiantes y aún entregar una energía estable a la frecuencia de la red y al voltaje de la red (Breeze, 2016).

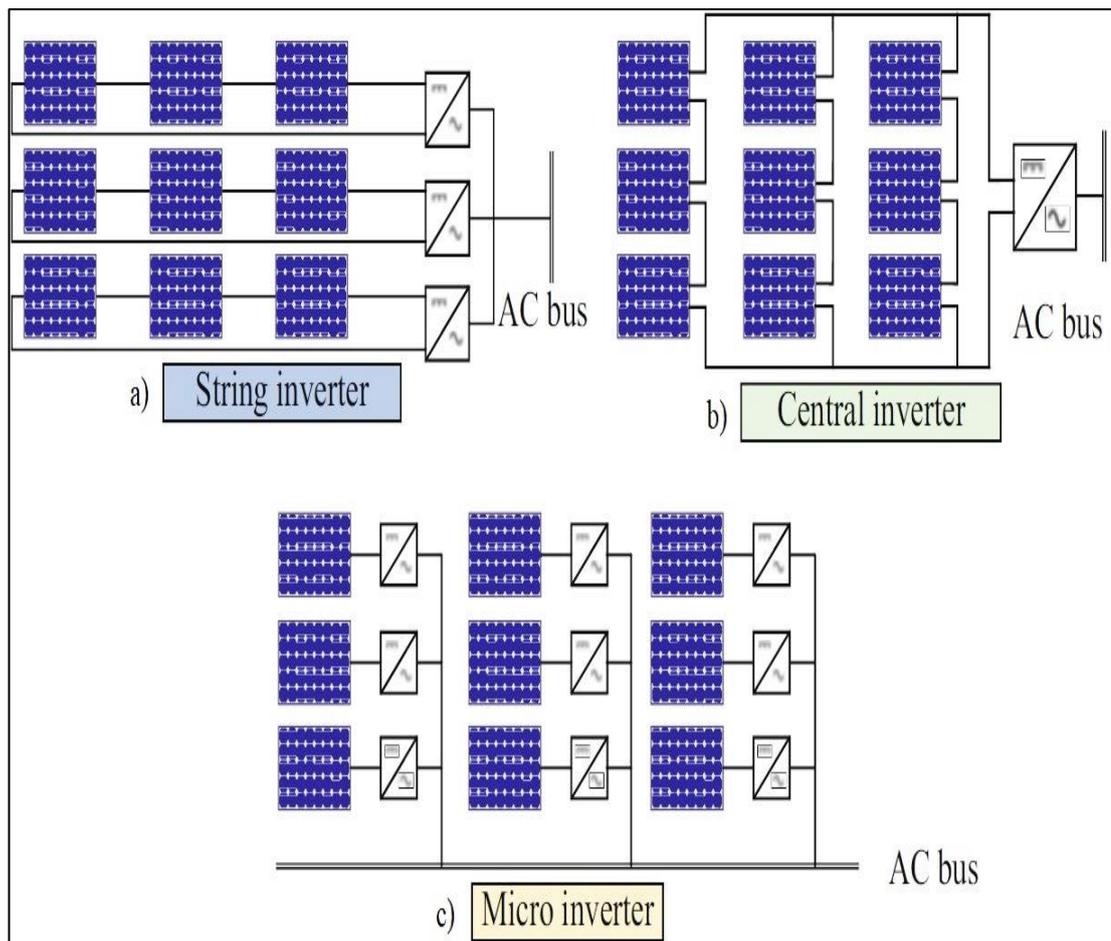
Ccama (2017), indica que el inversor de conexión a red debe cumplir las siguientes características:

- El equipo debe tener incorporado un seguidor MPP.
- El inversor debe tener un sistema de desconexión de la red y vigilancia para momentos de falla tanto del sistema fotovoltaico como por problemas con la red eléctrica.
- Protección frente a: Valores fuera de los límites del voltaje y la frecuencia, cortocircuitos en corriente continua y alterna, sobretensiones, defectos de red considerando micro cortes, pulsos y retorno de la red.
- El consumo propio del equipo en la noche no debe superar el 0,5 % de la potencia establecida en la placa del equipo inversor.
- Si la potencia que necesita el inversor es mayor a la generada por el arreglo fotovoltaico, el equipo se encontrará en modalidad de espera (stand-by).
- Entre las propiedades eléctricas más relevantes tenemos: El equipo se activa cuando se le inyecta una potencia superior al 10 % de su valor nominal y soporta valores máximos del 30 % por encima del valor nominal. El rendimiento supera el 92 % cuando trabaja con la mitad o más de la potencia nominal.
- La protección mínima será de IP20 para interiores, IP30 para lugares accesibles e IP65 para lugares del exterior del recinto.

En la búsqueda del inversor adecuado, debemos recordar que, citando a Jieb y Hossain (2022), cuanto menor sea la pérdida de potencia del inversor, más eficiente será y se logrará obtener del arreglo fotovoltaico la mayor cantidad de energía. Por esta razón, al determinar la carga específica se tiene que establecer el tamaño específico del inversor. Esto sin embargo debe corresponderse y también está limitado por el presupuesto establecido para la instalación solar.

Figura 14

Configuraciones de inversores conectados a la red



Nota: a) Inversor en cadena, b) Inversor central, c) Microinversor. Tomado de *Solar Photovoltaic Systems Fundamentals and Applications* (p. 148), por Y. Jieb y E. Hossain., 2022, Springer.

Los inversores solares vienen en diversos tamaños y se clasifican por la potencia activa o aparente (W o VA). En sistemas conectados a la red, la capacidad del arreglo fotovoltaico debe estar dentro de las especificaciones técnicas aceptables del rango especificado por la empresa fabricante del inversor en su hoja técnica. Los inversores usados para sistemas fotovoltaicos conectados a la red, tienen la capacidad de

conectarse a un arreglo fotovoltaico con una potencia superior a su potencia nominal de corriente alterna (Jieb y Hossain, 2022).

Las configuraciones principales en inversores conectados a la red son tres, la primera se da cuando existe un inversor conectado a cada una de las cadenas de paneles fotovoltaicos, la segunda se presenta, cuando existe un solo inversor central para todo el arreglo fotovoltaico. Por último, existen unos dispositivos conocidos como micro inversores, los cuales se conectan directamente a cada panel fotovoltaico para controlar su potencia y hacerlos trabajar en su más alto rendimiento, además de minimizar el efecto sombra. Las configuraciones mencionadas se observan en la Figura 14.

c. Medidor bidireccional

En tiempos recientes los conceptos de generación distribuida, es decir, que un consumidor ya sea residencial o industrial se convierta en un pequeño generador de energía eléctrica, han dado lugar a la necesidad de considerar un flujo de energía en dirección contraria al habitual en la red de distribución eléctrica pública, es así que aparece el dispositivo conocido como medidor bidireccional. Con el avance tecnológico, el cambio entre los dispositivos analógicos por digitales ha hecho posible que se puedan medir y controlar otras variables o parámetros, lo que hace posible categorizar como gestores de energía a los medidores (Guevara y Valle, 2021).

El medidor bidireccional es un equipo que tiene la capacidad de medir las necesidades energéticas de la carga y adaptar de manera constante la potencia que entrega el sistema fotovoltaico instalado. Este equipo permite que se pueda realizar la inyección cero en la instalación. De igual forma admite el paso del flujo eléctrico para abastecer a toda la demanda eléctrica de la carga cuando el sistema fotovoltaico no sea capaz de producir la energía suficiente (León, 2019).

La inyección cero es una característica del inversor que permite ajustar la potencia a generar por el arreglo fotovoltaico para que esta no supere las cargas de consumo, con el objetivo de evitar la inyección de excedentes generados de energía hacia la red de distribución eléctrica pública, de ahí su nombre “cero”, pues no existe remanente de energía inyectado. La combinación de un inversor con la característica de inyección cero, junto con el medidor bidireccional permite dotar al sistema fotovoltaico de una condición importante en nuestro país. Esto debido a que, hasta el momento, en Perú,

no existe una normativa vigente que permita la inyección de electricidad producida por micro generadores a la red (Huamán, 2020).

d. Equipos de protección y maniobra

Un sistema fotovoltaico posee un comportamiento totalmente opuesto a una instalación eléctrica convencional. Esto debido a que la corriente producida es corriente continua. Es por ello que se deben utilizar protecciones adecuadas, es decir protecciones diseñadas para fallas o problemas para una corriente directa como se aprecia en la Figura 15. Castejón y Santamaría (2010), mencionan los equipos de protección y maniobra más importantes y son los siguientes:

- **Interruptor automático termomagnético DC**

Especificados para corriente continua. Se dimensionan para corrientes máximas agregando un 25 % a la corriente de cortocircuito del generador. En el mercado actual son pocos los fabricantes que elaboran este tipo de interruptores, pero la masificación de los sistemas fotovoltaicos hace más fácil su adquisición.

- **Protección contra sobrevoltajes**

En cualquier sistema, es importante contrarrestar los problemas que ocurren por sobrevoltajes, esto se presenta debido a descargas atmosféricas que podrían suscitarse en el sistema fotovoltaico. Estos dispositivos se sitúan en la caja de conexión del sistema fotovoltaico, conectados directamente con el conductor a tierra. Los sobrevoltajes son producidos normalmente por condiciones climáticas desfavorables, por ejemplo, tormentas o torrenciales lluvias. La ubicación de la instalación solar es un factor determinante para que ocurran o no estos sucesos.

- **Fusibles de protección para los paneles fotovoltaicos**

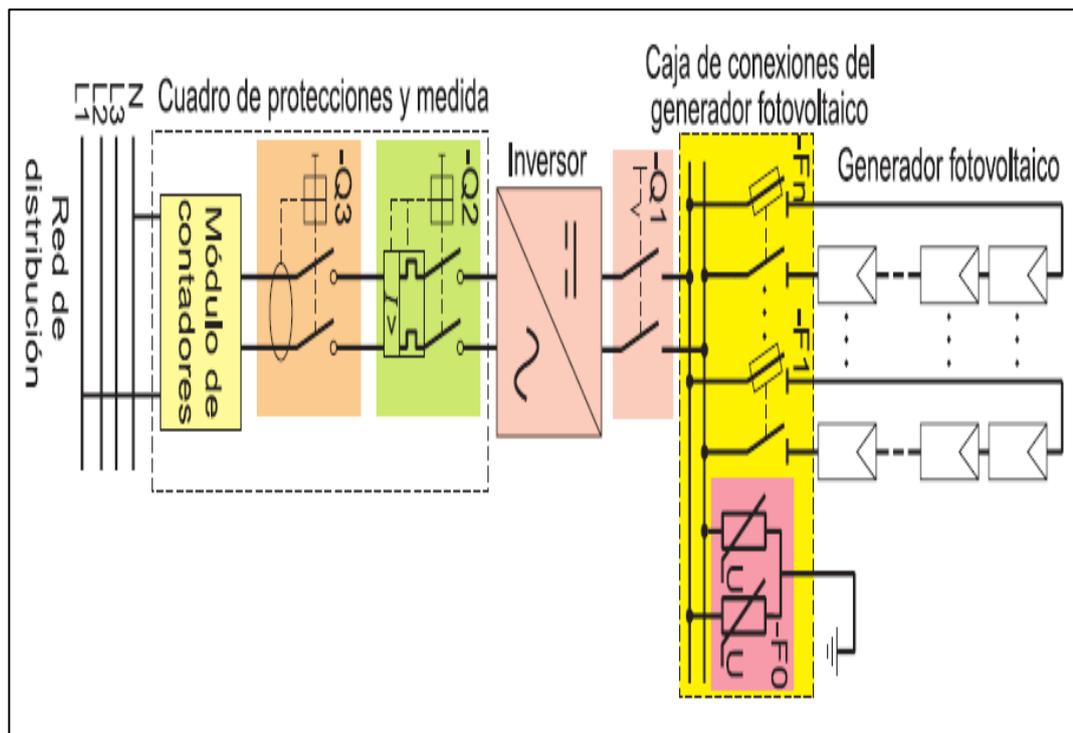
Son los elementos más eficaces para hacer frente a las elevadas corrientes de cortocircuito que se podrían suscitar. El calibre del fusible se encuentra entre el 1.5 a 2 veces la corriente de cortocircuito.

– **Protección del inversor**

Son dispositivos diseñados para instalaciones de corriente alterna y las protecciones se especifican, para contrarrestar las sobrecargas y cortocircuitos con interruptores automáticos termomagnéticos e interruptores diferenciales. La tensión y corriente de la protección, se establece en función de la potencia y tensión nominal del inversor.

Figura 15

Esquema de protecciones en un sistema de autoconsumo solar



Nota: Esquema de protecciones en un SFCR o de autoconsumo solar. Tomado de Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi (p. 20), por P. Potes, 2019, Universidad Técnica de Cotopaxi.

– **Sistema de puesta a tierra dedicado**

Los equipos de protección y maniobra y la construcción e instalación de un sistema de puesta a tierra dedicado para el sistema fotovoltaico son de vital importancia para proteger a los operadores y personas en general. El conductor de tierra debe estar conectado a la conexión establecida para tierra de los paneles fotovoltaicos, también a los soportes, inversor, y demás estructuras y equipos para garantizar una protección adecuada. De igual manera la sección del conductor y las características

del sistema de puesta a tierra en general deben estar acordes a la normativa vigente, en nuestro país, esto significa, seguir las recomendaciones emitidas por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM), en el Código Nacional de Electricidad (CNE) Suministro y Utilización.

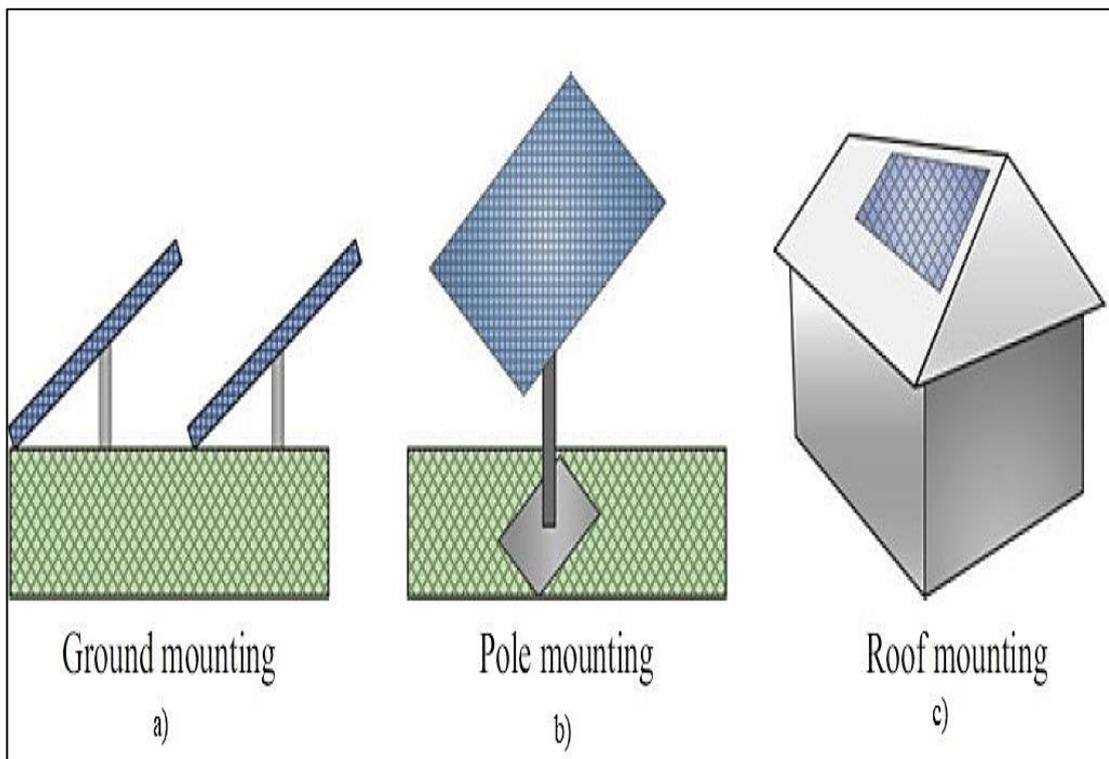
e. Estructuras soporte

De acuerdo con Castejón y Santamaría (2010), la estructura soporte en donde se acoplan todos los paneles fotovoltaicos es de crucial importancia para la vida útil del sistema fotovoltaico, pues cumple funciones muy importantes como:

- Brinda al conjunto de paneles fotovoltaicos una adecuada consistencia y un anclaje necesario para evitar que las fuerzas del viento perjudiquen su funcionamiento apropiado.
- El soporte se escoge o elabora, de acuerdo a la inclinación y orientación para la cual el sistema fue diseñado.

Figura 16

Tres tipos de montaje para sistemas solares fotovoltaicos



Nota: a) Montaje en suelo, b) Montaje en poste, c) Montaje en techo. Tomado de *Solar Photovoltaic Systems Fundamentals and Applications* (p. 181), por Y. Jieb y E. Hossain., 2022, Springer.

Al momento de seleccionar o construir la estructura, es necesario conocer en qué tipo de terreno se va instalar (piso, suelo, techo, entre otros) y los esfuerzos a los que se someterán dichas estructuras. No se puede exagerar la necesidad de comprender los muchos aspectos y tipos de estructuras de montaje (Jieb y Hossain, 2022).

Las estructuras de soporte se hacen por lo general como mencionan Jieb y Hossain (2022), de aluminio, hierro galvanizado en caliente y acero dulce. El aluminio es resistente a la corrosión, liviano y barato con respecto al hierro galvanizado. El hierro galvanizado se prepara aplicando un recubrimiento de zinc galvanizado al hierro o al acero para evitar que se corra. La galvanización por inmersión en caliente es el método más popular de galvanización que se emplea en estructuras de montaje de módulos. Por último, el acero dulce no se usa muy a menudo para fabricar el montaje de módulos fotovoltaicos solares. Es un material más ligero y flexible y se usa en techos no tan fuertes. En términos de construcción de estructuras y opciones de montaje, cada sistema fotovoltaico es único y su condición de instalación difiere de un lugar a otro. Por lo cual, se han desarrollado muchos tipos de soluciones de montaje como el montaje en poste, montaje en suelo y montaje en techo los cuales se pueden apreciar en la Figura 16. Existen edificios donde el techo es plano, en ese caso se considera una instalación similar a la de montaje en suelo.

2.8. DIMENSIONAMIENTO DEL SFCR

Los sistemas solares de autoconsumo están conectados directamente a la red pública; pero a pesar de ello, la fuente de energía primordial de corriente alterna sigue siendo la generación de energía solar fotovoltaica. Cuando la generación de energía fotovoltaica es insuficiente, la red suministra energía al sistema. La intervención de la red eléctrica hace que una batería de almacenamiento sea superflua y evita así el problema de los altos costes de almacenamiento.

Además, los sistemas fotovoltaicos on grid o conectados a la red evaden los frecuentes procesos de conversión CC / CA durante el almacenamiento y el uso de la batería y, por lo tanto, logran un mayor nivel de eficiencia energética.

A continuación, se menciona el procedimiento y los pasos a seguir, para la proyección adecuada de una instalación de autoconsumo conectada a red.

2.8.1. Ubicación geográfica y recurso solar

Wagner (2015), precisa que, el pronóstico de rendimiento y recurso solar se basa en valores medios a largo plazo de los datos meteorológicos. Para ello se pueden usar las siguientes fuentes de información:

- Valores de radiación medidos de estaciones de medición terrestres cercanas (medición con piranómetros calibrados).
- Datos de radiación medidos por satélites meteorológicos que se calibran mediante mediciones en tierra.
- Años de referencia de pruebas de datos meteorológicos conocidos.
- Datos recopilados de softwares conocidos (PVSyst, PV*SOL, Trnsys, entre otros).
- Bases de datos informáticas reconocidas en internet (POWER Data Access Viewer de la NASA, PVGIS versión 5.2. de la Unión Europea, entre otros).

Las condiciones locales de la ubicación (instalación del panel fotovoltaico, del inversor y demás componentes descritos anteriormente), deben registrarse mediante una cita in situ. Como esto a veces se asocia con costos considerables, el sitio también se puede evaluar utilizando documentos escritos significativos (mapas, planos del sitio, fotografías del sitio, fotografías aéreas, etc.). Esto es fundamental para una correcta evaluación de las condiciones iniciales como el área disponible, para ubicar los paneles y para los posteriores planes que se elaboren (Wagner, 2015).

Por otro lado, es importante tal como lo explica Wagner (2015), realizar declaraciones sobre posibles reducciones en el rendimiento debido a posibles elementos que generen sombras (por ejemplo, debido a la contaminación, nevadas, pararrayos, alrededores, entre otros). En la medida de lo posible, los cambios previsibles (vegetación circundante) se deben tener en cuenta en el pronóstico de rendimiento.

Los cálculos (valores iniciales, método de cálculo, resultados parciales) deben de ser comparables. Es deseable una comparación de los resultados con los rendimientos reales del sistema, si está disponible.

2.8.2. Análisis del recurso solar

El recurso solar se analiza procesando estadísticamente los datos meteorológicos obtenidos para un mínimo de 5 años anteriores. De estos datos es necesario tener la

radiación solar diaria promedio mensual en un plano horizontal y el valor de las temperaturas mínimas y máximas para cada mes. De igual forma, se recomienda recabar los datos de dirección del viento como la velocidad respectiva, además de la humedad relativa del lugar en donde se pretende realizar la instalación.

El aprovechamiento máximo de un sistema fotovoltaico está sujeto inextricablemente al ángulo de inclinación, β y la orientación del sistema. Todas las aplicaciones solares no concentradas deben inclinarse hacia la fuente de radiación (el Sol), para obtener un mejor rendimiento (Jieb y Hossain, 2022). Es por ello que para obtener el ángulo de inclinación óptimo β_{opt} , es necesario emplear la Ecuación 27 que a continuación se describe.

2.8.3. Orientación e inclinación del sistema fotovoltaico

La orientación óptima y que respalda la mayor aportación de energía solar anual, se puede conocer mediante una fórmula que parte de un estudio de la irradiación solar global para disímiles latitudes y diferentes inclinaciones, la cual es la siguiente según Perpiñán (2020):

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\phi| \quad (27)$$

Donde:

ϕ : *Latitud del lugar en grados decimales (°)*

β_{opt} : *Ángulo de inclinación óptimo en grados decimales (°)*

Sin embargo, esta fórmula tiene sus limitaciones, pues valores menores a 15° no son recomendados. Esto debido a que, para el mantenimiento adecuado es necesario tener un espacio mínimo, por el cual se pueda limpiar la suciedad acumulada, por ello el valor mínimo debe ser de 15°. Por otra parte, la orientación del panel (ángulo azimutal de superficie), siempre debe estar dirigida al norte, cuando nos encontramos en el hemisferio sur y dirigido al sur, si nos situamos en el hemisferio norte, pues garantiza el beneficio máximo de la energía de radiación solar anual.

Un ángulo azimutal de superficie, ligeramente dirigido al este u oeste del norte, o al este u oeste del sur, dependiendo el hemisferio en donde nos encontremos, no disminuye significativamente el rendimiento del arreglo fotovoltaico.

2.8.4. Radiación solar diaria promedio mensual

Al analizar el recurso solar, se obtiene la radiación diaria promedio mensual, sin embargo, este valor debe ser afectado por la orientación del sistema e inclinación del mismo, por lo que para proyectar el arreglo fotovoltaico es necesario emplear la ecuación definida por Castejón y Santamaría (2010):

$$G_{dm}(\gamma, \beta) = G_{dm}(0)(K)(FI)(FS) \quad (28)$$

Donde:

$G_{dm}(\gamma; \beta)$: Irradiación dimensionada sobre el área del arreglo fotovoltaico inclinado un ángulo β y orientado un ángulo azimutal de superficie γ en (kWh/m^2)

$G_{dm}(0)$: Irradiación diaria promedio mensual sobre un plano horizontal en (kWh/m^2)

K : Constante que indica la relación entre $G_{dm}(0)$ y $G_{dm}(0, \beta_{opt})$
(Adimensional)

FI : Factor de Irradiación con una orientación e inclinación (γ, β)
(Adimensional)

FS : Factor de Sombra (Adimensional)

Es necesario definir cómo se calculan los valores de K, FI, y FS. Para ello se muestran las ecuaciones relacionadas a cada uno de los factores mencionados.

La constante K se define de la siguiente forma según Castejón y Santamaría (2010):

$$K = \frac{G_{dm}(0, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)} \quad (29)$$

Donde:

K : Constante que indica la relación entre $G_{dm}(0)$ y $G_{dm}(0, \beta_{opt})$
(Adimensional)

$G_{dm}(0, \beta_{opt})$: Irradiación diaria promedio mensual sobre un plano inclinado con su ángulo óptimo β_{opt} en (kWh/m^2)

$G_{am}(0)$: Irradiación diaria promedio mensual sobre un plano horizontal en (kWh/m^2)

Ahora, si tenemos en consideración las condiciones de la ubicación de la instalación, puede que no sea factible inclinar u orientar el arreglo fotovoltaico en su forma óptima para el lugar analizado. En ese caso es necesario aplicar el factor de irradiación (FI), que toma en cuenta la inclinación y orientación elegidas. En la Figura 17, se aprecia el aprovechamiento de un arreglo fotovoltaico teniendo en cuenta su inclinación y orientación. Así tenemos según Castejón y Santamaría (2010):

Si el ángulo de inclinación elegido se encuentra entre: $15^\circ < \beta \leq 90^\circ$

$$FI = 1 - [1.2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3.5 \times 10^{-5}(\gamma)^2] \quad (30)$$

Si el ángulo de inclinación elegido se encuentra en: $\beta \leq 15^\circ$

$$FI = 1 - [1.2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2] \quad (31)$$

Donde:

FI : Factor de Irradiación con una orientación e inclinación (γ, β)

(Adimensional)

β_{opt} : Ángulo de inclinación óptimo en grados decimales ($^\circ$)

β : Ángulo de inclinación en grados decimales ($^\circ$)

γ : Ángulo azimutal de superficie en grados decimales ($^\circ$)

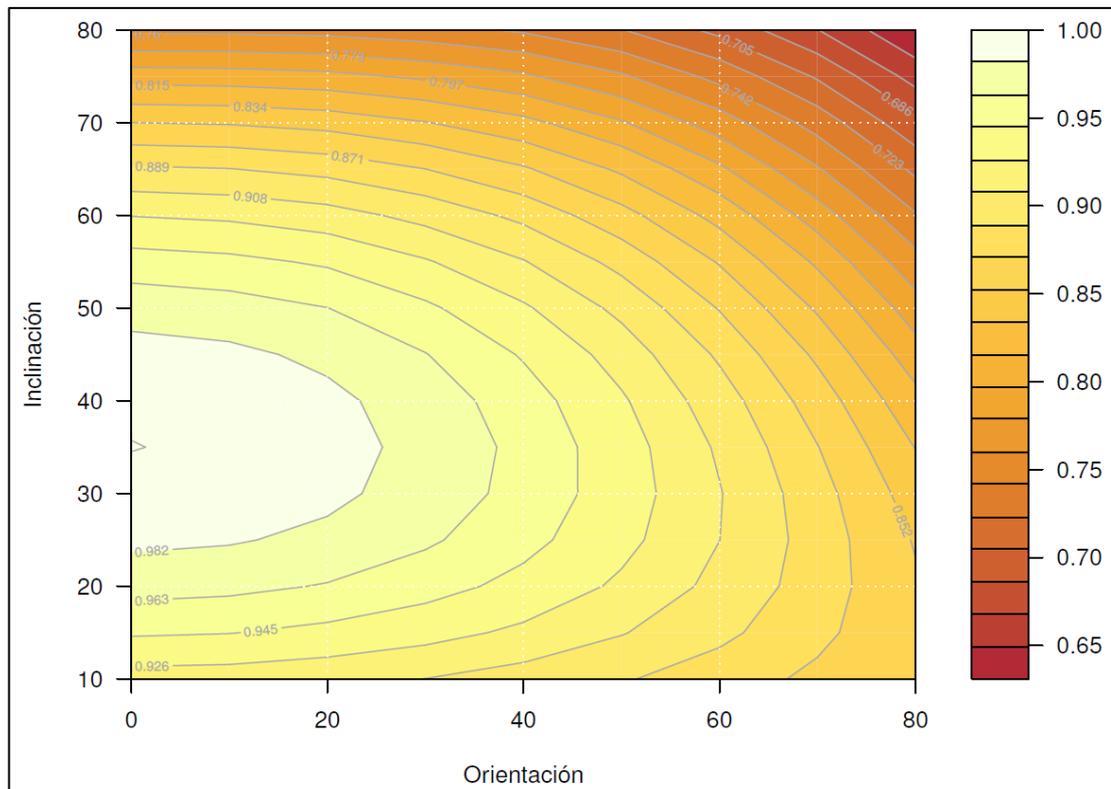
De las Ecuaciones 30 y 31 podemos apreciar que el ángulo azimutal de superficie es irrelevante para ángulos de inclinación menores a 15° .

Finalmente, el factor de sombra, representado como FS, hace referencia a la relación o ratio que existe entre la radiación que impacta sobre el arreglo fotovoltaico, con respecto al caso de que no exista sombra alguna que afecte al generador mencionado. El Factor de sombra, si no existe elemento que genere sombra alrededor, se considera igual a la unidad.

Estos factores afectan la irradiación que se va considerar para el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico. Depende de la ubicación del sistema que sus efectos sean significativos o no.

Figura 17

Arreglo fotovoltaico con respecto a su inclinación y orientación



Nota: Rendimiento de un SFCR ubicado en Madrid, en función de su inclinación y orientación. Tomado de *Energía Solar Fotovoltaica* (p. 78), por O. Perpiñán, 2020, Creative Commons.

2.8.5. Requerimiento diario de energía

El requerimiento diario de energía total resulta de la suma del requerimiento diario de energía de cada dispositivo de aplicación eléctrica previsto. Esto en pocas palabras hace referencia a la cantidad de equipos que serán alimentados por la energía generada por la instalación de autoconsumo solar. Teniendo en cuenta su potencia y su tiempo de funcionamiento. Las necesidades energéticas diarias se simbolizan como W_d . La representación gráfica se realiza normalmente mediante un diagrama de carga.

2.8.6. Rendimiento del sistema fotovoltaico

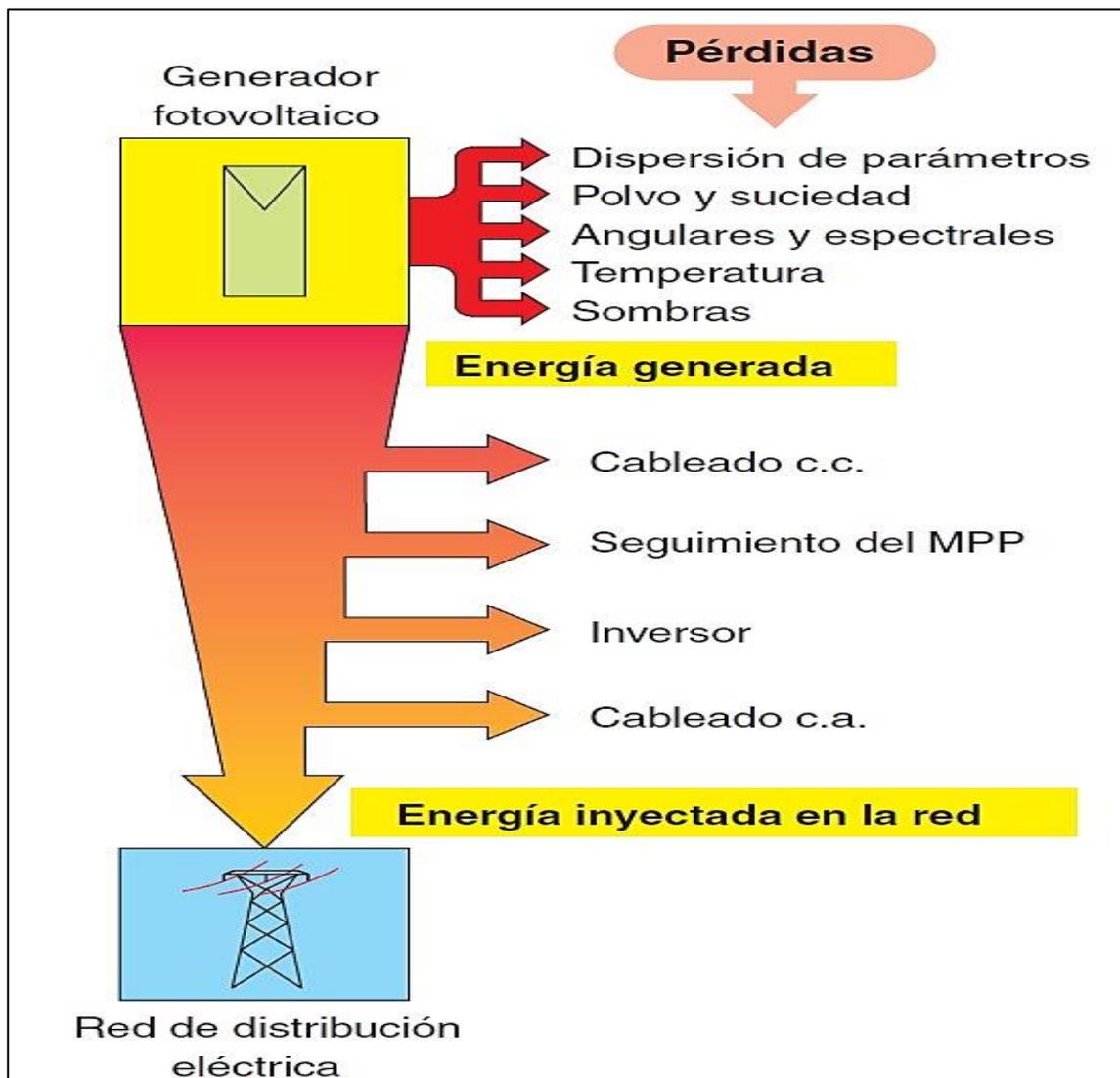
La electricidad emitida por el arreglo solar recorre un camino a través de una cadena de componentes del sistema que se utilizan para adaptarlo y protegerlo. En el caso real, cada uno de estos componentes tiene pérdidas que se pueden describir por su eficiencia energética (Wagner, 2015).

Es por ello que, convenientemente se estableció un parámetro que representa las pérdidas relacionadas con el sistema. Este indicador se conoce como Rendimiento Energético o Performance Ratio (PR). Es una medida que hace referencia a la eficiencia real en condiciones de trabajo in situ de la instalación. Recopila todas las pérdidas que se suscitan desde el arreglo fotovoltaico hasta la conexión del mismo a la red pública, junto con las cargas del sistema mencionado.

Las pérdidas comúnmente tomadas en cuenta para el cálculo del PR mencionadas por Castejón y Santamaría (2010), las apreciamos en la Figura 18.

Figura 18

Pérdidas en una instalación solar de autoconsumo solar



Nota: Pérdidas comunes en un SFCR. Tomado de *Instalaciones solares fotovoltaicas* (p. 185), por A Castejón y G. Santamaría, 2010, Editex.

En la Tabla 3, se encuentra la descripción de las pérdidas que conforman el PR.

Tabla 3

Pérdidas de la instalación de autoconsumo solar para el cálculo del PR

Factor de pérdidas	Valor porcentual (%)
<p>Pérdidas por dispersión de los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos: Está relacionado con las diferencias entre las tensiones y corrientes de operación entre paneles del mismo tipo (pérdidas de mismatch), así también tiene en cuenta las tolerancias de producción con respecto a la potencia nominal del panel fotovoltaico.</p>	3 a 5 %
<p>Pérdidas por polvo y suciedad: Debido a la acumulación de polvo y suciedad sobre los paneles fotovoltaicos.</p>	2 a 8 %, valores medios 4 %.
<p>Pérdidas angulares y espectrales: Tiene en cuenta que en la realidad no es factible reproducir las condiciones STC.</p>	1 a 4 %
<p>Pérdidas debido a temperatura: Debido a la temperatura de la celda, la cual es muy superior a 25 °C, es por ello que se tiene en cuenta las condiciones de Temperatura de operación nominal de la celda o Nominal Operating Cell Temperature (NOCT).</p>	Definido como PR_0
<p>Pérdidas en el cableado: Toma en cuenta las caídas de tensión debidas a la corriente que pasa por los conductores desde el generador fotovoltaico hasta la carga a alimentar.</p>	≤ 1.5 %
<p>Pérdidas en el equipo inversor de conexión a red: Está relacionado con la eficiencia del inversor instalado.</p>	Hoja de datos técnicos del inversor
<p>Pérdidas por no rastreo del punto de potencia máxima del arreglo fotovoltaico: Hace referencia al seguidor del MPP incorporado al equipo inversor.</p>	Hoja de datos técnicos del inversor
<p>Pérdidas por otros aspectos no considerados: Hace referencia a las paradas por mantenimiento, averías, mal funcionamiento, entre otros.</p>	Depende del diseñador

Nota: La tabla muestra las pérdidas comunes en un SFCR. Tomado y adaptado de *Instalaciones solares fotovoltaicas* (pp. 183-184), por A Castejón y G. Santamaría, 2010, Editex.

La variabilidad de este parámetro PR, hace necesario el uso de aplicaciones que utilizan los datos meteorológicos de radiación y temperatura ambiente de los lugares de instalación. Las pérdidas mencionadas en la tabla anterior se pueden apreciar gráficamente en la Figura 18.

La expresión que describe la relación de rendimiento del sistema fotovoltaico es la siguiente:

$$PR = PR_0 \prod_{i=1}^{N_\eta} \eta_i \quad (32)$$

Donde:

PR: Rendimiento energético o Performance Ratio (Adimensional)

PR₀: Eficiencia relativa del panel fotovoltaico (Adimensional)

$\prod_{i=1}^{N_\eta} \eta_i$: Multiplicación de las eficiencias parciales del SFCR

mencionados (Adimensional)

Los valores de PR comunes para una instalación solar de autoconsumo, oscilan entre 0.7 y 0.85.

Es importante tener en cuenta que la eficiencia relativa del módulo fotovoltaico, se encuentra, empleando el valor de la temperatura de operación de la celda.

Los módulos fotovoltaicos forman parte de un generador solar, en el cual se conectan en serie y paralelo, sin embargo, el valor de la potencia pico que se observa en las fichas técnicas, no es el que llega a funcionar de manera real, debido a que los paneles operan a temperaturas más elevadas que la temperatura ambiente (esto evaluado para condiciones STC).

Es por ello que los paneles fotovoltaicos funcionan a una temperatura de celda, que se calcula de la siguiente forma según Perpiñán (2020):

$$T_c = T_a + \frac{G(NOCT - 20)}{G_{NOCT}} \quad (33)$$

Donde:

T_c: Temperatura de celda del módulo fotovoltaico en (°C)

T_a : Temperatura del ambiente en ($^{\circ}\text{C}$)

$NOCT$: Temperatura de operación nominal de la celda en ($^{\circ}\text{C}$)

G_{NOCT} : Irradiancia incidente para condiciones $NOCT$ (W/m^2)

G : Irradiancia incidente (W/m^2)

Las condiciones $NOCT$ referenciadas en la Tabla 3, son las siguientes; en primer lugar, una irradiancia de $G_{NOCT} = 800 \text{ W}/\text{m}^2$, luego, una velocidad de viento correspondiente a 1 m/s , y una temperatura del ambiente de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

En esta línea de ideas, en las hojas de datos técnicos de los módulos fotovoltaicos se registra el coeficiente que corrige la potencia que ofrece el panel, para la temperatura de celda calculada. La variación de potencia y la potencia real según Castejón y Santamaría (2010), se definen con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta P = (T_c - 25)C_{POT} \quad (34)$$

$$P_{T_c} = P_{Mpk}(1 + \Delta P) \quad (35)$$

Donde:

ΔP : Variación porcentual de la potencia del módulo fotovoltaico (%)

T_c : Temperatura de celda del módulo fotovoltaico en ($^{\circ}\text{C}$)

C_{POT} : Coeficiente de corrección de la potencia del panel fotovoltaico en ($\%/^{\circ}\text{C}$)

P_{T_c} : Potencia real del panel fotovoltaico para una T_c dada en (W)

P_{Mpk} : Potencia pico del panel fotovoltaico en (W)

Finalmente, la Eficiencia relativa del panel fotovoltaico o PR_0 , se calcula empleando la siguiente ecuación:

$$PR_0 = \frac{P_{T_c}}{P_{Mpk}} = (1 + \Delta P) \quad (36)$$

Donde:

PR_0 : Eficiencia relativa del panel fotovoltaico (Adimensional)

ΔP : Variación porcentual de la potencia del módulo fotovoltaico (%)

P_{T_c} : Potencia real del módulo fotovoltaico para una T_c dada en (W)

P_{Mpk} : Potencia pico del módulo fotovoltaico en (W)

El valor de eficiencia relativa del panel fotovoltaico o PR_0 se puede obtener de una manera sencilla, conociendo los parámetros mencionados anteriormente. Por otro lado, el PR_0 , forma parte del PR, como se mencionó en líneas anteriores del documento y en la Ecuación 32.

2.8.7. Potencia del generador fotovoltaico

Dado que el requerimiento diario de energía W_d del usuario es en última instancia el valor objetivo al dimensionar el generador, se sigue que la potencia del generador fotovoltaico mínima es, según Castejón y Santamaría (2010):

$$P_{Gmin} = \frac{G_{STC} W_d}{G_{dm}(\gamma, \beta) PR} \quad (37)$$

Donde:

P_{Gmin} : Potencia mínima del arreglo fotovoltaico en (W)

W_d : Requerimiento diario de energía en (Wh)

G_{STC} : Irradiancia para condiciones STC en (kW/m^2)

$G_{dm}(\gamma; \beta)$: Irradiación dimensionada sobre el área del arreglo fotovoltaico inclinado un ángulo β y orientado un ángulo azimutal de superficie γ en (kWh/m^2)

PR : Rendimiento energético o Performance Ratio (Adimensional)

Las condiciones STC establecen una irradiancia de: $G_{STC} = 1000 W/m^2$. Además, es necesario recalcar que, para el diseño se toma el valor mensual más pequeño de $G_{dm}(\gamma; \beta)$. Con el objetivo de no sobredimensionar la potencia del generador fotovoltaico, la potencia nominal o pico del mismo debe cumplir con lo siguiente:

$$P_{Gmin} \leq P_{Gpk} \leq 1.2 P_{Gmin} \quad (38)$$

Donde:

P_{Gmin} : Potencia mínima del arreglo fotovoltaico en (W)

P_{Gpk} : Potencia pico o nominal del arreglo fotovoltaico en (W)

La potencia pico del generador o arreglo fotovoltaico está delimitada por la potencia pico de cada módulo que lo conforma. Actualmente en el mercado se comercializan paneles de potencias tales como: 350 Wp, 400 Wp, 450 Wp, 500 Wp o de 550 Wp. Depende del criterio de diseño, escoger cualquiera de ellos. Además, la marca y las certificaciones relacionadas al panel, juegan un papel crucial para asegurar la calidad de la instalación de autoconsumo solar o conectada a red.

2.8.8. Dimensionamiento y configuración eléctrica de los paneles fotovoltaicos

El agrupamiento que ocurre al conectar un arreglo fotovoltaico con un equipo inversor de conexión a red, genera nuevas incógnitas, entre estas, escoger la mejor o la manera adecuada para ordenar el arreglo de los paneles fotovoltaicos que componen cada cadena o string, así también saber el número máximo de cadenas que pueden componer el arreglo fotovoltaico. Teniendo en cuenta también que, el inversor a escoger va limitar las posibilidades relacionadas a la configuración del arreglo fotovoltaico.

En un primer momento necesitamos definir la cantidad total de módulos que se puedan conectar en serie, para posteriormente evaluar la cantidad de paneles que pueden estar conectados en paralelo.

Con respecto a la cantidad máxima de módulos fotovoltaicos necesarios para suplir las necesidades energéticas, este valor se evalúa teniendo en cuenta la potencia pico o nominal calculada del arreglo fotovoltaico general. Es así que, la cantidad de módulos fotovoltaicos se encuentra según Castejón y Santamaría (2010), de la siguiente forma:

$$N_{PFV} = \frac{P_{Gpk}}{P_{Mpk}} \quad (39)$$

Donde:

N_{PFV} : Número de paneles fotovoltaicos de la instalación de autoconsumo solar

P_{Gpk} : Potencia pico o nominal del arreglo fotovoltaico en (W)

P_{Mpk} : Potencia pico del módulo fotovoltaico en (W)

a. Número de módulos en serie

El inversor cuenta con un parámetro indicado en su ficha técnica, conocido como la tensión máxima de entrada, que refiere al máximo nivel de tensión que puede manejar en corriente continua. Es este factor el cual limita la cantidad de paneles fotovoltaicos que se pueden conectar en serie con respecto al equipo inversor. Perpiñán (2020), define la cantidad máxima de paneles en serie para una cadena fotovoltaica como:

$$N_{SMAX} = \frac{V_{MAX,INV}}{V_{OCM}(G = 200 W/m^2, T_a = -10 \text{ }^\circ C)} \quad (40)$$

Donde:

N_{SMAX} : Cantidad máxima de módulos fotovoltaicos en serie

$V_{MAX,INV}$: Voltaje máximo de entrada que soporta el inversor en (V)

V_{OCM} : Voltaje en circuito abierto del módulo fotovoltaico para

$G = 200 W/m^2$ y $T_a = -10 \text{ }^\circ C$, en (V)

En la Ecuación 40, se indican condiciones de temperatura ambiente y radiación solar que van a modificar el valor de la tensión del módulo con respecto a sus valores STC.

Otro punto fundamental es que, los equipos inversores para la conexión a la red, cuentan normalmente con un algoritmo de búsqueda del MPP. Para este propósito se encuentra establecido un intervalo de tensiones. Es necesario que, para evitar pérdidas por trabajar alejados del punto de máxima potencia o MPP, la tensión del arreglo fotovoltaico debe encontrarse en dicho intervalo. Para ello, es necesario conocer la tensión mínima y máxima correspondiente al rango mencionado. Es así que el mínimo y máximo de paneles enseriados apropiado para el rango MPP del equipo inversor para la conexión a la red, es según Perpiñán (2020):

$$N_{SMPP}^{min} = \frac{V_{mpp,min}}{V_{mppM}(G_{STC}, T_a = 25 \text{ }^\circ C)} \quad (41)$$

$$N_{SMPP}^{max} = \frac{V_{mpp,max}}{V_{mppM}(G_{STC}, T_a = 25 \text{ }^\circ C)} \quad (42)$$

Donde:

N_{SMPP}^{min} : Cantidad de módulos fotovoltaicos en serie mínimo para el rango MPP del inversor

N_{SMPP}^{max} : Cantidad de módulos fotovoltaicos en serie máximo para el rango MPP del inversor

$V_{mpp,min}$: Voltaje mínimo del rango MPP del inversor en (V)

$V_{mpp,max}$: Voltaje máximo del rango MPP del inversor en (V)

V_{mppM} : Voltaje máximo del módulo fotovoltaico para G_{STC}

y $T_a = 25^\circ C$, en (V)

Las ecuaciones 40, 41 y 42 plantean una restricción, que debe ser cumplida por los módulos en serie del arreglo fotovoltaico, la restricción se indica en la Ecuación 43.

$$N_{SMPP}^{min} < N_S \leq N_{SMAX} < N_{SMPP}^{max} \quad (43)$$

Donde:

N_S : Cantidad de módulos fotovoltaicos en serie escogido

N_{SMPP}^{min} : Cantidad de módulos fotovoltaicos en serie mínimo para el rango MPP del inversor

N_{SMPP}^{max} : Cantidad de módulos fotovoltaicos en serie máximo para el rango MPP del inversor

N_{SMAX} : Cantidad máxima de módulos fotovoltaicos en serie

b. Número de módulos en paralelo

El fabricante del inversor indica en su ficha técnica hasta que valor de corriente admite, o la máxima corriente admisible. Es por ello que es importante saber escoger la cuantía adecuada de módulos conectados en paralelo, para no superar el umbral que se alude.

$$N_{PMAX} = \frac{I_{MAX,INV}}{I_{sc}^*} \quad (44)$$

Donde:

N_{PMAX} : Cantidad máxima de módulos fotovoltaicos en paralelo

$I_{MAX,INV}$: Máxima corriente de entrada que soporta el inversor en (A)

I_{sc}^* : Corriente de cortocircuito STC del panel fotovoltaico en (A)

De igual forma, que las ecuaciones relacionadas a la cantidad de módulos en serie, la Ecuación 44, establece una restricción a cumplir relacionada con los módulos en paralelo. Esta restricción se observa en la Ecuación 45 y es la siguiente:

$$N_p \leq N_{pMAX} \quad (45)$$

Donde:

N_p : Cantidad de módulos fotovoltaicos en paralelo escogido

N_{pMAX} : Cantidad máxima de módulos fotovoltaicos en paralelo

Es así que, la configuración eléctrica de los paneles fotovoltaicos, la instalación de la estructura, su ubicación geográfica, y de igual manera el rendimiento y la inversión monetaria, se deben encontrar en sinergia, teniendo en cuenta además el espacio disponible. Finalmente se debe cumplir la siguiente ecuación:

$$P_{Gpk} = N_s N_p P_{Mpk} \quad (46)$$

Donde:

P_{Gpk} : Potencia nominal o pico del arreglo fotovoltaico en (W)

N_s : Cantidad de módulos fotovoltaicos en serie escogido

N_p : Cantidad de módulos fotovoltaicos en paralelo escogido

P_{Mpk} : Potencia pico del módulo fotovoltaico en (W)

El máximo voltaje y voltaje de circuito abierto, aludidos en las Ecuaciones 40, 41 y 42 están afectados por condiciones específicas. Para poder obtener estos valores es necesario emplear la Ecuación 33, para evaluar la temperatura de la celda con las condiciones propuestas y a partir de ese valor, calcular la variación de los parámetros mencionados.

En esta línea de ideas, en las hojas de datos técnicos de los módulos fotovoltaicos se registran, así como el coeficiente que corrige la potencia que ofrece el panel, también el coeficiente que corrige la corriente de cortocircuito y el voltaje de circuito abierto para la temperatura de celda calculada.

Estos coeficientes son muy importantes para determinar el comportamiento del panel fotovoltaico a través del tiempo, al variar los factores como radiación o temperatura.

El incremento o decremento de la corriente de cortocircuito y/o voltaje de circuito abierto según Castejón y Santamaría (2010), se definen con las siguientes ecuaciones:

$$\Delta V = (T_C - 25)C_{V_{oc}} \quad (47)$$

$$V_{ocM} = V_{oc}^*(1 + \Delta V) \quad (48)$$

$$\Delta I = (T_C - 25)C_{I_{sc}} \quad (49)$$

$$I_{scM} = I_{sc}^*(1 + \Delta I) \quad (50)$$

Donde:

ΔV : Variación porcentual del voltaje de circuito abierto del módulo fotovoltaico (%)

T_C : Temperatura de celda del módulo fotovoltaico en ($^{\circ}C$)

$C_{V_{oc}}$: Coeficiente de corrección del voltaje de circuito abierto del módulo fotovoltaico en ($\%/^{\circ}C$)

V_{ocM} : Voltaje de circuito abierto del módulo fotovoltaico para las condiciones corregidas en (V)

V_{oc}^* : Voltaje de circuito abierto STC del panel fotovoltaico en (V)

ΔI : Variación porcentual de la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico (%)

$C_{I_{sc}}$: Coeficiente de corrección de la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico en ($\%/^{\circ}C$)

I_{scM} : Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico para las condiciones corregidas en (A)

I_{sc}^* : Corriente de cortocircuito STC del panel fotovoltaico en (A)

Sin embargo, para determinar los valores de voltaje máximo y corriente máxima del módulo fotovoltaico en las condiciones corregidas, estas fórmulas no son las adecuadas. Es por ello que estos valores se pueden aproximar, teniendo en cuenta la condición de que el factor de forma no se modifica, es decir permanece constante con

las condiciones de operación (Perpiñán, 2020). Así tenemos las siguientes ecuaciones para obtener los parámetros mencionados.

$$\frac{I_{mppM}}{I_{scM}} = \frac{I_{mpp}^*}{I_{sc}^*} \quad (51)$$

$$\frac{V_{mppM}}{V_{ocM}} = \frac{V_{mpp}^*}{V_{oc}^*} \quad (52)$$

Donde:

I_{mpp}^* : Corriente máxima STC del panel fotovoltaico en (A)

V_{mpp}^* : Voltaje máximo STC del panel fotovoltaico en (V)

I_{sc}^* : Corriente de cortocircuito STC del panel fotovoltaico en (A)

V_{oc}^* : Voltaje de circuito abierto STC del panel fotovoltaico en (V)

V_{mppM} : Voltaje máximo del módulo fotovoltaico para las condiciones corregidas en (V)

I_{mppM} : Corriente máxima del módulo fotovoltaico para las condiciones corregidas en (A)

V_{ocM} : Voltaje de circuito abierto del módulo fotovoltaico para las condiciones corregidas en (V)

I_{scM} : Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico para las condiciones corregidas en (A)

De esta forma, conociendo los valores en condiciones STC, se puede ubicar el punto de potencia máxima para diferentes escenarios de operación.

2.8.9. Dimensionamiento y configuración del inversor

Un factor esencial para el funcionamiento económico de un inversor según Wagner (2015), es su eficiencia con respecto a la potencia de salida del mismo, como apreciamos en la Figura 19.

Es por ello que, para dimensionar un inversor, es fundamental establecer la potencia máxima a la cual se va a conectar. Es así que surge la pregunta, cuál es la ratio entre la

potencia del arreglo fotovoltaico y la potencia de salida en AC del equipo inversor, según Mertens (2019), este valor se define como:

$$SR_{AC} = \frac{P_{Gpk}}{P_{Ninv}} \quad (53)$$

Donde:

SR_{AC} : Factor de dimensionamiento (Adimensional)

P_{Gpk} : Potencia nominal o pico del arreglo fotovoltaico en (W)

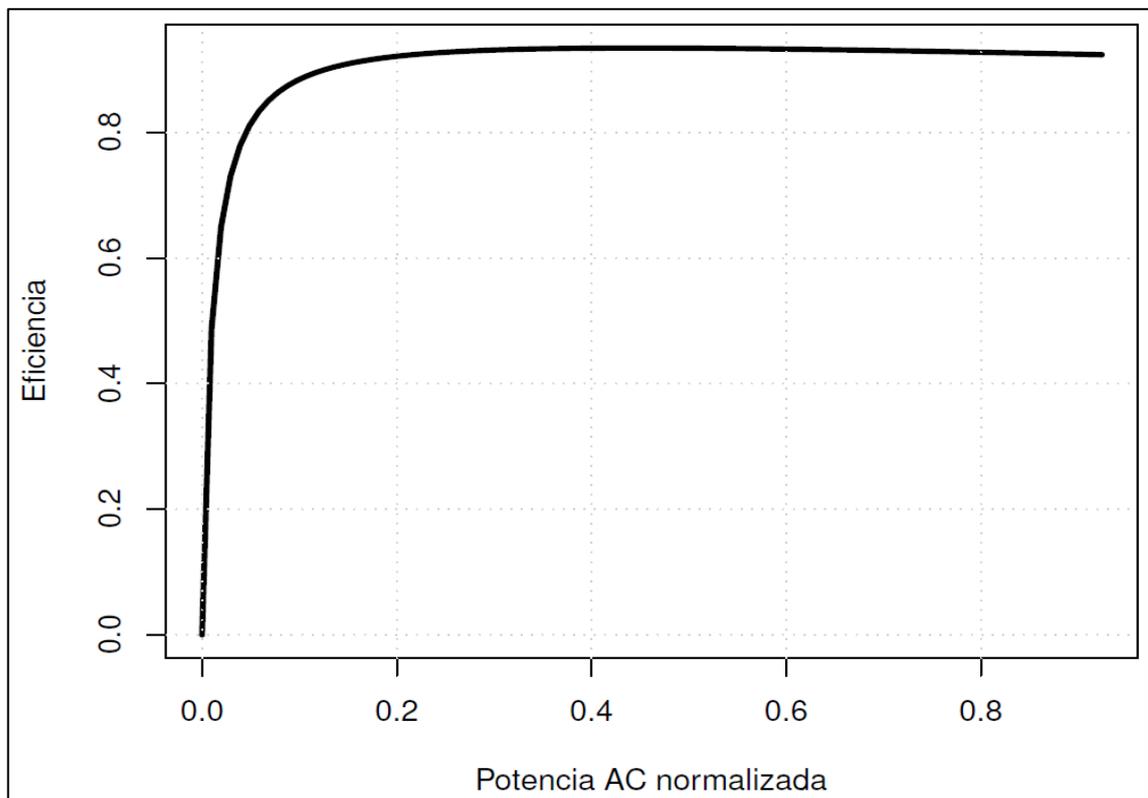
P_{Ninv} : Potencia nominal del inversor en (W)

Se recomienda que el valor de SR_{AC} , no debe superar un sobredimensionamiento máximo del 20 %, en otras palabras, la potencia pico del arreglo fotovoltaico no debe superar en más de un 20 %, la potencia de salida en AC del inversor (Perpiñán, 2020).

En opinión de Jieb y Hossain (2022), esta relación puede variar entre 1 y 1,3 según estudios económicos realizados para minimizar el costo inicial del sistema.

Figura 19

Curva de eficiencia de un inversor típico



Nota: El gráfico muestra la variación de la eficiencia del inversor con respecto a su potencia normalizada. Tomado de *Energía Solar Fotovoltaica* (p. 80), por O. Perpiñán, 2020, Creative Commons.

La selección del inversor, también se ve reflejada, en su máximo aprovechamiento, por lo que es necesario hacer hincapié en su eficiencia, para ello, primero debemos normalizar la potencia de salida del inversor a utilizar, es así que tenemos:

$$p_{oinv} = \frac{P_{ACinv}}{P_{Ninv}} \quad (54)$$

Donde:

p_{oinv} : Potencia normalizada del inversor (Adimensional)

P_{ACinv} : Potencia de salida en AC del inversor en (W)

P_{Ninv} : Potencia nominal del inversor en (W)

Conociendo estos valores, y revisando la ficha técnica del inversor a escoger, se determina la eficiencia del inversor. De igual forma es importante conocer la eficiencia por no rastreo del punto de potencia máxima del arreglo fotovoltaico, valor que también se encuentra en la ficha técnica.

Existen además parámetros relevantes para asegurar un buen funcionamiento del equipo inversor entre estos según Potes (2019), tenemos:

a. Rango de voltajes de ingreso al seguidor MPP del inversor ($V_{mpp,min} - V_{mpp,max}$)

El rango de tensiones óptimo para el inversor con respecto al seguidor MPP integrado debe cumplir lo siguiente: el voltaje mínimo debe ser menor al voltaje máximo para una temperatura de celda de 70 °C, y ser mayor al voltaje máximo para una temperatura de celda de -10 °C, en ambos casos con una irradiancia de 1000 W/m². Es así que las Ecuaciones 55 y 56, describen los valores máximos y mínimos recomendados para el rango de seguimiento al MPP del inversor a escoger:

$$V_{mpp,min} \leq V_{mppGmin}(G = 1000 \text{ W/m}^2, T_C = 70 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (55)$$

$$V_{mpp,max} \geq V_{mppGmax}(G = 1000 \text{ W/m}^2, T_C = -10 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (56)$$

Donde:

$V_{mpp,min}$: Voltaje mínimo del rango MPP del inversor en (V)

$V_{mpp,max}$: Voltaje máximo del rango MPP del inversor en (V)

$V_{mppGmin}$: Voltaje mínimo del arreglo fotovoltaico para

$$G = 1000 \text{ W/m}^2 \text{ y } T_C = 70 \text{ }^\circ\text{C, en (V)}$$

$V_{mppGmax}$: Voltaje máximo del arreglo fotovoltaico para

$$G = 1000 \text{ W/m}^2 \text{ y } T_C = -10 \text{ }^\circ\text{C, en (V)}$$

b. Tensión máxima ($V_{MAX,INV}$)

El equipo inversor tiene un voltaje máximo que puede soportar. Este voltaje se encuentra acotado por un voltaje máximo de la instalación fotovoltaica evaluado en circuito abierto y para una temperatura de la celda de $-10 \text{ }^\circ\text{C}$. La Ecuación 57 define su valor:

$$V_{MAX,INV} \geq V_{ocGmax}(G = 1000 \text{ W/m}^2, T_C = -10 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (57)$$

Donde:

$V_{MAX,INV}$: Voltaje máximo de entrada que soporta el inversor en (V)

V_{ocGmax} : Voltaje de circuito abierto del arreglo fotovoltaico para una

$$G = 1000 \text{ W/m}^2, T_C = -10^\circ\text{C, en (V)}$$

c. Corriente máxima ($I_{MAX,INV}$)

El equipo inversor se diseña para soportar una corriente máxima. Dicha corriente se encuentra relacionada con la corriente de cortocircuito del sistema fotovoltaico para una temperatura de la celda de $70 \text{ }^\circ\text{C}$. La Ecuación 58 define su valor:

$$I_{MAX,INV} \geq I_{scGmax}(G = 1000 \text{ W/m}^2, T_C = 70 \text{ }^\circ\text{C}) \quad (58)$$

Donde:

$I_{MAX,INV}$: Máxima corriente de entrada que soporta el inversor en (A)

I_{scGmax} : Corriente de cortocircuito del arreglo fotovoltaico para

$$G = 1000 \text{ W/m}^2, T_C = 70^\circ\text{C, en (A)}$$

Los parámetros del arreglo fotovoltaico están afectados por la cantidad de módulos en serie N_S , para el voltaje de circuito abierto y máximo y la cantidad de módulos en paralelo N_P , para la corriente máxima y de cortocircuito.

2.8.10. Cálculo del cableado

En sistemas fotovoltaicos, la sección adecuada de los cables, es una elección fundamental para la correcta operación de la instalación. Los conductores son la conexión entre los dispositivos y cargas, y para su selección se utilizan dos criterios principales. El primer criterio es el de máxima corriente admisible o térmico, mientras que el segundo criterio es el relacionado con el de la caída de tensión (Perpiñán, 2020).

En lo que corresponde al procedimiento relacionado con la caída de tensión, se aplican ecuaciones que relacionan la longitud del tramo, la corriente que pasa por el circuito, y la conductividad del material del conductor. Los tramos comúnmente establecidos en infraestructuras fotovoltaicas de conexión a red son el recorrido de corriente directa entre el arreglo fotovoltaico hasta el inversor, y el tramo de corriente alterna que va desde el equipo inversor hasta conectar a las cargas previstas.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, (IDAE, 2011), indica que la caída máxima de tensión entre la generación de energía eléctrica y el punto de conexión con las cargas interiores o instalación interna debe ser inferior al 1.5 % del voltaje nominal.

Perpiñán (2020), explica que, este requisito afecta al circuito en su totalidad. Las instalaciones fotovoltaicas normalmente están divididas en tramos, uno de corriente directa y otro de corriente alterna, es por ello que en cada tramo se debe evaluar la caída máxima de tensión. Al final la suma de las caídas de tensión individuales de la instalación completa debe cumplir la limitante expresada en el párrafo anterior.

Una condición que se relaciona con lo mencionado líneas arriba es que la sección dimensionada del conductor debe tener en cuenta que la corriente de diseño no puede ser inferior al 125 % de la máxima corriente del arreglo fotovoltaico (Castejón y Santamaría, 2010). Así tenemos las siguientes ecuaciones:

$$I_n = 1.25(I_{scCG}) \quad (59)$$

$$I_n = 1.25(I_{invsal}) \quad (60)$$

$$S = \frac{2LI_nFP}{\Delta V \gamma_\theta} \quad (61)$$

Donde:

I_n : Corriente de diseño en cada tramo de conducción en (A)

I_{scCG} : Corriente de cortocircuito de una cadena del arreglo fotovoltaico en (A)

I_{invsal} : Corriente de salida del inversor en (A)

S : Sección del conductor en (mm^2)

L : Longitud del conductor en (m)

ΔV : Caída de tensión en el tramo de conducción en (V)

γ_θ : Conductividad del material del conductor a la temperatura de operación en ($s \cdot m / mm^2$)

FP : Factor de potencia (Adimensional)

Es importante conocer las siguientes condiciones. La Ecuación 59 está relacionada con el tramo en corriente continua, por el contrario la Ecuación 60, hace referencia al tramo en corriente alterna, a la salida del inversor. La corriente a la de salida del equipo inversor se puede obtener de la ficha técnica relacionada al equipo.

La conductividad del material conductor, comúnmente cobre, para la temperatura de operación, la cual es habitualmente $90^\circ C$, es $\gamma_\theta = 45 \text{ s} \cdot \text{m} / \text{mm}^2$. Por último, el factor de potencia para el recorrido en corriente directa no se toma en cuenta. Mientras que en el recorrido de corriente alterna, puede variar desde 0.85 hasta la unidad.

En lo que respecta a la máxima corriente admisible o criterio térmico, debemos de igual forma dimensionar la sección del cableado para una intensidad de corriente no inferior al 125 % de la máxima intensidad del tramo en evaluación. Es fácil de interpretar que en el recorrido de corriente directa, la máxima corriente es equivalente a la corriente de cortocircuito de una cadena del generador (Ecuación 59).

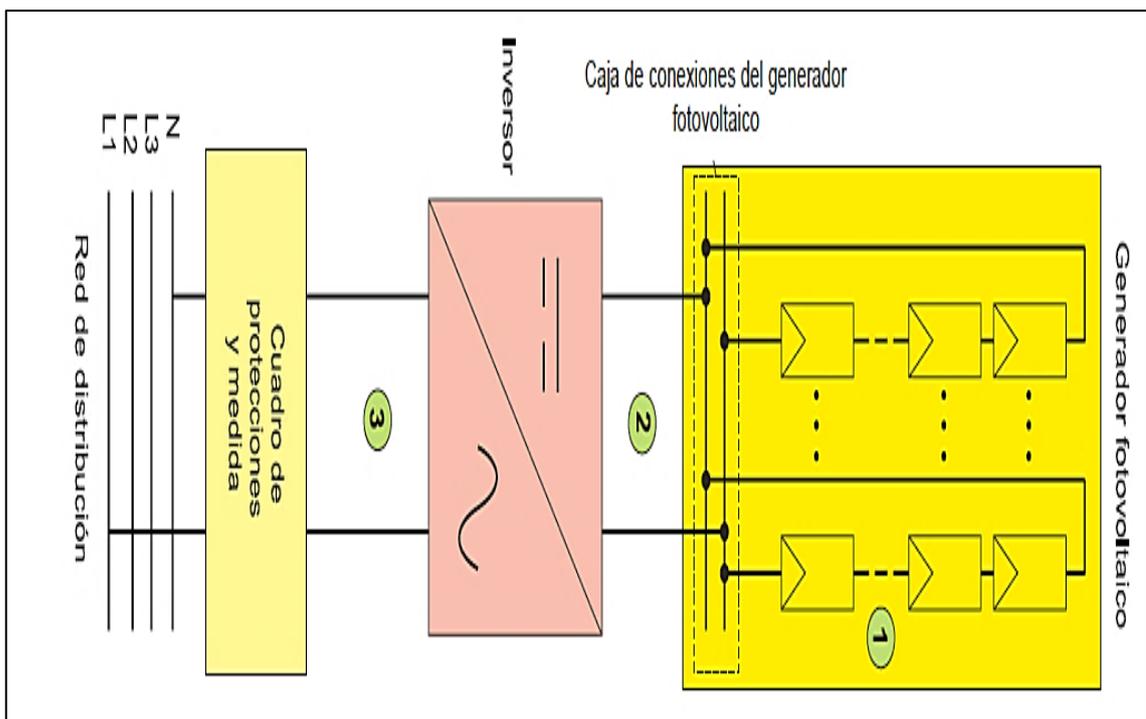
El proceso de cálculo de este criterio se encuentra establecido en el Código Nacional de Electricidad Utilización (2006), el cual está basado en criterios internacionales. Aquí se

tiene en cuenta el tipo de aislamiento, tipo de instalación, entre otros aspectos, para obtener la sección del conductor adecuada. De igual forma se introducen factores de corrección dependiendo de la temperatura del ambiente en la instalación, agrupación de circuitos y cables, condiciones del terreno donde se encuentra ubicado, entre otros (Perpiñán, 2020).

Finalmente, una regla primordial es que, la corriente I_n especificada en las Ecuaciones 59 y 60 no puede superar bajo ninguna circunstancia la máxima capacidad de corriente admisible para la sección elegida del conductor, en sus diferentes condiciones de servicio (Castejón y Santamaría, 2010). En la Figura 20, se puede observar una representación del cableado principal para una instalación solar de autoconsumo conectada a la red.

Figura 20

Representación del cableado para una instalación solar de autoconsumo



Nota: El gráfico muestra un esquema del cableado para una instalación solar de autoconsumo. Tomado de Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi (p. 25), por P. Potes, 2019, Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.8.11. Cálculo de los equipos de protección y maniobra

Los equipos de protección y maniobra aseguran un correcto funcionamiento del sistema en su conjunto, estos son dimensionados siguiendo las recomendaciones de Castejón y Santamaría (2010):

a. Interruptor automático por cada cadena del arreglo fotovoltaico

Para dimensionar este equipo, aplicamos las siguientes ecuaciones:

$$I_{nITM} \geq 1.25(I_{scCG}) \quad (62)$$

$$V_{nITM} \geq V_{ocCG} \quad (63)$$

Donde:

I_{nITM}: Corriente nominal del interruptor automático en (A)

I_{scCG}: Corriente de cortocircuito de una cadena del arreglo fotovoltaico en (A)

V_{ocCG}: Voltaje en circuito abierto de una cadena del arreglo fotovoltaico en (V)

V_{nITM}: Voltaje nominal del interruptor termomagnético en (V)

Al ser un interruptor automático colocado en el tramo de corriente directa, debe tener la característica de operar bajo este régimen de corriente.

b. Protección contra sobrevoltajes

Para su dimensionamiento aplicamos lo siguiente:

$$V_{nPSV} \geq 1.2 V_{ocCG} \quad (64)$$

Donde:

V_{nPSV}: Voltaje nominal del limitador de sobrevoltajes en (V)

V_{ocCG}: Voltaje en circuito abierto de una cadena del arreglo fotovoltaico en (V)

Se conecta aguas arriba del interruptor automático en corriente continua, y tiene una conexión directa con el conductor del sistema de puesta a tierra.

En muchas instalaciones ha cobrado mayor importancia, sobre todo en climas inestables con un alto índice de descargas atmosféricas.

c. Fusibles por cada cadena del arreglo fotovoltaico

Para ello es necesario cumplir con lo siguiente según Perpiñán (2020):

$$I_{n\text{fus}} \geq 1.25(I_{\text{scCG}}) \quad (65)$$

$$I_B < I_{n\text{fus}} < I_Z \quad (66)$$

$$1.6 I_{n\text{fus}} < 1.45 I_Z \quad (67)$$

$$V_{n\text{fus}} \geq V_{\text{ocCG}} \quad (68)$$

Donde:

$I_{n\text{fus}}$: Corriente nominal del fusible en (A)

I_{scCG} : Corriente de cortocircuito de una cadena del arreglo fotovoltaico en (A)

I_B : Corriente nominal de carga del arreglo fotovoltaico en (A)

I_Z : Corriente máxima admisible del conductor en (A)

V_{ocCG} : Voltaje en circuito abierto de una cadena del arreglo fotovoltaico en (V)

$V_{n\text{fus}}$: Voltaje nominal del fusible en (V)

De forma similar se debe escoger el portafusible respectivo. El portafusible es el elemento que resguarda al fusible, dentro de su compartimiento.

d. Protección del inversor

En lo que respecta al interruptor automático del inversor se cumple lo siguiente:

$$I_{n\text{ITM}inv} \geq 1.25(I_{\text{invsal}}) \quad (69)$$

$$V_{n\text{ITM}inv} \geq V_{\text{invsal}} \quad (70)$$

Donde:

$I_{n\text{ITM}inv}$: Corriente nominal del interruptor automático del inversor en (A)

$V_{nITM\ inv}$: Voltaje nominal del interruptor automático del inversor en (V)

I_{invsal} : Intensidad nominal a la salida del inversor en (A)

V_{invsal} : Voltaje nominal del sistema en corriente alterna en (V)

El interruptor diferencial del inversor, debe cumplir con lo siguiente:

$$I_{nID\ inv} \geq I_{nITM\ inv} \quad (71)$$

$$V_{nID\ inv} \geq V_{invsal} \quad (72)$$

$$I_{ID\ sensibilidad} = 30\ mA \quad (73)$$

Donde:

$I_{nID\ inv}$: Corriente nominal del interruptor diferencial del inversor en (A)

$V_{nID\ inv}$: Voltaje nominal del interruptor diferencial del inversor en (V)

V_{invsal} : Voltaje nominal del sistema en corriente alterna en (V)

$I_{nITM\ inv}$: Corriente nominal del interruptor automático del inversor en (A)

$I_{ID\ sensibilidad}$: Corriente de sensibilidad del interruptor diferencial en (mA)

Se toma en cuenta una sensibilidad de 30 mA, para el interruptor diferencial, siguiendo las recomendaciones del CNE Utilización (2006).

La Ecuación 66, hace referencia a una condición fundamental que se debe cumplir en cualquier circuito eléctrico para evitar paradas innecesarias o el deterioro del conductor. En general la condición expresada en la Ecuación 66, se debe cumplir y es condición primaria para cualquier equipo de protección mencionado.

Es común también colocar un seccionador antes de la conexión con el inversor. Esto debido a que este dispositivo asume una tarea de aislar el arreglo fotovoltaico para las labores de limpieza y mantenimiento por parte del personal encargado, o reparaciones

con personal técnico calificado (León, 2019). Su selección es similar a la del interruptor automático termomagnético.

Existen otros dispositivos o accesorios encargados de la protección en los circuitos del sistema, como los diodos de bloqueo o by pass que sirven para reducir los problemas suscitados por las sombras en los módulos fotovoltaicos. De ellos se habló en el acápite referido a los factores que afectan el rendimiento del panel fotovoltaico. Su elección se basa de igual forma en la tensión de circuito abierto y corriente de cortocircuito de los paneles (diodos by pass) y de las ramas o cadenas en serie (diodos de bloqueo).

El medidor de energía bidireccional o contador bidireccional se debe escoger de acuerdo a las especificaciones y necesidades del equipo inversor, debido a que la función de inyección cero depende del trabajo conjunto entre ambos elementos. Es común que el medidor sea de la misma marca y que además corresponda a una serie y modelo relacionada con el inversor. Se puede buscar teniendo en cuenta la ficha técnica relacionada al inversor.

Los materiales menudos, como terminales, cintas aislantes cintas vulcanizantes, herramientas, conectores MC4 para los paneles, cajas de paso, tableros eléctricos, tuberías, canaletas según el tipo de instalación, se deben escoger de acuerdo a un criterio técnico adecuado y por supuesto seguir las recomendaciones y reglas establecidas en el CNE y el RNE.

2.8.12. Distancia de sombra

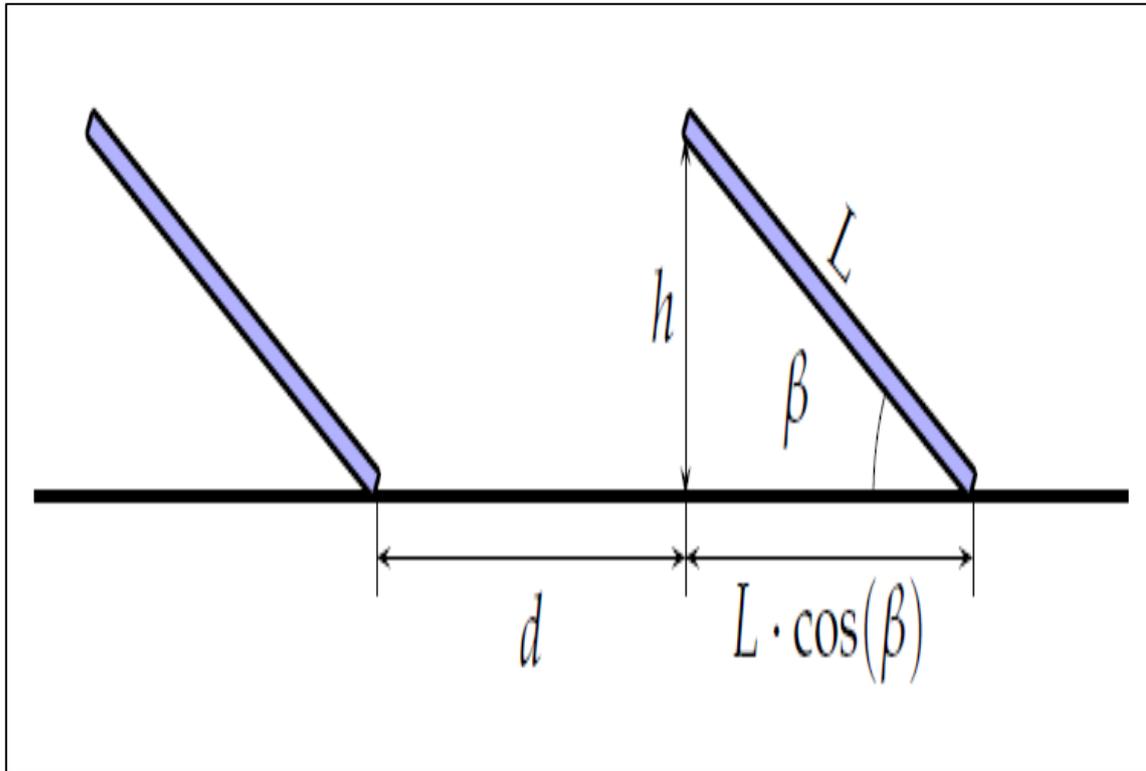
Las estructuras soporte a escoger deben guardar concordancia con la instalación. Esto quiere decir que, luego de la visita técnica, y conocer las condiciones estructurales del edificio en el cual se van a situar los paneles solares, se debe elegir la estructura que asegure una operación confiable, fácil mantenimiento y el ángulo de inclinación establecido para dicha instalación.

Es así que, después de colocar las estructuras soporte que sirven de armadura para evitar pandeos y desprendimiento de los paneles fotovoltaicos, es necesario tener en cuenta las sombras mutuas que puedan producir en el sistema. Las estructuras de filas que componen el arreglo fotovoltaico son capaces de generar sombras sobre filas posteriores a las mencionadas, esto en momentos específicos en el transcurso de los días y al año. Tal

como se aprecia en la Figura 21, por ello se evalúa una mínima distancia que se debe respetar entre las estructuras para evitar los inconvenientes descritos.

Figura 21

Separación de soportes de filas de los módulos fotovoltaicos



Nota: El gráfico muestra la separación de soportes de filas de los módulos fotovoltaicos. Tomado de *Energía Solar Fotovoltaica* (p. 82), por O. Perpiñán, 2020, Creative Commons.

Es un consenso general, respetar 4 horas de sol plenas como mínimo, esto teniendo en cuenta el mediodía del solsticio de la temporada de invierno. Estas 4 horas se garantizan estar en su totalidad libres de sombras (Perpiñán, 2020). Por último, como criterio técnico es recomendable que se le agregue un 15 % adicional a la distancia mínima definida en la Ecuación 74.

La ecuación correspondiente para determinar la mínima distancia entre filas de paneles, toma en cuenta los parámetros mostrados en la Figura 21, y es la siguiente según Perpiñán (2020):

$$D_{smin} = \frac{h}{\tan(61 - |\phi|)} \tag{74}$$

$$D_s = 1.15 D_{smin} \tag{75}$$

$$h = L \operatorname{sen}(\beta) \quad (76)$$

Donde:

D_s : Distancia entre filas de los módulos fotovoltaicos en (m)

D_{smin} : Mínima distancia entre filas de los módulos fotovoltaicos en (m)

h : Altura de la fila en (m)

L : Longitud del módulo fotovoltaico en (m)

β : Ángulo de inclinación del panel en grados decimales (°)

ϕ : Latitud del lugar en grados (°)

Perpiñán (2020), hace referencia a un indicador conocido como el Ratio de Ocupación de Terreno (ROT), o en inglés (Ground Requirement Ratio, GRR). Es un indicador que relaciona la superficie de terreno necesaria, sumando las distancias para evitar sombras mutuas, para situar un generador fotovoltaico con respecto al área del generador fotovoltaico. El valor de ROT, siempre es superior a la unidad. Una regla sencilla, y muchas veces aproximada indica que, solo teniendo en cuenta el sombreado mutuo, para un sistema que se considera estático, se requiere de un ROT equivalente o menor a 2. Es necesario definir que un sistema nombrado estático, hace referencia a un sistema que carece de un seguidor solar en sus correspondientes ejes.

2.9. INDICADORES PARA EL ESTUDIO DEL SISTEMA

A continuación, se van a definir los indicadores para el estudio del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica. Estos se dividen en tres: los técnicos, económicos y el equivalente de CO₂.

2.9.1. Indicadores técnicos

El sistema de autoconsumo solar conectado a red, que suministra energía eléctrica al equipo de climatización, exhibe las ventajas de una alta eficiencia energética y una conveniente integración en el edificio entre las tecnologías de refrigeración y calefacción de ambientes, cómo se observa en la Figura 22. Entre todos los tipos de enfriamiento

solar, el enfriamiento por compresión de vapor, demuestra un alto potencial para la aplicación en edificios al hablar en términos de aspectos económicos y de conservación de energía. Su sistema de refrigeración altamente eficiente y su conveniente integración con construcciones convencionales son ampliamente aceptados.

La electricidad fotovoltaica se transmite al sistema de aire acondicionado, e interactúa con la red eléctrica pública. El aire acondicionado en este estudio, se refiere a la bomba de calor, que puede proporcionar refrigeración y calefacción para mantener una temperatura ambiente interior constante.

Ajib y Alahmer (2018), plantean que este sistema es una “Integración de equipos que consta de dos partes: el sistema fotovoltaico y el dispositivo de climatización eléctrica, donde la energía generada se suministra al equipo de aire acondicionado el cual funciona mediante un sistema de compresión de vapor” (p. 40).

Los indicadores técnicos para el estudio del sistema fotovoltaico que suministra energía a un dispositivo de climatización, son los siguientes:

a. Energía generada por el sistema

La energía que genera el sistema fotovoltaico, para diferentes periodos de tiempo, se define según Castejón y Santamaría (2010):

$$E_d = \frac{G_{dm}(\gamma, \beta) P_{Gpk} PR}{G_{STC}} \quad (77)$$

$$E_m = N_{dm} E_d \quad (78)$$

$$E_a = N_{da} E_d \quad (79)$$

Donde:

E_d: Energía diaria producida por el sistema fotovoltaico en (kWh)

E_m: Energía mensual producida por el sistema fotovoltaico en (kWh)

E_a: Energía anual producida por el sistema fotovoltaico en (kWh)

N_{dm}: Número de días del mes

N_{da}: Número de días del año

P_{Gpk}: Potencia nominal o pico del arreglo fotovoltaico en (W)

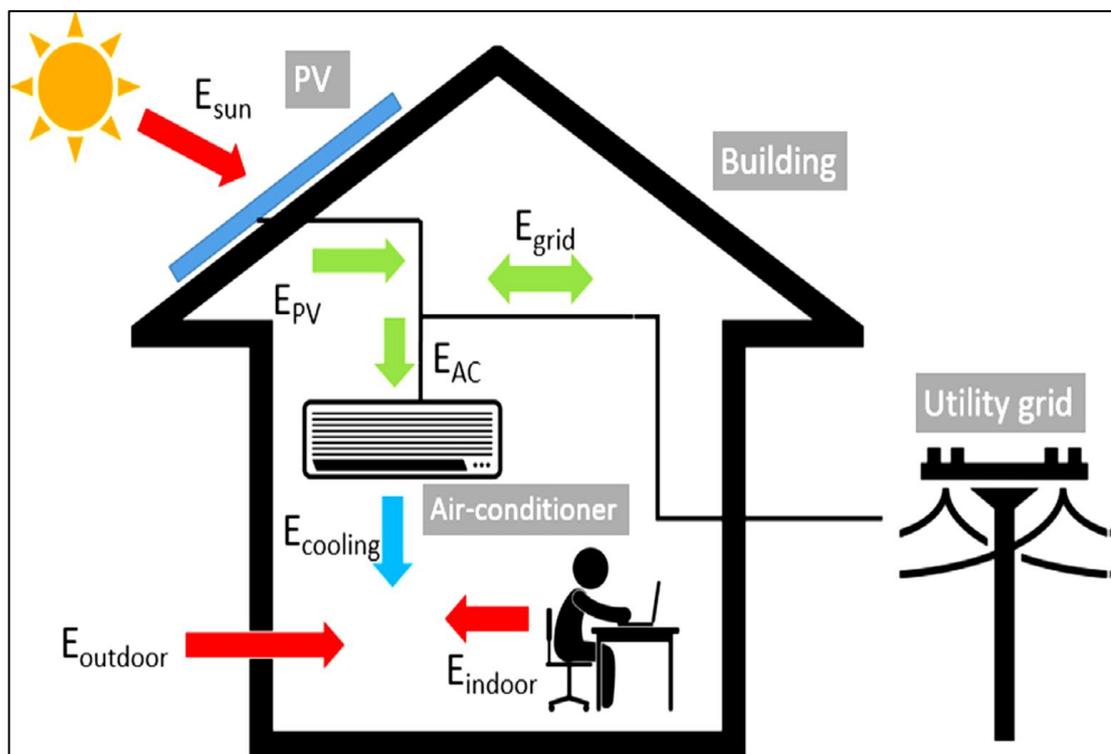
G_{STC} : Irradiancia para condiciones STC en (kW/m^2)

$G_{am}(\gamma; \beta)$: Irradiación dimensionada sobre el área del arreglo fotovoltaico inclinado un ángulo β y orientado un ángulo azimutal de superficie γ en (kWh/m^2)

PR : Rendimiento energético o Performance Ratio (Adimensional)

Figura 22

Diagrama esquemático de un sistema fotovoltaico que suministra energía a un dispositivo de climatización



Nota: El gráfico muestra un sistema fotovoltaico que suministra energía a un dispositivo de aire acondicionado. Tomado de “A universal method for performance evaluation of solar photovoltaic air conditioner” (p. 2), por B. Zhao et al., 2018, Solar Energy, 172(1).

b. Productividad final del sistema

Es el parámetro que relaciona la energía final generada en un periodo de tiempo establecido, con respecto a la potencia nominal o pico del arreglo fotovoltaico en análisis. Es muy útil para comparar sistemas fotovoltaicos que se ubican en regiones geográficas similares. Esto por su puesto con respecto a su montaje y ubicación como condición fundamental (Quevedo, 2020). Se define como:

$$Y_F = \frac{E_a}{P_{Gpk}} \quad (80)$$

Donde:

Y_F : Productividad final del sistema en (kWh/kWp)

E_a : Energía anual producida por el sistema fotovoltaico en (kWh)

P_{Gpk} : Potencia nominal o pico del arreglo fotovoltaico en (kWp)

c. Fracción solar (SF)

La fracción solar se define como el porcentaje de electricidad producido por el sistema de autoconsumo solar, que cubre la demanda eléctrica del equipo de aire acondicionado. Su valor es inferior a la unidad, siempre que existan aportaciones por parte de la red eléctrica. Zhao et al. (2018), lo define como:

$$SF = \frac{E_{PV-AC}}{E_{AC}} \quad (81)$$

Donde:

SF : Fracción solar (Adimensional)

E_{PV-AC} : Energía producida por el sistema fotovoltaico y consumida por el equipo de climatización en (kWh)

E_{AC} : Energía total consumida por el equipo de climatización en (kWh)

d. Coeficiente de performance (COP)

El coeficiente de performance es un indicador que relaciona la demanda térmica de calefacción o refrigeración con respecto a la energía eléctrica que requiere el equipo de aire acondicionado para funcionar. Toma valores superiores a la unidad. Zhao et al. (2018), lo define como:

$$COP = \frac{\dot{E}Q_{refrigeración}}{E_{AC}} \quad (82)$$

$$COP = \frac{E\dot{Q}_{calefacción}}{E_{AC}} \quad (83)$$

Donde:

COP: Coeficiente de Performance (Adimensional)

$E\dot{Q}_{refrigeración}$: Demanda de energía térmica de refrigeración en (kWh)

$E\dot{Q}_{calefacción}$: Demanda de energía térmica de calefacción en (kWh)

E_{AC} : Energía total consumida por el equipo de climatización en (kWh)

e. Eficiencia de conversión de energía

La eficiencia de conversión de energía del sistema fotovoltaico relaciona la energía que logra convertirse en electricidad con respecto a la irradiación solar incidente en el arreglo fotovoltaico. Zhao et al. (2018), lo define como:

$$\eta_{SFV} = \frac{E_d}{G_{dm}(\gamma; \beta) A_{SPV}} \quad (84)$$

Donde:

η_{SFV} : Eficiencia del arreglo fotovoltaico (Adimensional)

E_d : Energía diaria producida por el sistema fotovoltaico en (kWh)

$G_{dm}(\gamma; \beta)$: Irradiación dimensionada sobre el área del arreglo fotovoltaico inclinado un ángulo β y orientado un ángulo azimutal de superficie γ en (kWh/m²)

A_{SPV} : Área efectiva del arreglo fotovoltaico en (m²)

El panel fotovoltaico no está conformado enteramente por celdas fotovoltaicas. Entre estas celdas existen separaciones que no generan energía eléctrica. Es por ello que el área efectiva del panel fotovoltaico se obtiene determinando el área de cada celda y multiplicando por el número de celdas de cada panel. Luego de ello se tiene que determinar el producto del área efectiva individual de cada panel con el número de paneles que conforman el arreglo fotovoltaico.

f. Coeficiente de performance solar (COP_{solar})

El COP_{solar} relaciona el valor del COP y el de la eficiencia del sistema fotovoltaico, para ello Zhao et al. (2018), lo define como:

$$COP_{solar} = \eta_{SFV} COP \quad (85)$$

Donde:

COP_{solar} : Coeficiente de Performance Solar (Adimensional)

η_{SFV} : Eficiencia del arreglo fotovoltaico (Adimensional)

COP : Coeficiente de Performance (Adimensional)

g. Ratio de autoconsumo (SCR)

El ratio de autoconsumo para Zhao et al. (2018), hace referencia al porcentaje de energía eléctrica fotovoltaica consumida por el sistema de aire acondicionado, con respecto a la energía solar fotovoltaica total generada. Se expresa como sigue:

$$SCR = \frac{E_{PV-AC}}{E_{PV}} \quad (86)$$

Donde:

SCR : Ratio de autoconsumo (Adimensional)

E_{PV-AC} : Energía producida por el sistema fotovoltaico y consumida por el equipo de climatización en (kWh)

E_{AC} : Energía total producida por el sistema fotovoltaico en (kWh)

h. Indicador de evaluación integral (CEI)

Al aumentar la capacidad del sistema fotovoltaico indiscutiblemente aumenta el valor de la fracción solar, sin embargo merma el valor del ratio de autoconsumo.

Es por ello que el indicador de evaluación integral relaciona ambos indicadores para encontrar la capacidad optima de diseño que corresponde al sistema, Zhao et al. (2018), lo define como sigue.

$$CEI = \frac{SF + SCR}{2} \quad (87)$$

Donde:

CEI: Indicador de evaluación integral (Adimensional)

SF: Fracción solar (Adimensional)

SCR: Ratio de autoconsumo (Adimensional)

2.9.2. Indicadores económicos

Los indicadores económicos para el estudio del sistema fotovoltaico que suministra energía a un equipo de climatización son los siguientes:

a. Costo nivelado de energía (LCOE)

Durante la vida útil del proyecto relacionado con las energías renovables, es importante definir un precio que estime cuánto vale la unidad de energía del mismo. Este parámetro se conoce como Costo Nivelado de Energía o Levelized Cost of Energy (LCOE). Es un elemento comparativo de diferentes tecnologías energéticas alrededor del mundo. El valor del LCOE se calcula dividiendo el costo del ciclo de vida del proyecto con respecto a la producción de energía esperada a lo largo de su vida útil (Gosgot, 2022). Se define como:

$$LCOE = \frac{LCC}{E_{SFV}} \quad (88)$$

Donde:

LCOE: Costo nivelado de la energía en (soles/kWh)

LCC: Costo del ciclo de vida en (soles)

E_{SFV}: Energía generada a lo largo de la vida útil en (kWh)

El costo del ciclo de vida según Gosgot (2022), incluye el capital o inversión inicial, los costos relacionados a la operación y mantenimiento del sistema, así también se toma en cuenta el costo de reemplazo al término de la vida del proyecto del sistema.

La producción energética esperada para el sistema fotovoltaico toma en cuenta las condiciones climatológicas de la ubicación de la instalación, así como la tasa de degradación anual del panel fotovoltaico (dato ofrecido en la ficha técnica del equipo).

b. Valor actual neto

El valor actual neto (VAN), citando a Rodríguez et al. (2014) se define como la cantidad monetaria actualizada, teniendo en cuenta los ingresos y egresos de flujo monetario que se suscitan en la vida total de un proyecto para cada periodo, con un valor de una tasa fija determinada.

Se determina como sigue:

$$VAN = -I_{nvr} + \sum_{j=1}^n \frac{(I_j - E_j)}{(1 + i)^j} \quad (89)$$

Donde:

VAN: Valor actual neto en (soles)

I_j: Ingresos en (soles)

E_j: Egresos en (soles)

n: Número de periodos en (años)

i: Tasa de interés fija (%)

I_{nvr}: Inversión inicial en (soles)

La diferencia entre egresos e ingresos se conoce como flujo de caja y se realiza para cada periodo. Valores positivos del VAN indica, que posee un potencial de aplicación viable económicamente. Para valores negativos o igual a cero, el potencial de aplicación es no viable o no factible.

c. Tasa interna de retorno

Es aquella tasa conocida también como TIR, que se obtiene al hacer cero el valor del VAN. Económicamente representa la tasa para la cual los ingresos son iguales a las salidas o egresos de un proyecto. En otras palabras, permite igualar el dinero producido

por el proyecto con la inversión inicial realizada para el mismo (Rodríguez et al., 2014). Se calcula como:

$$VAN = -I_{nvr} + \sum_{j=1}^n \frac{(I_j - E_j)}{(1 + TIR)^j} = 0 \quad (90)$$

$$I_{nvr} = \sum_{j=1}^n \frac{(I_j - E_j)}{(1 + TIR)^j} \quad (91)$$

Donde:

TIR: Tasa interna de retorno (%)

I_j: Ingresos en (soles)

E_j: Egresos en (soles)

n: Número de periodos en (años)

I_{nvr}: Inversión inicial en (soles)

Valores de TIR superiores a la tasa de interés fija establecida permiten determinar que el potencial de aplicación económico es viable, un valor inferior al de la tasa de interés fija indicaría que el potencial de aplicación es no factible.

d. Periodo de recuperación de inversión

Es el periodo conocido también como PRI, que se necesita para recobrar la inversión, teniendo en cuenta los ingresos netos obtenidos. Se define según Potes (2019), como:

$$PRI = \frac{\ln\left(\frac{-(I - E)}{I_{nvr}(i) - (I - E)}\right)}{\ln(1 + i)} \quad (92)$$

Donde:

PRI: Periodo de recuperación de la inversión en (Años)

I: Ingresos en (soles)

E: Egresos en (soles)

i: Tasa de interés fija (%)

I_{nvr}: Inversión inicial en (soles)

2.9.3. Equivalente de CO₂

En virtud de calcular el equivalente de CO₂ relacionado con el sistema fotovoltaico que suministra energía a un equipo de aire acondicionado, tenemos los siguientes indicadores:

a. Emisiones equivalentes de CO₂ generadas por el sistema

Las emisiones generadas, se encuentran relacionadas al equivalente de CO₂ emitido debido a los procesos para la producción, transporte, fabricación de los elementos que componen el sistema fotovoltaico. Estos elementos pueden ser los paneles, inversores, soportes, entre otros elementos que conforman el sistema. Es en este sentido que cada elemento está relacionado con un factor que cuantifica sus respectivas emisiones de CO₂. Estos son según Dhakal et al. (2021), los más relevantes para el sistema fotovoltaico:

$$LCE_{PSFV} = P_{Gpk}LCE_p \quad (93)$$

$$LCE_{SOP} = P_{sop}LCE_{sop} \quad (94)$$

$$LCE_{INVS} = N_{INV}LCE_{inv} \quad (95)$$

Donde:

LCE_{PSFV}: Emisiones de CO₂ del ciclo de vida para los paneles fotovoltaicos del sistema en (kgCO₂)

LCE_p: Factor de emisiones de CO₂ para los paneles fotovoltaicos del sistema en (kgCO₂/kWp)

P_{Gpk}: Potencia nominal o pico del arreglo fotovoltaico en (kWp)

LCE_{SOP}: Emisiones de CO₂ del ciclo de vida para los soportes de los paneles fotovoltaicos del sistema en (kgCO₂)

LCE_{sop}: Factor de emisiones de CO₂ para los soportes de los paneles fotovoltaicos del sistema en (kgCO₂/kg)

P_{sop}: Peso total de los soportes en (kg)

LCE_{INVS} : Emisiones de CO_2 del ciclo de vida para el inversor del sistema en ($kgCO_2$)

LCE_{inv} : Factor de emisiones de CO_2 para el inversor del sistema en ($kgCO_2/unidad$)

N_{INV} : Número de inversores del sistema

Es necesario también contemplar las emisiones generadas por el equipo de climatización y las posibles emisiones fugitivas por el refrigerante usado por el dispositivo. Para el equipo de aire acondicionado tenemos:

$$LCE_{E A/C} = N_{EA/C} LCE_{equipo A/C} \quad (96)$$

Donde:

$LCE_{E A/C}$: Emisiones de CO_2 del ciclo de vida para el equipo de aire acondicionado en ($kgCO_2$)

$LCE_{equipo A/C}$: Factor de emisiones de CO_2 para el equipo de aire acondicionado en ($kgCO_2/unidad$)

$N_{EA/C}$: Número de equipos de aire acondicionado del sistema

En la fabricación del equipo de aire acondicionado se emiten también gases de efecto invernadero. Sin embargo, en su funcionamiento, las emisiones son nulas debido a que su fuente de energía no genera emisiones en su periodo de funcionamiento. Por otro lado, Zerón y Arias (2019), indican que las emisiones por posibles fugas de refrigerante se cuantifican de la siguiente forma:

$$LCE_{REF} = P_{refrigerante} PCA_{refrigerante} \quad (97)$$

Donde:

LCE_{REF} : Emisiones de CO_2 por fugas de refrigerante usado en el equipo de aire acondicionado en ($kgCO_2$)

$PCA_{refrigerante}$: Potencial de calentamiento atmosférico de CO_2 por fugas de refrigerante usado en ($kgCO_2/kg$)

$P_{refrigerante}$: Peso total de posibles fugas de refrigerante en (kg)

Las emisiones mencionadas en las Ecuaciones 91,92, 93, 94 y 95 son las más relevantes para el sistema. Sin embargo, se puede seguir añadiendo emisiones relacionadas con otros elementos del mismo. El valor del LCE_p se puede considerar como $1798 \text{ kgCO}_2/\text{kWp}$, según De Wild et al. (2011). Con respecto a los factores de emisiones de los soportes e inversor son parámetros propios de su manufactura y dependen del fabricante. De igual forma para el equipo de aire acondicionado. Por su parte, el factor de emisiones por posibles fugas de refrigerante se encuentra tabulado para diferentes tipos, entre ellos el refrigerante R-410A (consultar Anexo 22, según corresponda).

Finalmente, las emisiones de CO_2 generadas por el sistema, se calculan usando la Ecuación 94:

$$LCE_{CO_2G} = LCE_{PSFV} + LCE_{SOP} + LCE_{INVS} + LCE_{E A/C} + LCE_{REF} \quad (98)$$

Donde:

LCE_{CO_2G} : Emisiones de CO_2 del ciclo de vida generadas por el sistema en (kgCO_2)

LCE_{PSFV} : Emisiones de CO_2 del ciclo de vida para los paneles fotovoltaicos del sistema en (kgCO_2)

LCE_{SOP} : Emisiones de CO_2 del ciclo de vida para los soportes de los paneles fotovoltaicos del sistema en (kgCO_2)

LCE_{INVS} : Emisiones de CO_2 del ciclo de vida para el inversor del sistema en (kgCO_2)

$LCE_{E A/C}$: Emisiones de CO_2 del ciclo de vida para el equipo de aire acondicionado en (kgCO_2)

LCE_{REF} : Emisiones de CO_2 por fugas de refrigerante usado en el equipo de aire acondicionado en (kgCO_2)

b. Emisiones equivalentes de CO₂ reemplazadas por el sistema

Las emisiones reemplazadas por el sistema se obtienen del producto entre el factor de emisiones de CO₂ y el consumo de electricidad en el SEIN (Sistema Eléctrico interconectado Nacional), como sigue:

$$LCE_{CO_2R} = F_{CO_2SEIN}(E_a)(t_{SFV}) \quad (99)$$

Donde:

LCE_{CO₂R}: Emisiones de CO₂ del ciclo de vida reemplazadas por el sistema fotovoltaico en (kgCO₂)

F_{CO₂SEIN}: Factor de emisión de CO₂ del SEIN (kgCO₂/kWh)

E_a: Energía anual producida (kWh)

t_{SFV}: Periodo de vida del proyecto en (años)

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente, (MINAM, 2015), el valor de *F_{CO₂SEIN}* es de 0,2611 tCO₂/MWh. Es necesario también tener en cuenta que cada año se reduce la generación de energía eléctrica del sistema, por lo que cada año se reduce las emisiones reemplazadas por el mismo. La diferencia entre las emisiones reemplazadas y generadas por el sistema revela el balance de emisiones CO₂, al usar el sistema.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

En la ejecución de la investigación y redacción del presente informe se usaron los siguientes materiales y recursos.

3.1. RECURSOS

3.1.1. Humanos

- El investigador: Bachiller Acero Roncal Kevin
- El asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

3.2. MATERIALES

3.2.1. Físicos (equipos, materiales)

- Laptop Lenovo modelo Legion Y740
- Impresora Brother modelo DCP-T420W
- Material para uso de oficina, útiles, y papelería en general
- Libros, textos y otros materiales impresos

3.2.2. No físicos (software)

- Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2

3.2.3. Referentes al consumo eléctrico

Se solicitó acceso al administrador de la institución, para hacer uso de la información de los recibos de consumo de electricidad del establecimiento emitidos por la concesionaria.

La institución presenta un suministro eléctrico en baja tensión 220 V AC – 60 Hz, monofásico, administrado por la empresa concesionaria Hidrandina S.A. La acometida es del tipo aérea y la opción tarifaria en la que se encuentran es la BT5B – No Residencial. Por lo tanto, la facturación se basa solo en el consumo de energía activa en el predio.

Los recibos mencionados, se recopilaron para llevar un seguimiento del consumo mensual y promedio de la electricidad en la institución y conocer el coste económico de la energía en el recinto. En el Anexo 23, se aprecia los consumos energéticos en kWh, a la par de sus respectivos costos unitarios y totales, para los últimos 24 meses en la institución.

3.2.4. Referente al ambiente físico de estudio

La Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote (EESPPCH), se encuentra ubicada en la Zona de Equipamiento Metropolitana Manzana C Lote 1, del distrito de Nuevo Chimbote. El frontis de la institución se aprecia en la Figura 23.

Figura 23

Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote



Nota: Frontis de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote (EESPPCH).

Figura 24

Jefatura de Unidad Administrativa de la EESPPCH



Nota: Frontis de la Jefatura de Unidad Administrativa de la EESPPCH.

El ambiente físico considerado para la investigación en cuestión, es la Jefatura de Unidad Administrativa. Dicho ambiente se encuentra ubicado en el segundo nivel del Pabellón “A” de la institución en mención, como se aprecia en la Figura 24. La edificación es una construcción hecha de material noble. El área total interior del recinto es de 27,10 m². El ambiente físico en cuestión es una oficina administrativa donde laboran 5 personas.

En virtud de ejecutar la presente investigación, se realizaron mediciones preliminares de campo. Para ello se visitó las instalaciones de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote, específicamente el ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa. Estas visitas se suscitaron los días 05/10/2022, 02/11/2022, y 16/11/2022.

En la visita se empleó la cinta métrica flexible para la medición de distancias dentro del recinto. Por otro lado, se aplicaron los instrumentos de recopilación de datos. En los Anexos 24 y 25, se puede observar la recopilación de la información vertida en los instrumentos usados.

3.3. MÉTODOS

3.3.1. Método de la investigación

Se empleó en el presente estudio el siguiente método de investigación:

Método descriptivo: El cual tiene como objetivo obtener, interpretar y presentar información sobre una realidad, con la mayor exactitud o precisión posible, de acuerdo a ciertos criterios predeterminados. Para el presente caso en un primer momento se describió las características constructivas del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote, así también se especificó y dimensionó los elementos del sistema de climatización alimentado por una instalación solar de autoconsumo, los cuales dependen del cómputo de la carga total de potencia de refrigeración, así como la carga de calefacción y la elección correcta de un sistema fotovoltaico adecuado.

Además, se presentaron e interpretaron los indicadores establecidos en la investigación, para conocer cuál es su condición y como se ven afectados por los demás indicadores propuestos, así como poder contrastar la hipótesis presentada.

En la línea de ideas explicada en el párrafo anterior, los razonamientos particulares que surgieron, se lograron extrapolar a conclusiones generalizadas, para sistemas de acondicionamiento de aire suministrados energéticamente por energía solar que cuenten con factores o condiciones similares a las propuestas en la investigación.

3.3.2. Diseño de la investigación

Con base en lo desarrollado por Hernández y Mendoza (2018), el diseño que corresponde a la presente investigación es el no experimental, esto hace referencia a los estudios donde el investigador evita la modificación de forma premeditada a la variable independiente. Solo se efectúan observaciones de fenómenos en su propio contexto sin intervención.

La simbología del diseño de la presente investigación es la siguiente:



Donde:

O₁: Observación 1 (Indicadores técnicos, económicos y equivalente de CO₂ de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica no estudiados).

O₂: Observación 2 (Indicadores técnicos, económicos y equivalente de CO₂ de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica estudiados para el ambiente físico establecido en la muestra).

X: Climatización del ambiente físico.

G.E. Ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la institución.

3.3.3. Población y muestra

- **Población:** Ambientes físicos de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote
- **Muestra:** Ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
- **Muestreo:** Para la investigación se empleó el muestreo no probabilístico.

3.3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

a. Técnicas:

- Medición: Se recolectó la data necesaria como las dimensiones del ambiente físico de la muestra, de igual manera se obtuvieron los datos respectivos de ubicación del recinto de estudio y sus características constructivas.
- Observación: Se recopiló las características climatológicas del ambiente de estudio donde se destaca la radiación solar, las temperaturas mínimas y máximas y las humedades relativas y absolutas promedio mensuales.

b. Instrumentos:

- Hoja de datos: Instrumento que se empleó para recopilar las características y propiedades físicas del ambiente de estudio (consultar Anexo 24, según corresponda).
- Cinta métrica flexible: Instrumento que se usó para la medición de distancias dentro del recinto de investigación en la visita preliminar de campo.
- Recibos de electricidad: Instrumentos usados para analizar los datos del consumo eléctrico mensual de la institución.
- Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2: Página web con base de datos meteorológicos de donde se obtuvo los datos necesarios de radiación solar para la ubicación en estudio.
- Ficha de observación: Instrumento que se usó para depositar las características climatológicas del ambiente de estudio (consultar Anexo 25, según corresponda).

3.3.5. Técnicas e instrumentos de procesamiento y análisis de los resultados

a. Técnicas:

- Análisis documental: Esta técnica se empleó para poder revisar de manera adecuada e interpretar los conceptos que sustentan las bases de la investigación.
- Procesamiento: Mediante esta técnica, los datos obtenidos durante el proceso de medición y recopilación de información se manipularon para organizarlos de acuerdo a los objetivos establecidos en la investigación.

b. Instrumentos:

- Guía de revisión documental: Se describió e interpretó de manera sistemática y cuantitativa el contenido revisado para la fundamentación de la investigación.
- Hojas de cálculo de Microsoft Excel: Estos instrumentos permitieron calcular matemáticamente las fórmulas descritas en la fundamentación teórica para el dimensionamiento del sistema y el cómputo de los indicadores establecidos.
- Documento de Microsoft Word: El presente instrumento permitió describir, analizar y fundamentar mediante un documento escrito el presente estudio para la presentación del informe final.
- Archivos de AutoCAD: Estos instrumentos se emplearon para dibujar el levantamiento arquitectónico del ambiente físico de estudio y su plano de ubicación, un diagrama unifilar eléctrico, así también se determinó la ubicación de los equipos del sistema en su conjunto en un plano referencial, entre otros.

3.3.6. Procedimiento de la investigación

- En un primer momento, se determinó la orientación cardinal, así como la longitud y latitud del ambiente físico en estudio. Estos datos fueron útiles para la determinación de la carga térmica y el dimensionamiento del sistema fotovoltaico relacionado. Se midió y obtuvo el área y volumen interno del ambiente físico, por otro lado, se determinó las propiedades y características físicas de los elementos constructivos del recinto (cerramientos y fenestraciones). A la par, se recopiló los valores de CLTD/SCL/CLF correspondientes. Con ello se calculó las cargas térmicas externas.
- A continuación, se recopiló información relacionada a las cargas térmicas internas (ocupantes, luminarias, motores y equipos diversos), para su posterior cálculo. En esa misma línea de ideas se computó las cargas térmicas debidas a la ventilación del recinto. Finalmente, se determinó la carga total de potencia de refrigeración total y la correspondiente potencia total de calefacción.
- Por otro lado, para el sistema fotovoltaico que suministra energía eléctrica al equipo de climatización, se recopiló la data de radiación solar desde la fuente virtual web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2., para su análisis y con ello se dimensionaron los componentes de dicho sistema, comenzando por la potencia y energía que suministra, luego la selección, cálculo y determinación

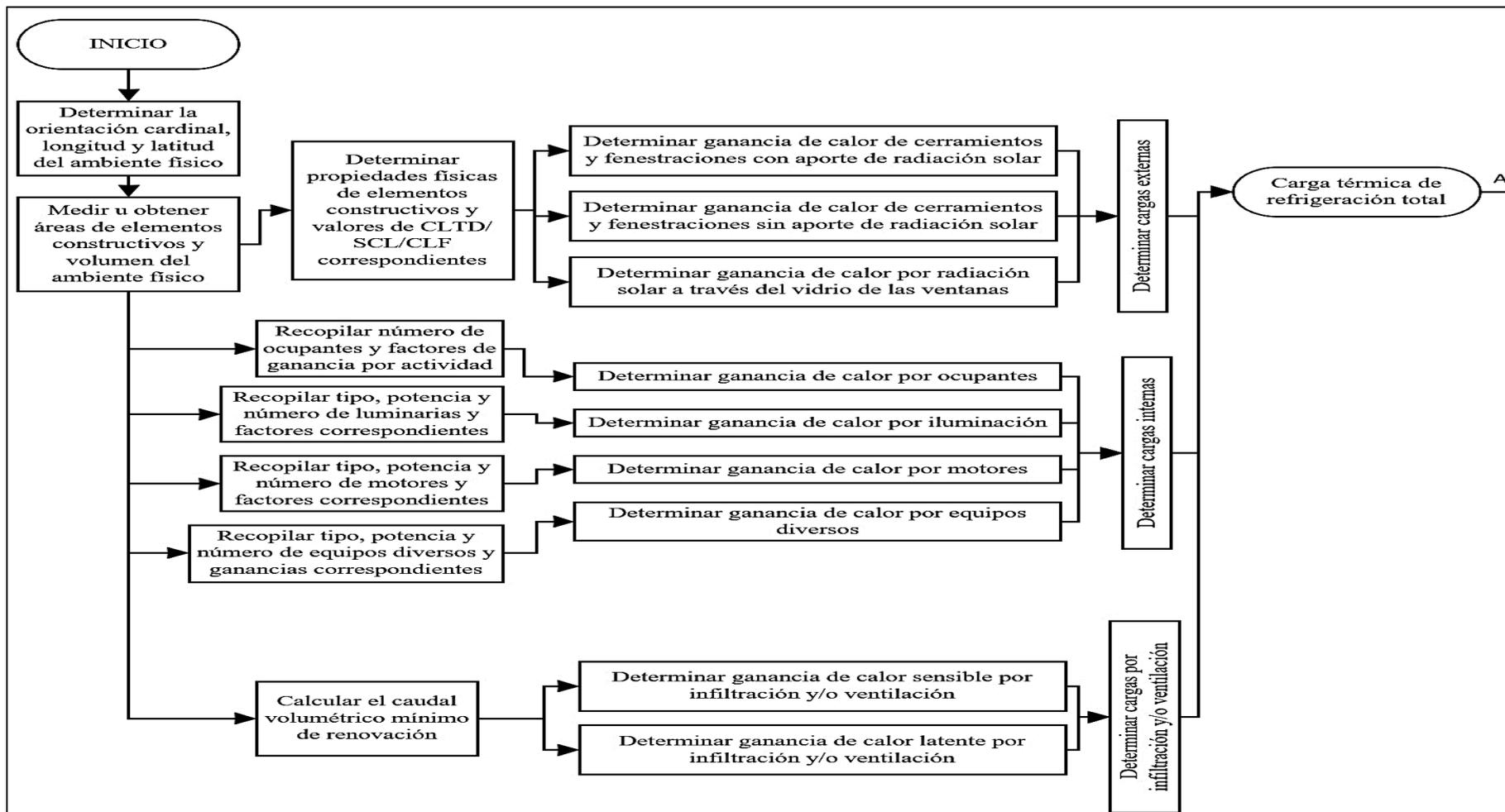
del arreglo fotovoltaico. Por último, se determinó los equipos auxiliares adecuados (conductores, equipos de protección, soportes, entre otros).

- Luego de ello, se calculó y estimó los indicadores técnicos, económicos y el equivalente de CO₂ correspondientes al sistema de acondicionamiento de aire suministrado eléctricamente por energía solar.
- Como último paso, conociendo los indicadores mencionados, se estudió la implementación de un sistema con fuente de energía solar fotovoltaica, para la climatización del ambiente físico analizado. Con ello se contrastó la hipótesis presentada.

El procedimiento descrito anteriormente, se puede ver graficado en el esquema de flujo de la Figura 25 y 26. Es necesario tener en cuenta que, para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se usó la carga térmica de refrigeración, dado que fue el valor máximo de energía requerida y la cual debe ser suministrada por el sistema solar de autoconsumo.

Figura 25

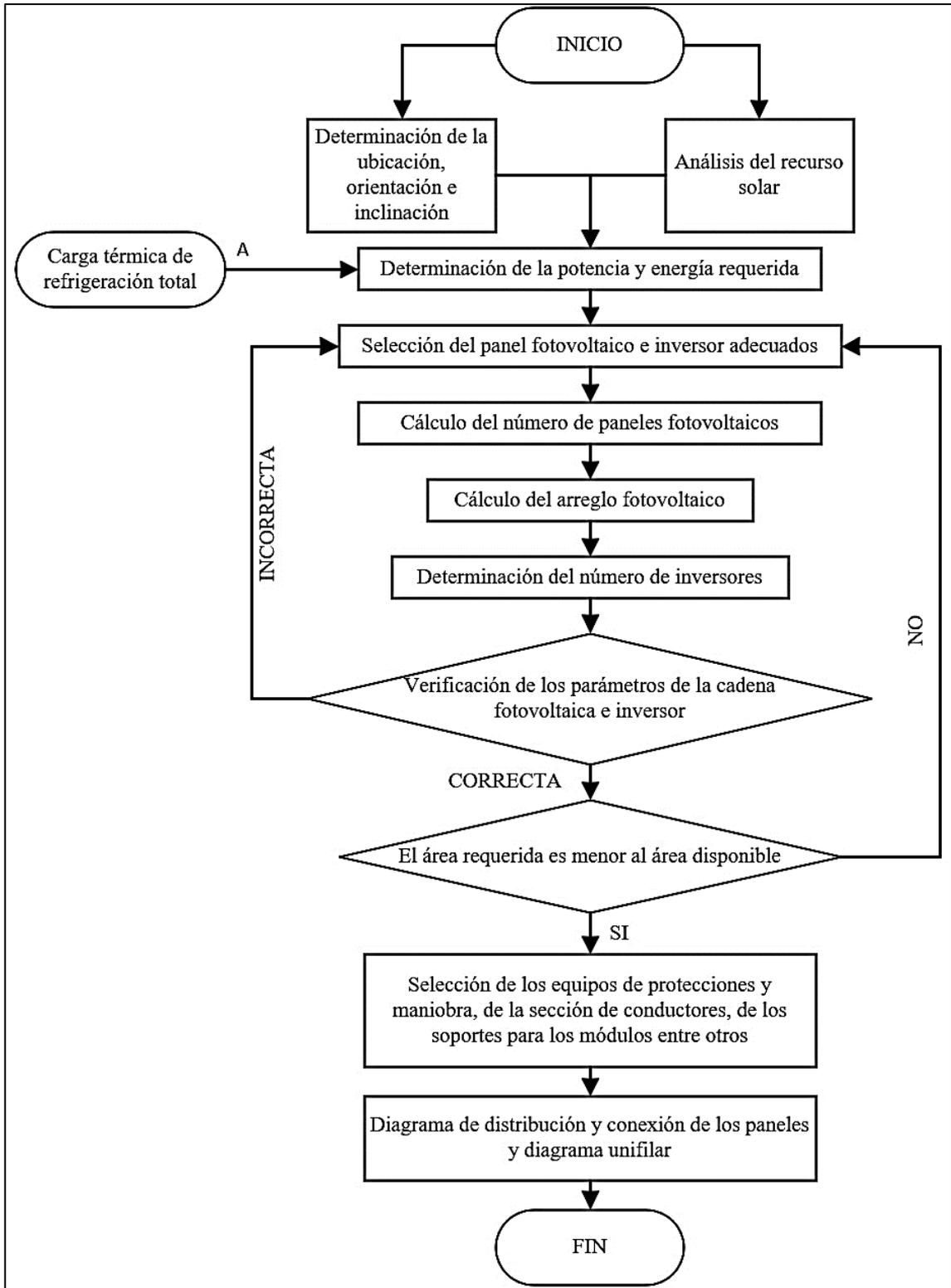
Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación parte A



Nota: La parte A, indica el procedimiento para el cómputo de la potencia térmica de refrigeración total.

Figura 26

Diagrama de flujo del procedimiento de la investigación parte B



Nota: La parte B, indica el procedimiento para el dimensionamiento del sistema de autoconsumo solar. Adaptado de Estudio del sistema fotovoltaico de autoconsumo con conexión a la red eléctrica y uso eficiente de energía del Instituto Blue Ribbon Internacional Cusco (p. 133), por V. Quispe y A. Poccori, 2021, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se describe a continuación los resultados obtenidos en la presente investigación, respetando el orden de los objetivos presentados en el Capítulo I.

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Carga térmica para la climatización del ambiente físico de estudio

Los datos que a continuación se muestran fueron recopilados durante el estudio preliminar de campo (visitas en campo), mencionado en el Capítulo III. La información recabada, se encuentra en el Anexo 24. En el cual se describió las características y propiedades físicas del ambiente de estudio. En primer lugar, se obtuvo las coordenadas geográficas del recinto, que se aprecia líneas abajo en la Tabla 4.

Tabla 4

Coordenadas geográficas y UTM WGS 84 del ambiente físico de estudio

Coordenadas geográficas	Coordenadas UTM WGS 84 (ZONA 17 S)
Latitud: 9° 7' 26'' Sur	Este: X = 773216.2
Longitud: 78° 30' 51'' Oeste	Norte: Y = 8990510.7

De igual manera se determinó la orientación cardinal de cada elemento constructivo dentro del ambiente físico de estudio. Estos datos se expresan en la Tabla 5.

Tabla 5

Orientación cardinal de los elementos constructivos del ambiente físico

Orientación cardinal de los elementos constructivos	
Pared 1	30° al Oeste desde el Sur
Pared 2	30° al Este desde el Norte
Pared 3	30° al Norte desde el Oeste
Pared 4	30° al Sur desde el Este
Puerta 1	30° al Oeste desde el Sur
Ventana 1	30° al Oeste desde el Sur
Ventana 2	30° al Este desde el Norte

La enumeración de los elementos constructivos guarda concordancia con el levantamiento del plano de planta del ambiente físico de estudio (consultar Anexo 54, según corresponda). En la Tabla 6 y Tabla 7, se presentan las dimensiones generales del recinto y de cada elemento constructivo respectivamente.

Tabla 6

Dimensiones externas e internas del ambiente físico de estudio

Dimensiones externas del recinto			Dimensiones internas del recinto		
Largo	7,51	m	Largo	7,17	m
Alto	3,54	m	Alto	3,00	m
Ancho	4,40	m	Ancho	3,78	m
Área	33,04	m ²	Área	27,10	m ²
Volumen	116,98	m ³	Volumen	81,31	m ³

Tabla 7

Dimensiones de cada elemento constructivo del ambiente físico de estudio

Tipo	LARGO (m)	ALTO (m)	ANCHO (m)	ÁREA (m ²)	VOLUMEN (m ³)
Cerramiento					
Pared 1	4,40	3,54	0,17	15,58	2,65
Pared 2	4,40	3,54	0,17	15,58	2,65
Pared 3	7,51	3,54	0,26	26,59	6,91
Pared 4	7,51	3,54	0,26	26,59	6,91
Piso	7,51	4,40	0,27	33,04	8,92
Techo	7,51	4,40	0,27	33,04	8,92
Fenestración					
Puerta 1	1,18	2,05	0,08	2,42	0,19
Ventana 1	3,60	0,76	0,08	2,74	0,22
Ventana 2	3,60	1,95	0,08	7,02	0,56

Es importante mencionar los materiales de construcción que conforman cada elemento constructivo y como estos se encuentran distribuidos. Los materiales y su descripción, se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8

Materiales de construcción de cada elemento constructivo del ambiente

Tipo	Descripciones de los materiales de construcción y capas
Cerramiento	
Pared 1	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de sogá y mortero interior y exterior.
Pared 2	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de sogá y mortero interior y exterior.
Pared 3	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de cabeza y mortero interior y exterior.
Pared 4	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de cabeza y mortero interior y exterior.
Piso	Losa aligerada, con ladrillo de techo de arcilla, viguetas y recubrimiento.
Techo	Losa aligerada, con ladrillo de techo de arcilla, viguetas y recubrimiento.
Fenestración	
Puerta 1	Puerta batiente de madera con marco de madera
Ventana 1	Ventana alta con vidrio simple, con marco de madera, sin cortinas.
Ventana 2	Ventana baja con vidrio simple, con marco de madera, con cortinas oscuras.

a. Parámetros para determinar las cargas externas

El espesor de cada capa de los elementos constructivos, así como sus propiedades higrométricas se encuentran tabulados en el Anexo 26. Con dicha información se calculó el coeficiente global de transferencia de calor U ($W/m^2\text{°C}$), para cada cerramiento. El procedimiento para realizar los cálculos del valor de U , se mencionó en el Capítulo II, en el apartado de climatización. Dentro de este orden de ideas, los valores de U para cada cerramiento se muestran en la Tabla 9.

En sintonía con lo expuesto en el párrafo anterior, es necesario determinar el valor U para las fenestraciones del ambiente físico. Dichos valores se presentan en la Tabla 10, extraída del Anexo 27, en la cual al mismo tiempo se puede observar el coeficiente de sombra o SC .

Tabla 9*Coefficiente global de transferencia de calor U para cada cerramiento*

Cerramiento	Coeficiente global de transferencia de calor U (W/m ² °C)	
	Periodo de verano	Periodo de invierno
Pared 1	3,59	3,78
Pared 2	3,59	3,78
Pared 3	2,42	2,42
Pared 4	2,42	2,42
Piso	1,20	1,07
Techo	1,30	1,24

Tabla 10*Coefficiente global de transferencia de calor U y SC para cada fenestración*

Fenestración	U (W/m ² °C)	SC (Adimensional)
Puerta 1	3,50	No aplica
Ventana 1	5.20	1,00
Ventana 2	5.20	0,25

b. Parámetros para determinar las cargas por ventilación

Las cargas debidas a la ventilación del ambiente físico, se determinaron por el caudal mínimo de ventilación. Para ello, se empleó el método de la tasa mínima de ventilación, considerando 5 personas dentro del ambiente y un área superficial interior de 27,10 m². Los resultados se presentan en la Tabla 11.

Tabla 11*Caudal volumétrico de renovación para los periodos del año*

Periodo del año	Verano	Invierno
Caudal volumétrico de renovación (L/s)	20,63	41,26

c. Parámetros para determinar las cargas internas

Las cargas internas se clasifican por ocupantes, iluminación, motores y equipos diversos que se encuentran dentro del recinto. Sus respectivos factores para el cálculo de su aporte térmico, se aprecian en las siguientes tablas.

– Ocupantes:

Tabla 12

Factores que afectan la carga interna por ocupantes

Tipo de actividad	Descripción	Nº de personas	Factor sensible (W/persona)	CLF sensible	Factor latente (W/persona)
1	Sentado, trabajo muy ligero	5	70,00	1,00	45,00

– Iluminación:

Tabla 13

Factores que afectan la carga interna por iluminación

Tipo de luminaria	Descripción	Número de luminarias	Potencia (W)	Ful	Fsa	CLF iluminación
1	Luminaria LED SL-226 2x24 W	3	24,00	1,00	1,00	1,00

– Motores:

Tabla 14

Factores que afectan la carga interna por motores

Tipo de motor	Descripción	Número de motores	Potencia (W)	Eficiencia del motor	F _{UM}	F _{LM}	CLF motores
1	Ventilador de pedestal	1	50,00	0,65	0,70	1,00	1,00

– **Equipos diversos:**

Tabla 15

Factores que afectan la carga interna por equipos diversos

Tipo de equipo	Descripción	Número de equipos	Potencia de placa (W)	Pico de ganancia de calor (W)	CLF equipo diverso
1	Computadora de escritorio 3.5 GHz procesador, 8 GB RAM	1	NA	42,00	1,00
2	Computadora de escritorio 3.2 GHz procesador, 8 GB RAM	2	NA	61,00	1,00
3	Computadora de escritorio 1.6 GHz procesador, 4 GB RAM	1	384,00	65,00	1,00
4	Laptop 1.6 GHz procesador, 4 GB RAM	1	NA	59,00	1,00
5	Monitor LG 24M38H-B (24")	3	22,80	17,00	1,00
6	Cargador de celular	5	NA	5,00	1,00
7	Impresora EPSON L606	1	72,00	11,00	1,00
8	Impresora EPSON LX 300 II	1	23,00	3,00	1,00
9	Televisor SAMSUNG 49" K6500A Full HD Curvo Smart TV	1	110,00	48,00	1,00
10	Cámara de seguridad DS 2 CV 2 Q2 1 F D I W DVR (Digital Video Recorder)	1	7,00	1,00	1,00
11	Recorder) para cámara de seguridad	1	600,00	100,00	1,00

d. Condiciones de diseño para determinar la carga térmica

Las condiciones de diseño son un punto primordial, para determinar la carga térmica de un recinto, ya sea para refrigeración o para calefacción. Es por ello, que teniendo en cuenta la teoría mencionada en el Capítulo II, se estableció parámetros congruentes con lo expresado por Chumbiray (2021). Es de esta forma que las condiciones establecidas para determinar la carga térmica como la temperatura de diseño y la humedad relativa de diseño, se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16*Condiciones de diseño para los periodos de verano e invierno*

PERIODO	T_{id} (°C)	Humedad Relativa (%)	Humedad Absoluta (kg de vapor de agua/kg de aire seco)
Verano	24,5	50%	0,0095868
Invierno	22,0	50%	0,0082250

Debe agregarse además que es necesario recopilar los valores de la temperatura, humedad relativa y humedad absoluta para cada mes del año. Dichos valores corresponden a las características climatológicas del distrito de Nuevo Chimbote y se enumeran en la Tabla 17.

De la Tabla 17, podemos observar que el mes con la temperatura más alta es el mes de febrero. Por otro lado, el mes con la menor temperatura es setiembre. En la Figura 27, se puede apreciar de una mejor manera el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa para el distrito de Nuevo Chimbote.

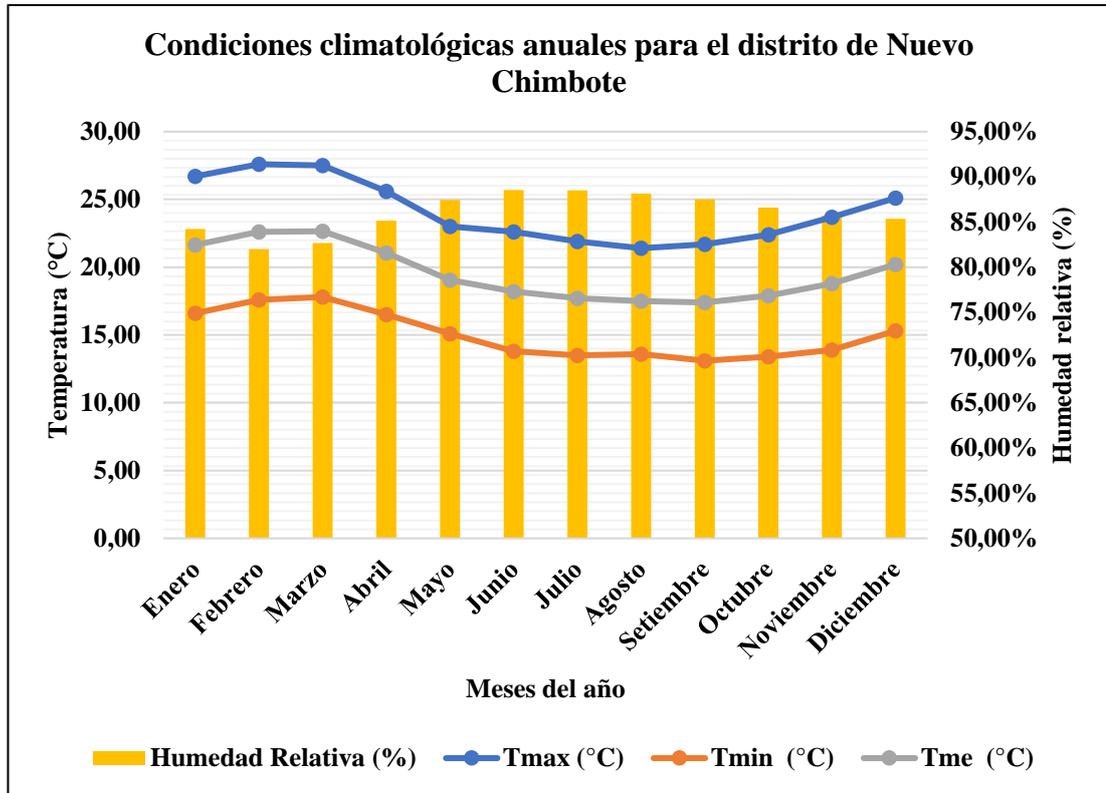
Tabla 17*Condiciones ambientales anuales para el distrito de Nuevo Chimbote*

MESES	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	T_{me} (°C)	Humedad Relativa (%)	Humedad Absoluta (kg de vapor de agua/kg de aire seco)
Enero	26,70	16,60	21,65	84,22%	0,0186645
Febrero	27,60	17,60	22,60	82,00%	0,0191727
Marzo	27,50	17,80	22,65	82,68%	0,0192204
Abril	25,60	16,50	21,05	85,14%	0,0176529
Mayo	23,00	15,10	19,05	87,44%	0,0093520
Junio	22,60	13,80	18,20	88,54%	0,0086969
Julio	21,90	13,50	17,70	88,50%	0,0085225
Agosto	21,40	13,60	17,50	88,14%	0,0085436
Setiembre	21,70	13,10	17,40	87,52%	0,0082068
Octubre	22,40	13,40	17,90	86,59%	0,0082812
Noviembre	23,70	13,90	18,80	85,72%	0,0158196
Diciembre	25,10	15,30	20,20	85,36%	0,0171671

Nota: Tomado y adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2023).

Figura 27

Condiciones ambientales anuales para el distrito de Nuevo Chimbote



Nota: Tomado y adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2023).

e. Grupos constructivos para el CLTD

Las características constructivas del techo del recinto se asemejan al grupo constructivo N° 12 (consultar Anexo 7, según corresponda). Del mismo modo, para las paredes que dan al exterior y tienen contacto con el sol (Pared 1 y Pared 2), el grupo constructivo que le corresponde es el muro tipo C (consultar Anexo 8, según corresponda). Es necesario indicar que para la Pared 1 se emplearon los valores de CLTD con la orientación NO y para la Pared 2, la orientación SE. Esto se debe a que la tabla tiene valores tabulados para el hemisferio norte. Para ambientes que se encuentran en el hemisferio sur, es necesario encontrar las equivalencias a sus respectivas orientaciones. Estas equivalencias se pueden observar en la Tabla 18. Con respecto a los valores de CLTD para las ventanas, estos no se modifican por el valor de corrección de latitud y longitud (consultar Anexo 10, según corresponda). En la Figura 28 podemos apreciar el CLTDc para el mes de febrero.

Tabla 18

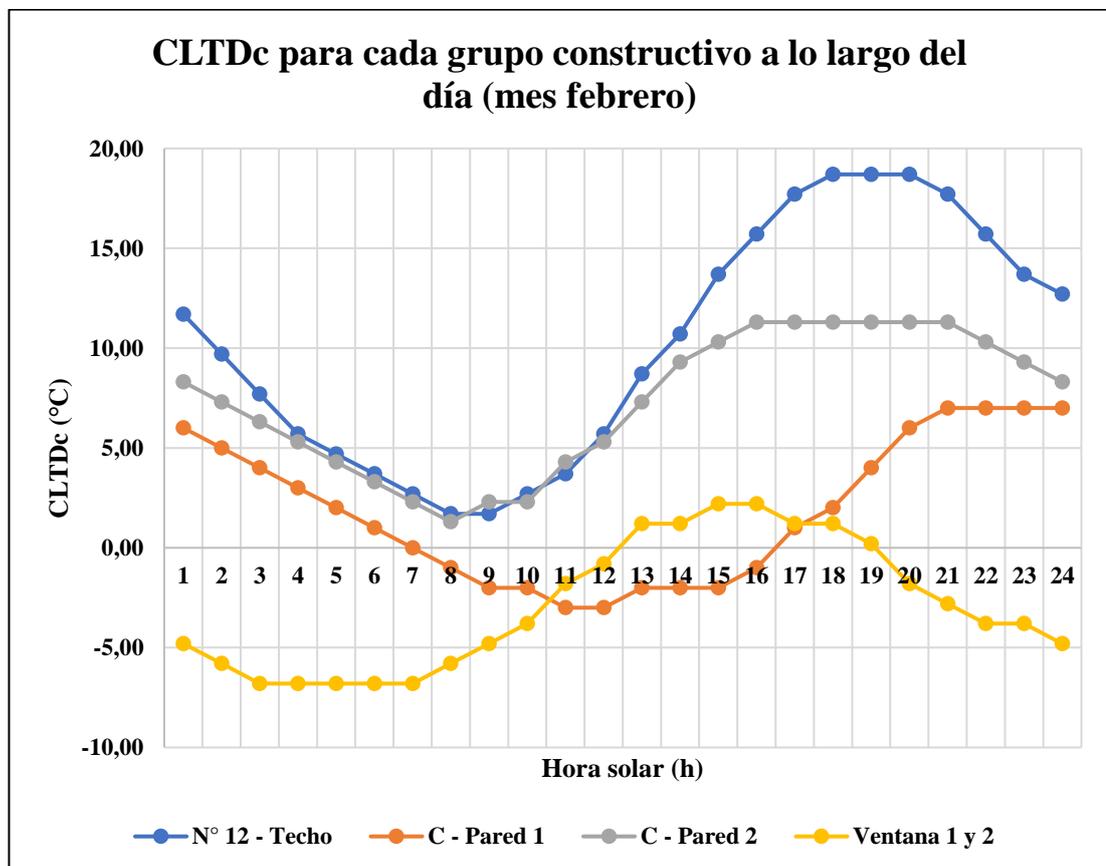
Equivalencias de orientación entre el hemisferio norte y sur

Orientación en el hemisferio norte	Orientación en el hemisferio sur
Noreste	Sureste
Este	Este
Sureste	Noreste
Sur	Norte (sombra)
Suroeste	Noroeste
Oeste	Oeste
Noroeste	Suroeste
Norte (sombra)	Sur

Nota: Tomado y adaptado de Metodología de diseño de un sistema todo-aire para el control de humedad en un almacén (p. 14), por P. Ramos, 2017. Universidad de Piura.

Figura 28

CLTDc para cada grupo constructivo a lo largo del día (mes febrero)



El valor de CLTD se corrigió para la latitud y mes correspondiente (consultar Anexo 11, según corresponda). Los valores recogidos se presentan en la Tabla 19. Además, el valor de K para el techo y los muros se ha considerado 1,00 para todos los meses.

Tabla 19

Corrección del CLTD por latitud y mes (LM)

Corrección LM	Horizontal	Paredes exteriores	
Meses	Techo	Pared 1	Pared 2
Enero	-2,2	-2,7	3,3
Febrero	-0,5	-2,2	1,1
Marzo	0,0	-1,1	-1,6
Abril	-0,5	1,1	-3,8
Mayo	-1,1	2,7	-5,0
Junio	-1,1	3,3	-5,0
Julio	-1,1	2,7	-5,0
Agosto	-0,5	1,1	-3,8
Setiembre	0,0	-1,1	-1,6
Octubre	-0,5	-2,2	1,1
Noviembre	-2,2	-2,7	3,3
Diciembre	-2,7	-3,3	4,4

En la Figura 28 se muestra el valor del CLTDc para el mes de febrero. Se escogió mostrar dicho mes al presentar la carga térmica máxima a lo largo del año. En los demás meses de verano el CLTDc mostró un comportamiento similar. Del Anexo 12, se determinó el valor de la Carga de enfriamiento solar (SCL), a través del vidrio de cada ventana. Con respecto a ello, para la Ventana 1, se seleccionó la orientación SO, mientras que para la Ventana 2, la orientación NE. Es así que se recogió los aportes solares para cada mes del año (consultar Anexo 28, según corresponda).

Con los datos calculados y tabulados, se procedió a determinar la carga térmica de refrigeración y de calefacción para cada mes del año. Se considero que los meses de verano corresponden desde noviembre hasta abril, mientras que los meses de invierno van desde mayo a octubre.

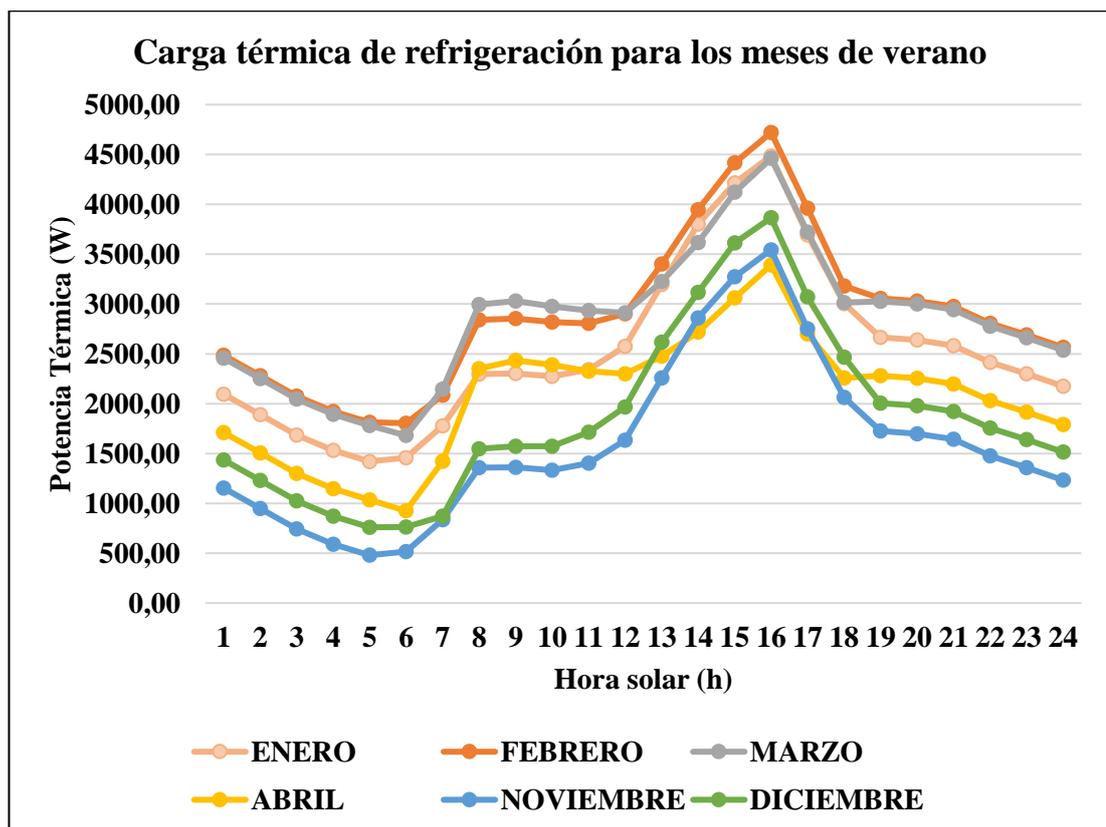
f. Carga térmica a lo largo del año

En un primer momento se determinaron los aportes por las cargas externas. Luego se determinó el aporte por ventilación, y finalmente el aporte por las cargas internas (consultar Anexo 29, según corresponda).

Conociendo los aportes de cada tipo de carga térmica, se calculó la carga térmica diaria típica para cada mes. El comportamiento para los meses de verano muestra valores mínimos y máximos como se puede ver en la Figura 29. Por otro lado, la carga térmica de calefacción muestra valores constantes a lo largo del día, esto debido a las consideraciones desarrolladas por Spitler (2014), y adoptadas en la investigación. Su comportamiento se puede observar en la Figura 30.

Figura 29

Carga térmica de refrigeración para los meses de verano

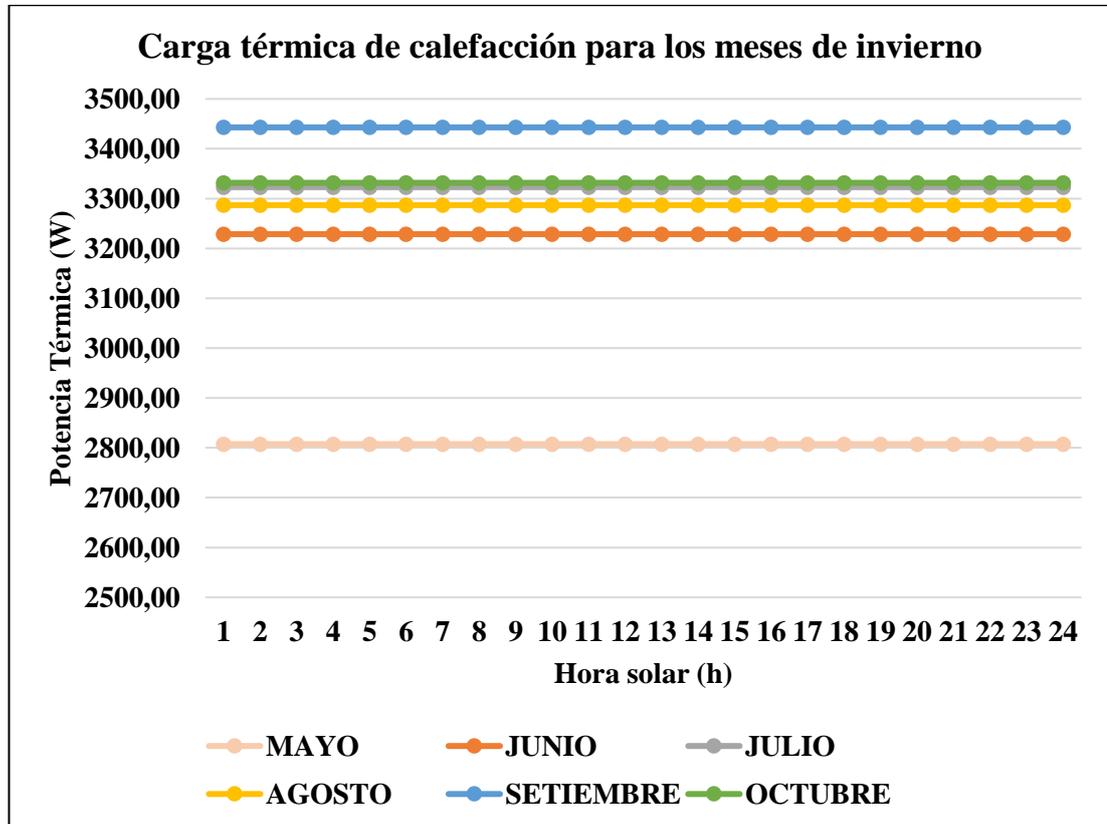


El comportamiento a través del día para la carga de refrigeración mensual muestra un valor mínimo alrededor de las 5 y 6 am (hora solar), justo antes de que el sol aparezca en el firmamento. Por otro lado, su valor máximo se relaciona a las 4 pm (hora solar), esto debido a que, a lo largo del día, el calor absorbido por el envolvente del edificio se va disipando en el ambiente interior. Este hecho aumenta significativamente la

necesidad de desalojar el calor interno del recinto, (carga de refrigeración), para lograr el confort térmico dentro del mismo.

Figura 30

Carga térmica de calefacción para los meses de invierno



En lo que respecta a la carga de calefacción, es evidente que su comportamiento no varía debido a que no existen variaciones de temperatura del exterior a lo largo del día, además las aportaciones de cargas internas son descartadas. Se evita también considerar las contribuciones debidas a la radiación solar.

Los valores horarios de carga térmica de calefacción o refrigeración para cada mes del año se encuentran tabulados en el Anexo 30. Sin embargo, más allá de conocer su comportamiento diario, un punto más importante es identificar su valor máximo a lo largo del año. Esto importa y por muchas razones, pues dicho valor es esencial para dimensionar la capacidad del equipo de aire acondicionado que permita climatizar el ambiente físico de estudio. Dentro de este orden de ideas, en la Tabla 20, se muestra los picos de potencia térmica que se requieren para cada mes.

Tabla 20*Carga térmica mensual a lo largo del año*

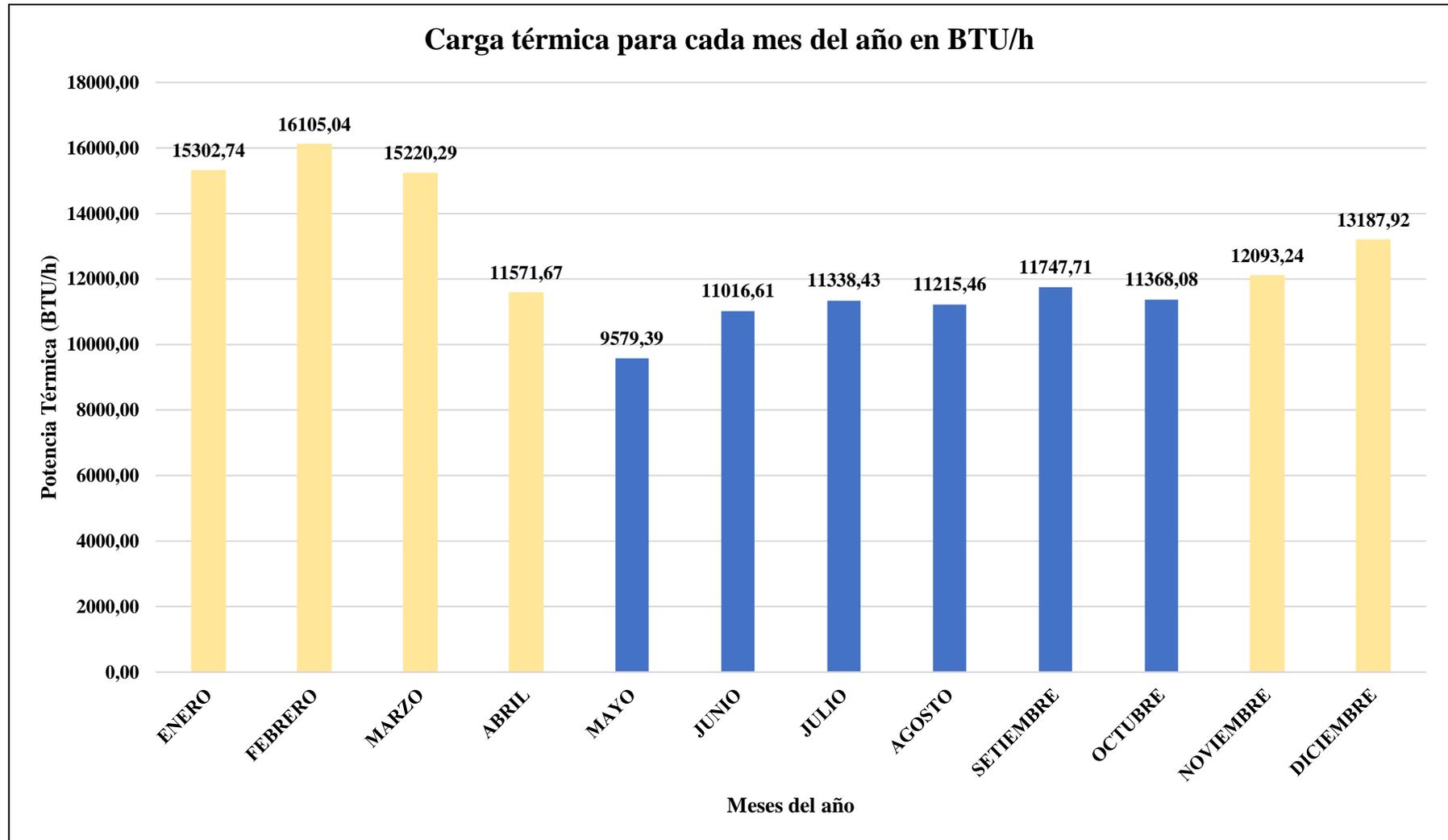
Meses	Carga térmica	
	(W)	(BTU/h)
Enero	4484,79	15302,74
Febrero	4719,92	16105,04
Marzo	4460,63	15220,29
Abril	3391,32	11571,67
Mayo	2807,44	9579,39
Junio	3228,65	11016,61
Julio	3322,97	11338,43
Agosto	3286,93	11215,46
Setiembre	3442,92	11747,71
Octubre	3331,66	11368,08
Noviembre	3544,18	12093,24
Diciembre	3865,00	13187,92

De la Tabla 20, podemos apreciar que de los meses de verano (noviembre – abril), el mes con mayor necesidad de carga térmica de refrigeración es el mes de febrero, con un valor de 4719,92 W o 16105,04 BTU/h. El resultado se corresponde con la temperatura máxima registrada en la Tabla 17. En lo que corresponde a los meses de invierno (mayo – octubre), la carga térmica de calefacción máxima se localiza en el mes de setiembre siendo de 3442,92 W o 11747,71 BTU/h. De igual forma se corresponde con la mínima temperatura registrada en la Tabla 17.

En la Figura 31, podemos apreciar el comportamiento de la carga térmica a lo largo de del año. El color crema para las barras indica que es una carga en los meses de verano, por el contrario, el color azul indica una carga para los meses de invierno. Se evidencia que la capacidad del equipo de aire acondicionado a escoger, debe ser mayor a 16105,04 BTU/h, siendo el valor comercial superior más cercano el de 18000 BTU/h. Un equipo de aire acondicionado de esa capacidad, se encuentra en la categoría residencial o comercial. Es necesario indicar que el equipo debe contar con la función frío/calor, que permita la refrigeración y calefacción del ambiente según se requiera.

Figura 31

Carga térmica para cada mes del año en BTU/h



4.1.2. Dimensionamiento de los componentes del sistema

En el apartado anterior, se definió la capacidad del equipo de aire acondicionado para la climatización del ambiente físico en estudio. En el presente apartado, se muestra el proceso ejecutado para dimensionar los componentes que suministran de energía a dicho equipo de climatización.

Para comenzar, se determinó la inclinación más apropiada, para el máximo aprovechamiento anual del sistema fotovoltaico. Las coordenadas geográficas correspondientes al ambiente de estudio se encuentran en la Tabla 4. Sin embargo, para conocer la inclinación óptima, usando la Ecuación 27, se necesitan las coordenadas geográficas en valores decimales. Es por ello que, las coordenadas convertidas y la inclinación escogida se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Coordenadas geográficas e inclinación para el arreglo fotovoltaico

Coordenadas geográficas	Inclinación del arreglo fotovoltaico
Latitud: -9,1238 °	$\beta_{opt} = 10^\circ$
Longitud: -78,5142 °	$\beta = 15^\circ$

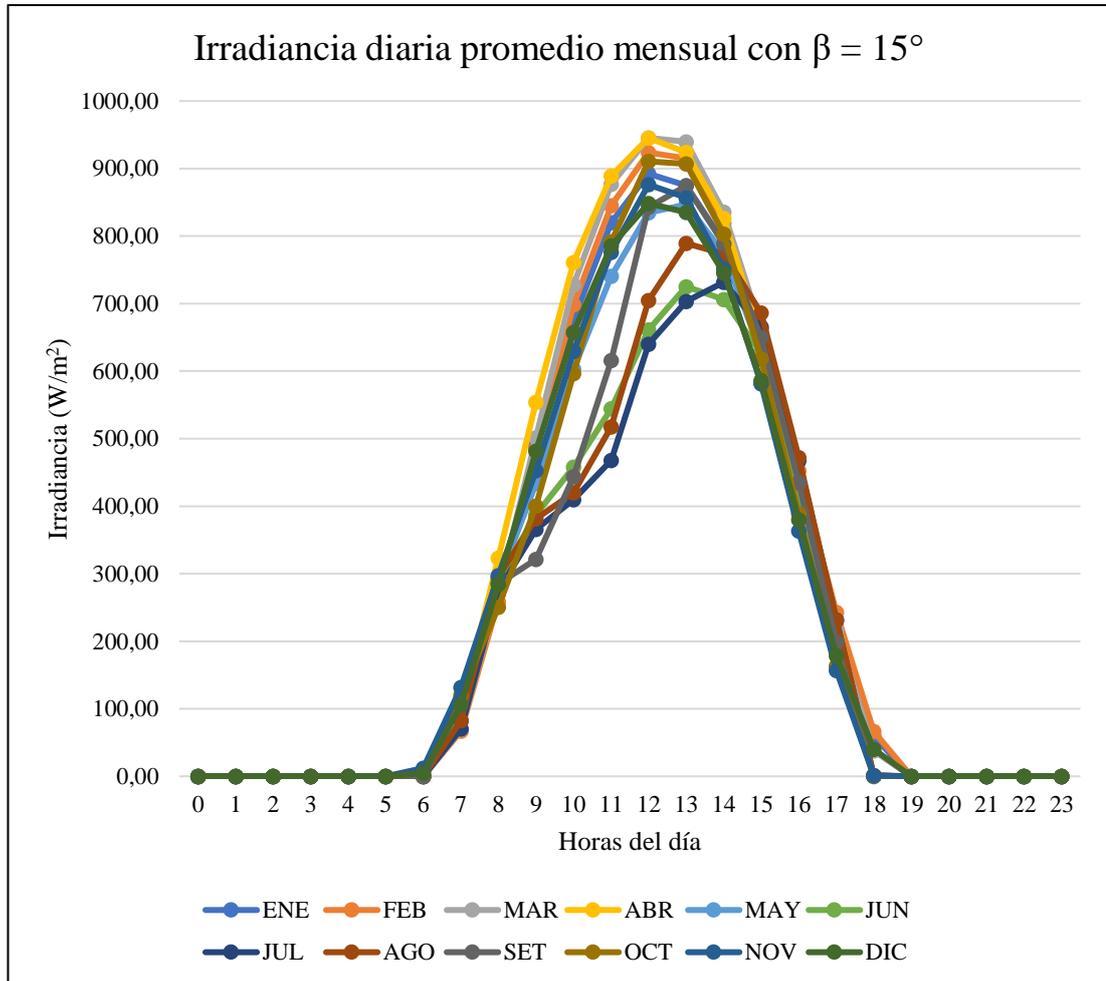
A pesar que el ángulo de inclinación óptimo calculado fue de 10°, se escogió el valor de 15° de inclinación, teniendo en cuenta que, para las labores de mantenimiento es necesario tener un adecuado acceso al espacio entre el panel fotovoltaico y la superficie donde se instala. Por otro lado, teniendo en cuenta que la instalación se encuentra en el hemisferio sur, la recomendación básica es orientar al norte los paneles fotovoltaicos.

a. Análisis del recurso solar

Los valores de radiación solar fueron extraídos de la Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2., (datos diarios), para la ubicación establecida en la Tabla 21. La base de datos de radiación usada fue PVGIS-NSRDB. Los datos se analizaron para conocer su comportamiento mensual a lo largo del año. La data recopiló los valores de irradiancia desde el año 2005 hasta el año 2015 (11 años). Los valores mensuales mencionados se aprecian en la Figura 32.

Figura 32

Irradiancia diaria promedio mensual con $\beta=15^\circ$



Nota: Tomado y adaptado de la Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2. European Commission (2022).

De la Figura 32, podemos mencionar que la irradiancia diaria promedio mensual con el ángulo de inclinación igual a 15° , toma valores muy cercanos a 1000 W/m^2 para los meses de verano, alcanzando un valor máximo de $945,41 \text{ W/m}^2$ en marzo. En contraposición, el mes en la época de invierno, con el menor pico de irradiancia es junio, con un valor de $725,23 \text{ W/m}^2$ (consultar Anexo 31, según corresponda).

El ángulo azimutal de superficie escogido para la instalación fue de 180° (orientación al norte) como explica Duffie et al. (2020). Luego de recopilar la información y conociendo los datos de irradiancia, se obtuvo los valores de irradiación diaria promedio mensual. Estos datos se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22*Irradiación diaria promedio mensual para el ambiente de estudio*

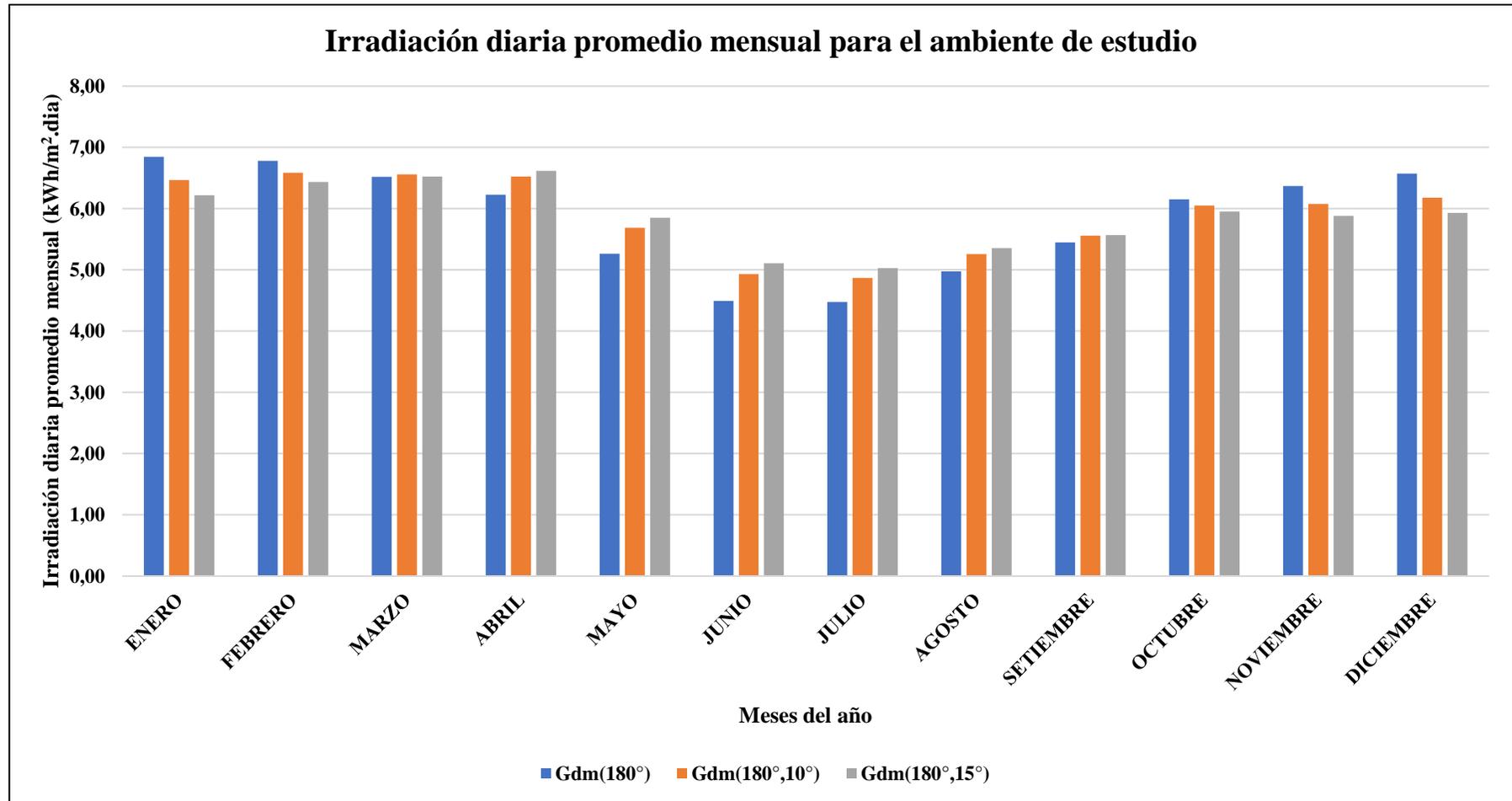
MESES	Irradiación diaria promedio mensual (kWh/m ² .día)		
	Gdm (180°)	Gdm (180°,10°)	Gdm (180°,15°)
Enero	6,85	6,46	6,22
Febrero	6,78	6,59	6,44
Marzo	6,52	6,56	6,53
Abril	6,23	6,52	6,61
Mayo	5,26	5,69	5,85
Junio	4,49	4,93	5,11
Julio	4,47	4,87	5,03
Agosto	4,98	5,26	5,35
Setiembre	5,45	5,56	5,57
Octubre	6,15	6,05	5,95
Noviembre	6,37	6,08	5,88
Diciembre	6,57	6,18	5,93
Mínimo anual	4,47	4,87	5,03
Máximo anual	6,85	6,59	6,61
Promedio anual	5,84	5,90	5,87
Desviación Estándar	0,87	0,63	0,53

Nota: Tomado y adaptado de la Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2., European Commission (2022). Donde: Gdm (180°): Irradiación diaria promedio mensual sobre un plano horizontal en (kWh/m².día); Gdm (180°,10°): Irradiación diaria promedio mensual sobre un plano inclinado con su ángulo óptimo 10° en (kWh/m².día) y Gdm (180°,15°): Irradiación diaria sobre el plano inclinado un ángulo 15° y orientado un ángulo azimutal de superficie 180° en (kWh/m².día)

En la Figura 33, podemos apreciar el comportamiento a lo largo del año de la irradiación diaria promedio mensual incidente en el ambiente de estudio, para un plano horizontal, un plano inclinado de 10° y un plano inclinado de 15°. Para el ángulo de 15° de inclinación tenemos un máximo valor de la irradiación diaria promedio mensual para el mes de abril (6,61 kWh/m².día), y un valor mínimo de la misma en el mes de julio (5,03 kWh/m².día). Para el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico se tomó el valor de irradiación diaria promedio mensual mínimo, siendo de 5,03 kWh/m².día o también se puede expresar como 5,03 HSP.

Figura 33

Irradiación diaria promedio mensual para el ambiente de estudio



Nota: Tomado y adaptado de la Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2., European Commission (2022).

b. Requerimiento diario de energía del sistema

En la actualidad los equipos de aire acondicionado del tipo Split, son altamente eficientes y cuentan con sistemas inverter. Los sistemas inverter permiten respuestas más rápidas para los cambios bruscos de temperatura o necesidades de confort térmico del recinto. Por otro lado, trabajar en virtud de disminuir las contribuciones o emisiones de CO₂, hace conveniente buscar un equipo con un refrigerante ecológico, como el R-410A.

El equipo de aire acondicionado debe tener la capacidad de proveer de potencia de refrigeración y calefacción a lo largo del año. En la ficha técnica del equipo seleccionado (consultar Anexo 39, según corresponda), se mencionan todas las características del equipo de climatización escogido. Sin embargo, en la Tabla 23 se mencionan los parámetros más importantes para el cálculo del requerimiento diario de energía.

Tabla 23

Especificaciones técnicas del equipo de aire acondicionado

Especificaciones	Valor
Marca	LG
Modelo	VM182H8
Capacidad de enfriamiento	17072 BTU/h (5,00 kW)
Capacidad de calefacción	19804 BTU/h (5,80 kW)
Potencia de entrada en enfriamiento	1,587 kW
Potencia de entrada en calefacción	1,611 kW
Alimentación eléctrica (Fase/Voltaje/Frecuencia)	1 Ø / 220 V / 60 Hz

Nota: Tomado y adaptado de la ficha técnica del equipo (consultar Anexo 39, según corresponda).

Para determinar el requerimiento de energía diaria, se solicitó conocer el horario de atención de la Jefatura de Unidad Administrativa de la EESPPCH. Dicho horario se encuentra entre la 8:00 am hasta las 4:00 pm, y solo atienden de lunes a viernes. Esta información fue muy valiosa, porque permitió establecer el tiempo de funcionamiento del equipo de aire acondicionado. Con ello, se calculó el requerimiento diario y mensual de energía. En un primer momento se computó el requerimiento diario, y a

continuación se determinó el número de días al mes de atención, para obtener el requerimiento mensual. Estos datos los apreciamos en la Tabla 24 y Tabla 25.

Tabla 24

Requerimiento diario de energía del equipo de aire acondicionado

Ítem	Descripción	Potencia (kW)	Tiempo de funcionamiento (h/día)	Energía diaria Wd (kWh/día)
1	Equipo de Aire Acondicionado de 18000 BTU/h Calefacción (invierno)	1,611	8	12,89
	Equipo de Aire Acondicionado de 18000 BTU/h Refrigeración (verano)	1,587	8	12,70

Tabla 25

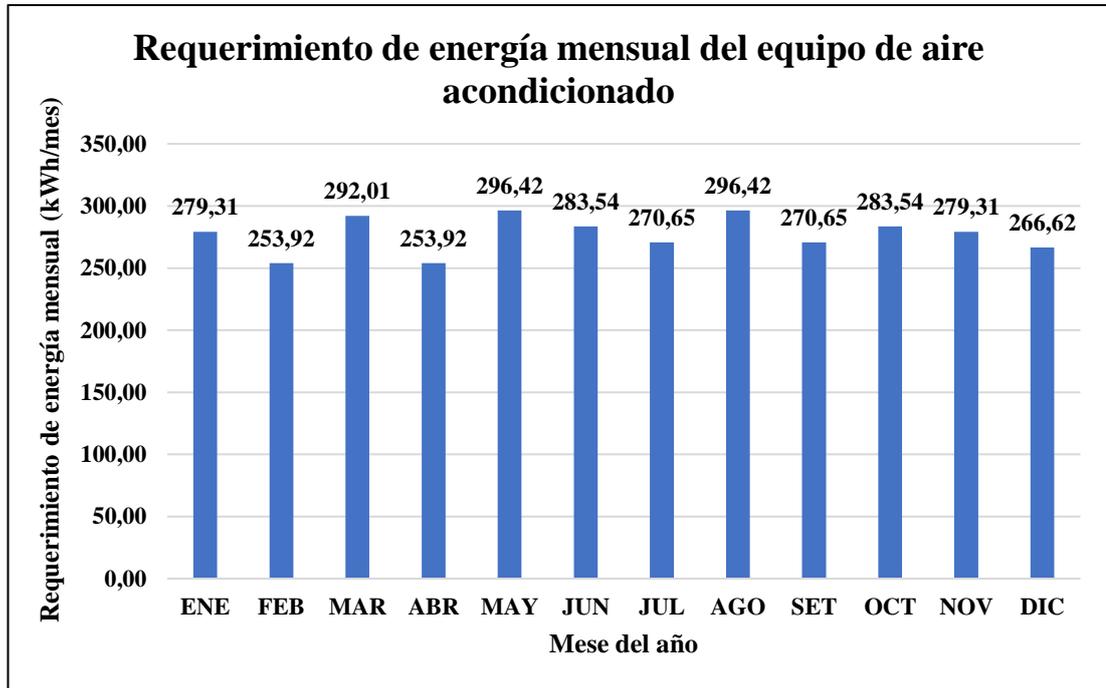
Requerimiento mensual de energía del equipo de aire acondicionado

MESES	Días de atención al mes	Wd (kWh/día)	Wm (kWh/mes)
Enero	22	12,70	279,31
Febrero	20	12,70	253,92
Marzo	23	12,70	292,01
Abril	20	12,70	253,92
Mayo	23	12,89	296,42
Junio	22	12,89	283,54
Julio	21	12,89	270,65
Agosto	23	12,89	296,42
Setiembre	21	12,89	270,65
Octubre	22	12,89	283,54
Noviembre	22	12,70	279,31
Diciembre	21	12,70	266,62

El requerimiento mensual de energía del equipo de aire acondicionado, es variable a lo largo del año. De la Figura 34, podemos apreciar que los meses con el menor requerimiento energético son febrero y abril con 253.92 kWh/mes. Por otro lado, los meses con el mayor requerimiento de energía son mayo y agosto con 296,42 kWh/mes.

Figura 34

Requerimiento mensual de energía del equipo de aire acondicionado



c. Rendimiento energético del sistema

El rendimiento energético se determinó al delimitar las principales pérdidas del sistema, tomando valores estándar. Las cuales se presentan en la Tabla 26.

Tabla 26

Principales pérdidas del sistema de autoconsumo solar

Factor de pérdidas	Valor
Pérdidas por dispersión de los parámetros eléctricos de los módulos fotovoltaicos	96,00%
Pérdidas por polvo y suciedad	97,00%
Pérdidas angulares y espectrales	97,00%
Pérdidas en el cableado	98,90%
Pérdidas en el equipo inversor de conexión a red	98,20%
Pérdidas por no rastreo del punto de potencia máxima del arreglo fotovoltaico	99,90%
Pérdidas por otros aspectos no considerados	99,00%
	$\prod_{i=1}^{N_{\eta}} \eta_i$ 86,76%

Nota: La tabla muestra las principales pérdidas de un sistema de autoconsumo solar. Tomado de Instalaciones solares fotovoltaicas (pp. 183-184), por A Castejón y G. Santamaría, 2010, Editex.

A continuación, se buscó calcular la eficiencia relativa del panel fotovoltaico, la cual varía según la temperatura máxima del ambiente, la irradiancia del día y el coeficiente de potencia del panel escogido. A lo largo del año, en la Tabla 27, se presentan los valores del PR_0 . Para ello es necesario recordar las especificaciones de las condiciones NOCT. De igual forma se determinó los valores de PR mensuales y su valor promedio anual.

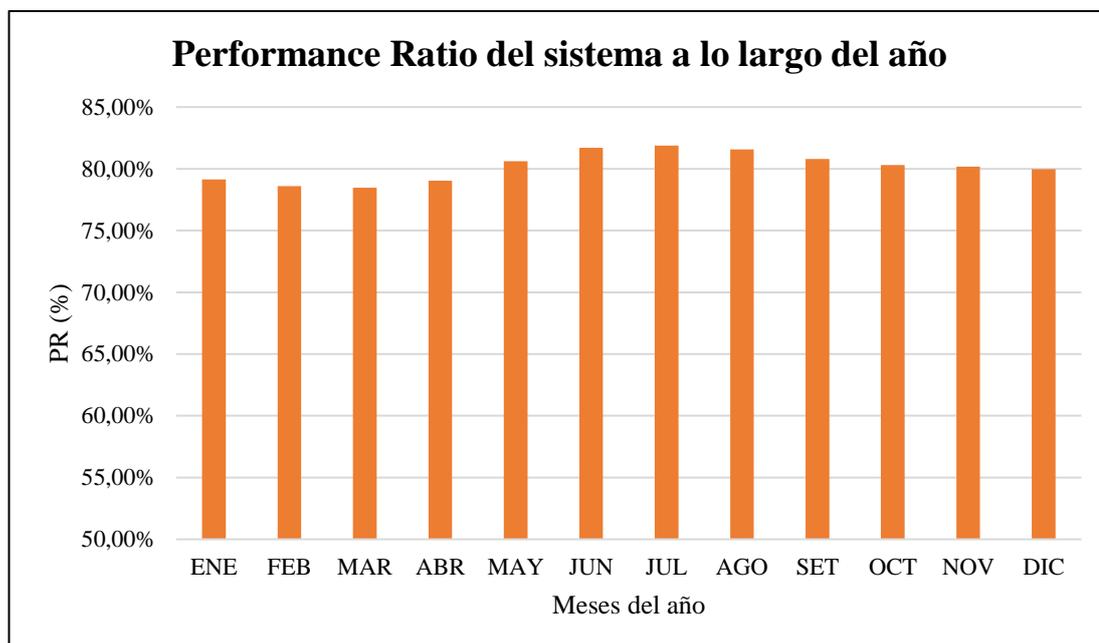
Tabla 27

Performance Ratio del sistema a lo largo del año

MESES	Tmax (°C)	G (W/m ²)	Tcelda (°C)	ΔP	PR_0	PR
Enero	26,70	892,30	50,12	-8,79%	91,21%	79,13%
Febrero	27,60	923,78	51,85	-9,40%	90,60%	78,61%
Marzo	27,50	945,41	52,32	-9,56%	90,44%	78,47%
Abril	25,60	945,33	50,41	-8,90%	91,10%	79,04%
Mayo	23,00	846,81	45,23	-7,08%	92,92%	80,62%
Junio	22,60	725,23	41,64	-5,82%	94,18%	81,71%
Julio	21,90	731,70	41,11	-5,64%	94,36%	81,87%
Agosto	21,40	789,19	42,12	-5,99%	94,01%	81,56%
Setiembre	21,70	874,34	44,65	-6,88%	93,12%	80,79%
Octubre	22,40	910,59	46,30	-7,46%	92,54%	80,29%
Noviembre	23,70	876,17	46,70	-7,59%	92,41%	80,17%
Diciembre	25,10	848,38	47,37	-7,83%	92,17%	79,97%
Promedio PR anual						80,19%

En la Tabla 27 se puede apreciar que el valor máximo para el PR se presenta en el mes de julio siendo de 81,87 %. En contraparte, el valor mínimo se encuentra en el mes de marzo siendo de 78,47 %. Es importante mencionar que los valores del PR están fuertemente influenciados por la temperatura de la celda fotovoltaica, presentando una relación inversamente proporcional. En lo que respecta al PR_0 , depende de manera similar que el PR, a la temperatura de la celda fotovoltaica, mientras que la irradiancia juega un papel en segundo plano, para el mismo.

En la Figura 35, se graficó el comportamiento del PR para cada mes, a lo largo del año. El promedio anual calculado del PR fue de 80,19 %.

Figura 35*Performance Ratio del sistema a lo largo del año***d. Potencia del arreglo fotovoltaico**

La potencia del arreglo fotovoltaico se evaluó para cada mes del año, con los parámetros delimitados anteriormente. Los resultados se presentan en la Tabla 28.

Tabla 28*Valores de potencia del arreglo fotovoltaico a lo largo del año*

MESES	Gdm (180°,15°) (kWh/m ² día)	Wd (kWh/día)	PR	Pgmin (kW)	Pgmax (kW)
Enero	6,22	12,70	79,13%	2,58	3,10
Febrero	6,44	12,70	78,61%	2,51	3,01
Marzo	6,53	12,70	78,47%	2,48	2,98
Abril	6,61	12,70	79,04%	2,43	2,91
Mayo	5,85	12,89	80,62%	2,73	3,28
Junio	5,11	12,89	81,71%	3,09	3,71
Julio	5,03	12,89	81,87%	3,13	3,76
Agosto	5,35	12,89	81,56%	2,95	3,54
Setiembre	5,57	12,89	80,79%	2,87	3,44
Octubre	5,95	12,89	80,29%	2,70	3,24
Noviembre	5,88	12,70	80,17%	2,69	3,23
Diciembre	5,93	12,70	79,97%	2,68	3,21

Los datos obtenidos mostrados en la Tabla 28, revelaron que la potencia máxima del arreglo fotovoltaico se producía en el mes con menor irradiación solar, este fue el mes de julio. El rango en el que se debe encontrar la potencia del arreglo fotovoltaico esta entre 3,13 kW hasta 3,76 kW, para evitar el sobredimensionamiento.

e. Número y configuración de los paneles fotovoltaicos

La potencia pico del panel fotovoltaico escogido fue de 450 Wp. En virtud de buscar una eficiencia mayor en menor área, se consideró conveniente usar paneles de mayor potencia. En sintonía con la idea anterior, se escogió una marca reconocida que presenta certificaciones de fabricación adecuadas para este tipo de sistemas.

Las especificaciones más relevantes del panel fotovoltaico escogido para el sistema se presentan en la Tabla 29. En la ficha técnica del equipo seleccionado (consultar Anexo 40, según corresponda), se pueden ver otros parámetros del dispositivo.

Tabla 29

Especificaciones técnicas del panel fotovoltaico

Especificaciones	Valor
Marca	ECO GREEN ENERGY
Modelo	HELIOS PLUS 445-455W
Tipo de panel	PERC
Potencia pico del panel (W)	450
Tolerancia de la potencia pico	0~+5W
Eficiencia de conversión de energía (%)	20,58 %
Voltaje de máxima potencia STC V_{mpp}^* (V)	40,96
Corriente de máxima potencia STC I_{mpp}^* (A)	10,99
Voltaje en circuito abierto STC V_{oc}^* (V)	49,28
Corriente de cortocircuito STC I_{sc}^* (A)	11,57
Temperatura en condiciones NOCT	41 ± 3 °C
Coefficiente de Temperatura para la Potencia	-0,35 %
Coefficiente de Temperatura para el V_{oc}^*	-0,30 %
Coefficiente de Temperatura para la I_{sc}^*	0,05 %

Nota: Tomado y adaptado de la ficha técnica del equipo (consultar Anexo 40, según corresponda).

Al conocer el rango de potencia del arreglo fotovoltaico, y empleando la Ecuación 39, se determinó que el número de paneles fotovoltaicos a usar debe ser de 8 paneles. En consecuencia, luego de ello, se evaluaron las condiciones establecidas para determinar la configuración de paneles en serie y en paralelo.

Al tener en cuenta los parámetros eléctricos del panel fotovoltaico se pudo determinar su configuración en serie y paralelo (consultar Anexo 32, según corresponda). Los valores determinados se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30

Número de paneles y configuración del arreglo fotovoltaico

Descripción	Valor
Potencia Pico del sistema fotovoltaico (kWp)	3,60
Cantidad de paneles fotovoltaicos N_{FPV}	8
Cantidad de paneles en serie N_s	8
Cantidad de paneles en paralelo N_p	1

En esa misma línea de ideas, se determinaron los parámetros eléctricos del arreglo fotovoltaico, como se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Parámetros eléctricos del arreglo fotovoltaico

Descripción	Valor
Voltaje de máxima potencia STC $V_{mpp}^* G$ (V)	327,68
Corriente de máxima potencia STC $I_{mpp}^* G$ (A)	10,99
Voltaje en circuito abierto STC $V_{oc}^* G$ (V)	394,24
Corriente de cortocircuito STC $I_{sc}^* G$ (A)	11,57

Para condiciones STC, el voltaje en circuito abierto es igual a 394,24 V, mientras que la corriente de cortocircuito es de 11,57 A. Estos valores son relevantes para dimensionar y determinar las características del inversor de conexión a red del sistema.

f. Número y configuración del inversor

La potencia del inversor de conexión a red escogido fue de 3,00 kW. Se escogió una marca reconocida que presenta certificaciones de fabricación adecuadas para este tipo de sistemas.

Las especificaciones más relevantes del inversor escogido para el sistema se presentan en la Tabla 32. En la ficha técnica del equipo seleccionado (consultar Anexo 41, según corresponda), se pueden ver otros parámetros del dispositivo.

Tabla 32

Especificaciones técnicas del inversor

Especificaciones	Valor
Marca	GROWATT
Modelo	MIN3000TL-X
Datos de entrada	
Corriente máxima $I_{MAX, INV}$ (A)	13,5
Corriente máxima de cortocircuito $I_{MAX, INV SC}$ (A)	16
Voltaje máximo $V_{MAX, INV}$ (V)	500
Voltaje mínimo $V_{MIN, INV}$ (V)	80
Voltaje mínimo de arranque $V_{MIN, ARRANQUE}$ (V)	100
Voltaje mínimo seguidor MPP $V_{mpp,min}$ (V)	80
Voltaje mínimo seguidor MPP $V_{mpp,max}$ (V)	500
Número de seguidores MPP	2
Potencia máxima en DC a conectar P_{DCMAX} (kW)	4,20
Datos de salida	
Potencia de salida P_{ACinv} (kW)	3,00
Máxima Potencia de salida (kVA)	3,00
Corriente de salida del inversor I_{invsal} (A)	13,6
Frecuencia (Hz)	60
Acoplamiento a red (V)	220 - 230 - 240 V
Coefficiente de distorsión armónica	$\leq 3,00$ %
Factor de potencia	0,8 - 0,8 induc/capac
Eficiencia del inversor	98,20%
Eficiencia del seguidor MPP	99,90%

Nota: Tomado y adaptado de la ficha técnica del equipo (consultar Anexo 41, según corresponda).

Los parámetros eléctricos del inversor cumplen con las condiciones expuestas en el Capítulo II, (consultar Anexo 33, según corresponda), las cuales se muestran a continuación en la Tabla 33.

Tabla 33

Parámetros eléctricos del inversor

Descripción	Condición
Factor de dimensionamiento $1,00 \leq SR_{AC} \leq 1,20$	Si cumple
$V_{mpp,min} \leq V_{mppGmin}$	Si cumple
$V_{mpp,max} \geq V_{mppGmax}$	Si cumple
$V_{MAX, INV} \geq V_{ocGmax}$	Si cumple
$I_{MAX, INV SC} \geq I_{scGmax}$	Si cumple

g. Configuración del cableado

El sistema se dividió en 3 tramos bien definidos. En primer lugar, el cableado que va desde el arreglo fotovoltaico hasta el inversor. A continuación, el cableado del inversor hacia el tablero de distribución y finalmente del mismo tablero de distribución hasta el equipo de aire acondicionado.

Es por ello que se analizó dichos tramos con los métodos de cálculo de sección de conductor por máxima corriente admisible y caída de tensión (consultar Anexo 34, según corresponda). Los resultados se muestran en la Tabla 34.

Tabla 34

Secciones de conductor para cada tramo del sistema

Componente 1	Componente 2	Longitud (m)	Tipo de conductor	Sr (mm²)
Arreglo Fotovoltaico	Inversor	20,00	ZZ-F / H1Z2Z2-K	6,00
Inversor	Tablero de distribución	8,00	NH-80	4,00
Tablero de distribución	Equipo Aire Acondicionado	2,00	NH-80	4,00

En el tramo de corriente continua (entre el arreglo fotovoltaico e inversor), se escogió un conductor especializado para tareas relacionadas con sistemas fotovoltaicos. Por otro lado, para los tramos de corriente alterna, se escogió un conductor libre de halógenos, baja emisión de humos tóxicos y retardante a la llama, como estipula el CNE para instalaciones eléctricas interiores. Las fichas técnicas correspondientes se encuentran en el Anexo 42 y 43 respectivamente.

h. Elección de equipos de protección y maniobra

La elección de los equipos de protección y maniobra se fundamentó en la configuración y características eléctricas obtenidas de los paneles fotovoltaicos y el inversor (consultar Anexo 35, según corresponda). De esta forma se determinaron los parámetros eléctricos necesarios de los equipos de protección y maniobra para el sistema, los cuales podemos apreciar en la Tabla 35.

Tabla 35

Parámetros eléctricos de los equipos de protección y maniobra

Descripción del equipo	Parámetros eléctricos		
	Corriente (A)	Voltaje (V)	Corriente de sensibilidad (mA)
Fusibles por cadena del arreglo fotovoltaico (DC)	15	1000	No aplica
Interruptor automático por cadena del arreglo fotovoltaico (DC)	16	440	No aplica
Dispositivo de protección contra sobretensiones (DC)	No aplica	500	No aplica
Interruptor automático para protección inversor (AC)	20	220	No aplica
Interruptor diferencial para protección inversor (AC)	25	220	30

Las fichas técnicas correspondientes a cada equipo de protección y maniobra se encuentran en los Anexos 44, 45, 46, 47 y 48.

Al mismo tiempo, se seleccionó el medidor bidireccional emparentado con el inversor de conexión a red, el dispositivo portafusible para protección de los fusibles y la estructura soporte para los paneles fotovoltaicos (consultar Anexo 49, 50 y 51, según corresponda).

i. Cálculo distancia de sombra

De la ficha técnica del panel fotovoltaico (consultar Anexo 40, según corresponda), se obtuvo las dimensiones del mismo. Teniendo en cuenta ello, se consideró que la instalación de los paneles fotovoltaicos más idónea era forma vertical. Luego de ello, se calculó la distancia de sombra o distancia entre filas de paneles fotovoltaicos. En la Tabla 36, se aprecia los valores resultados obtenidos.

Tabla 36

Distancia de sombra y ROT

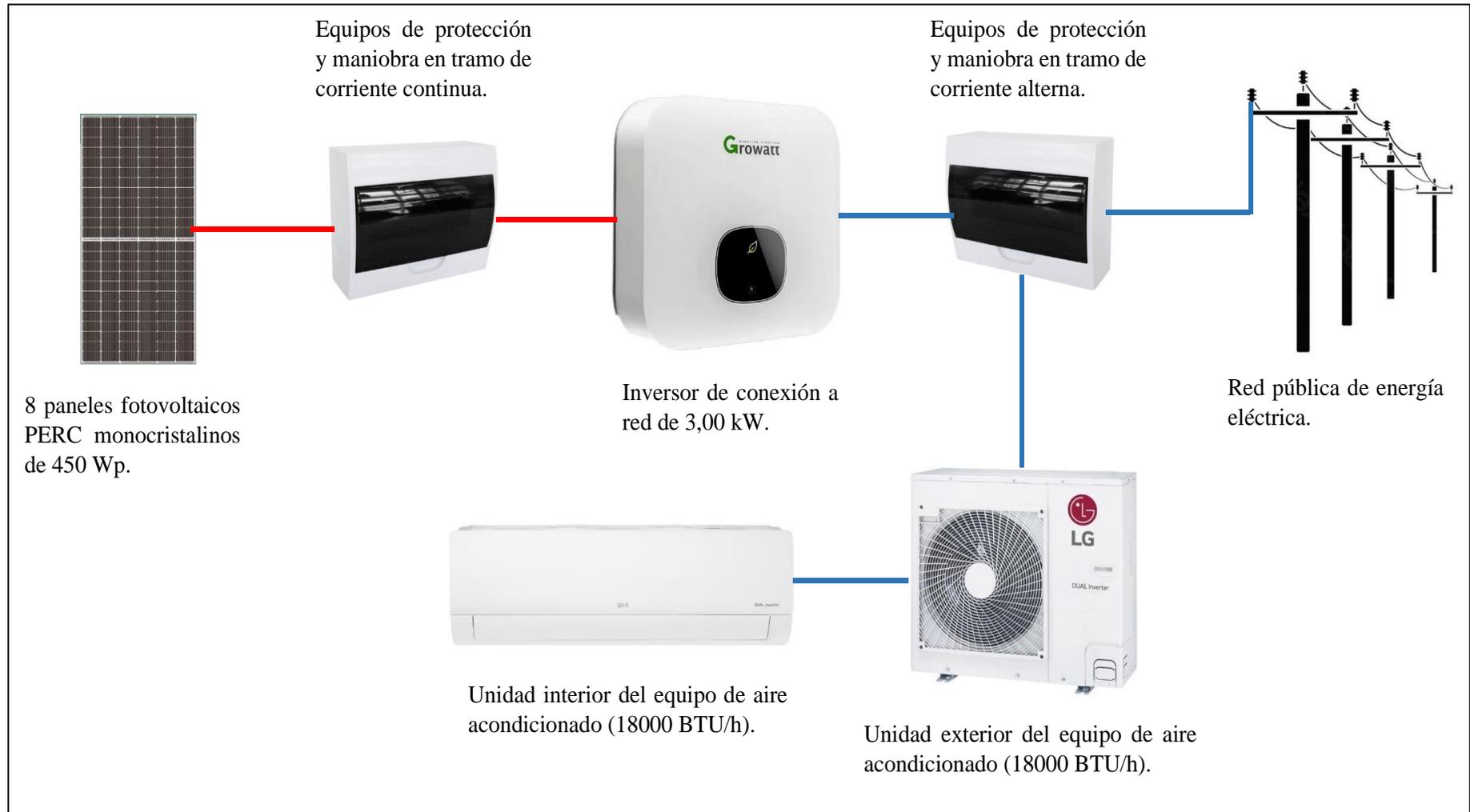
Descripción	Valor
Distancia entre filas de módulos fotovoltaicos (m)	0,491
Distancia entre puntos de anclaje de las estructuras (m)	2,521
Área del sistema fotovoltaico (m ²)	18,94
Ratio entre el área del sistema/potencia pico (m ² /kWp)	5,26
ROT ≤ 2 para sistemas estáticos	1,20

Es de esta forma que, las características, equipos y parámetros eléctricos del sistema fotovoltaico de autoconsumo para suministrar energía eléctrica al equipo de climatización se mostraron en las tablas y gráficas anteriores. El sistema fotovoltaico se dimensionó con una potencia pico de 3,60 kW, mientras que la potencia del inversor de conexión a red fue de 3,00 kW.

En la Figura 36, se observa un diagrama esquemático del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, con los principales equipos y el orden de conexión correcto. En el Anexo 56 se presenta el diagrama multifilar correspondiente.

Figura 36

Diagrama esquemático del sistema



4.1.3. Estimación de los indicadores técnicos del sistema

Los indicadores técnicos para estudiar el sistema se presentaron en el Capítulo II. A continuación, se detalla los resultados obtenidos de los indicadores en alusión.

a. Energía generada por el sistema

Se evaluó la energía generada por el sistema para un periodo de tiempo diario, mensual y anual. Los valores calculados se muestran en la Tabla 37.

Tabla 37

Energía generada por el sistema

MESES	Días de atención al mes	Ed (kWh/día)	Em (kWh/mes)
Enero	22	17,18	378,05
Febrero	20	17,67	353,33
Marzo	23	17,88	411,25
Abril	20	18,26	365,17
Mayo	23	16,48	378,97
Junio	22	14,57	320,58
Julio	21	14,38	301,91
Agosto	23	15,25	350,73
Setiembre	21	15,71	329,81
Octubre	22	16,69	367,24
Noviembre	22	16,47	362,27
Diciembre	21	16,56	347,81
Ea: Energía generada al año (kWh/año)			4267,11

Los valores mostrados en la Tabla 37, corresponden al primer año de producción energética del sistema. Para los años posteriores, se evaluó su producción teniendo en cuenta la degradación en rendimiento de los paneles fotovoltaicos (consultar Anexo 40, según corresponda). La reducción en generación de energía tuvo influencia en los demás indicadores, como por ejemplo en la producción final (consultar Anexo 36, según corresponda). En la Tabla 38, se presenta la evolución de la energía producida cada año. Mientras que en la Figura 37, se gráfica dicha evolución.

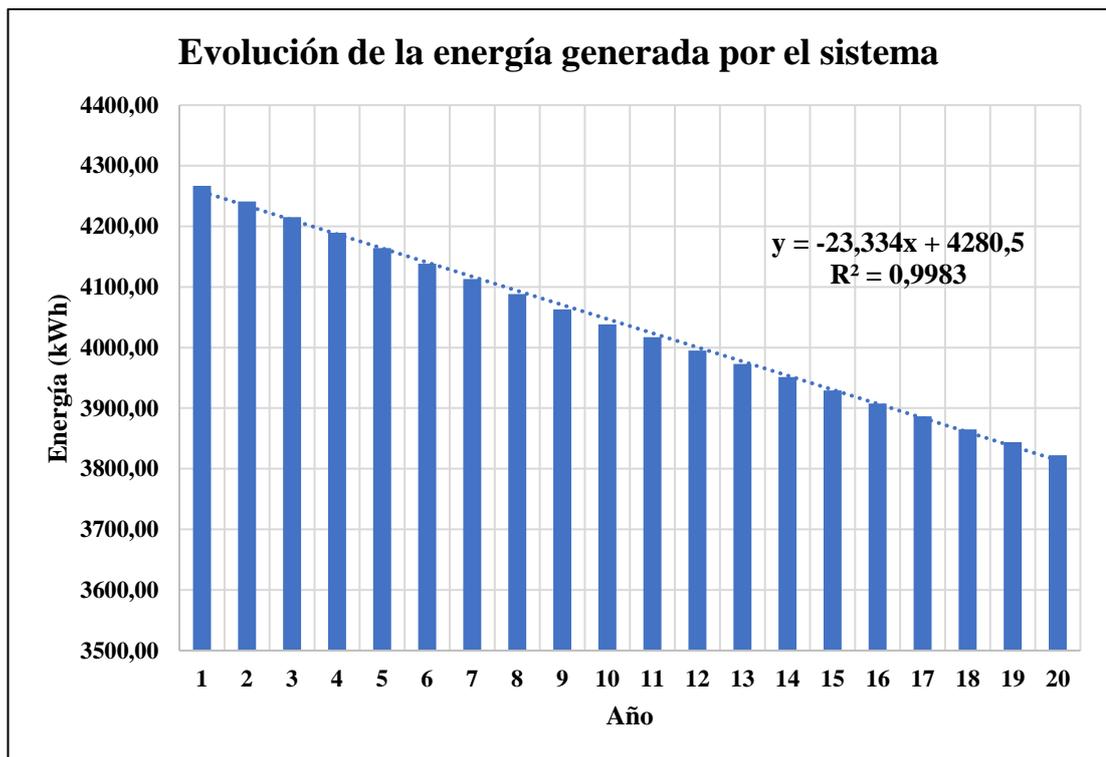
Tabla 38

Evolución de la energía generada por el sistema

Año	Ea (kWh/año)	Año	Ea (kWh/año)
1	4267,11	11	4017,08
2	4241,08	12	3994,99
3	4215,21	13	3973,01
4	4189,50	14	3951,16
5	4163,94	15	3929,43
6	4138,54	16	3907,82
7	4113,30	17	3886,33
8	4088,21	18	3864,95
9	4063,27	19	3843,69
10	4038,08	20	3822,55

Figura 37

Evolución de la energía generada por el sistema



En la Tabla 38, podemos apreciar que el valor máximo de energía generada anual fue de 4267,11 kWh/año, este valor se calculó para el primer año de funcionamiento del sistema. Por otro lado, el mínimo valor se encontró para el último año de funcionamiento evaluado, siendo este valor de 3822,55 kWh/año.

b. Productividad final del sistema

Se determinó la productividad final del sistema para cada año. La evolución del indicador mencionado se puede observar en la Tabla 39. Mientras que en la Figura 38, se evidencia gráficamente su comportamiento.

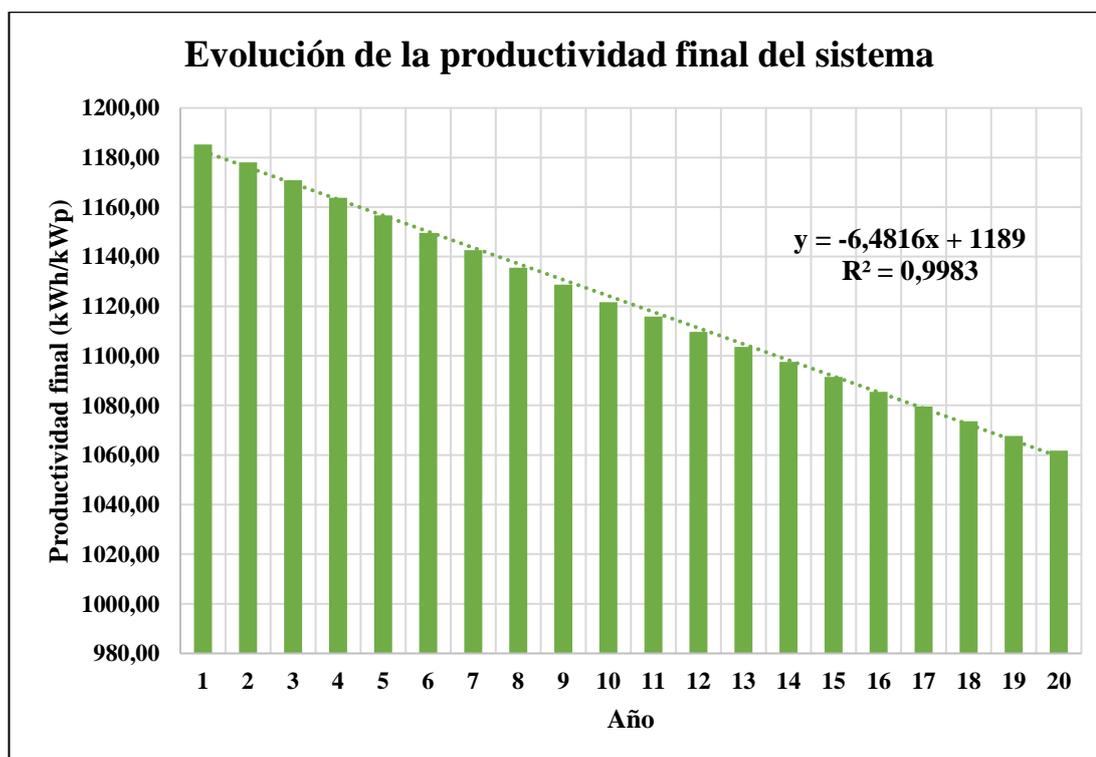
Tabla 39

Evolución de la productividad final del sistema

Año	Y _F (kWh/kWp)	Año	Y _F (kWh/kWp)
1	1185,31	11	1115,86
2	1178,08	12	1109,72
3	1170,89	13	1103,61
4	1163,75	14	1097,54
5	1156,65	15	1091,51
6	1149,60	16	1085,51
7	1142,58	17	1079,53
8	1135,61	18	1073,60
9	1128,69	19	1067,69
10	1121,69	20	1061,82

Figura 38

Evolución de la productividad final del sistema



En la Tabla 39, podemos apreciar que el valor máximo de productividad final anual fue de 1185,31 kWh/kWp, este valor se calculó para el primer año de funcionamiento del sistema. Por otro lado, el mínimo valor se encontró para el último año de funcionamiento evaluado, siendo este valor de 1061,82 kWh/kWp.

c. Fracción solar

En virtud de calcular la fracción solar, se escogió el valor último de producción de energía mensual, para conocer si al final del tiempo de vida del sistema, este puede suministrar la energía suficiente al equipo de climatización. Por lo explicado, a continuación, se presenta los valores de fracción solar obtenidos en la Tabla 40.

Tabla 40

Fracción solar mensual del sistema

MESES	SF₁ (%)	SF₂₀ (%)
Enero	93,95%	89,97%
Febrero	94,10%	90,41%
Marzo	94,45%	90,89%
Abril	96,00%	92,61%
Mayo	93,09%	88,63%
Junio	89,67%	83,21%
Julio	87,23%	81,08%
Agosto	89,03%	83,32%
Setiembre	88,38%	83,31%
Octubre	91,48%	87,16%
Noviembre	92,98%	88,51%
Diciembre	93,55%	89,22%

Nota: Donde: SF₁: Fracción solar en porcentaje para el año 1 de funcionamiento; SF₂₀: Fracción solar en porcentaje para el año 20 de funcionamiento.

El valor máximo de fracción solar para el año 20, se determinó para el mes de abril llegando hasta un valor de 92,61 %. En contraposición, el valor mínimo se encontró en el mes de julio siendo de 81,08 %. En la Figura 41, se aprecia gráficamente el comportamiento de la fracción solar.

Es evidente mencionar que en los meses de verano la fracción solar tomó sus valores más altos, por el contrario, en los meses de invierno se observó una reducción de dicho indicador.

d. Ratio de autoconsumo

En virtud de calcular el ratio de autoconsumo, se escogió el valor último de producción de energía mensual, para conocer si al final del tiempo de vida del sistema, en qué porcentaje la energía fotovoltaica generada es empleada para proveer de energía al sistema de climatización. Por lo explicado, a continuación, se presenta los valores del ratio de autoconsumo obtenidos en la Tabla 41.

Tabla 41

Ratio de autoconsumo mensual del sistema

MESES	SCR₁ (%)	SCR₂₀ (%)
Enero	69,83%	77,96%
Febrero	68,24%	76,44%
Marzo	67,66%	75,90%
Abril	66,90%	75,24%
Mayo	72,30%	80,26%
Junio	78,65%	85,09%
Julio	77,36%	83,83%
Agosto	74,31%	81,08%
Setiembre	71,70%	78,79%
Octubre	69,96%	77,71%
Noviembre	71,29%	79,12%
Diciembre	71,71%	79,74%

Nota: Donde: SCR₁: Ratio de autoconsumo en porcentaje para el año 1 de funcionamiento; SCR₂₀: Ratio de autoconsumo en porcentaje para el año 20 de funcionamiento.

El valor máximo del ratio de autoconsumo para el año 20, se determinó para el mes de junio llegando hasta un valor de 85,09 %. En contraposición, el valor mínimo se encontró en el mes de abril siendo de 75,24 %. En la Figura 39, se aprecia gráficamente el comportamiento del ratio de autoconsumo.

Figura 39

Ratio de autoconsumo mensual del sistema

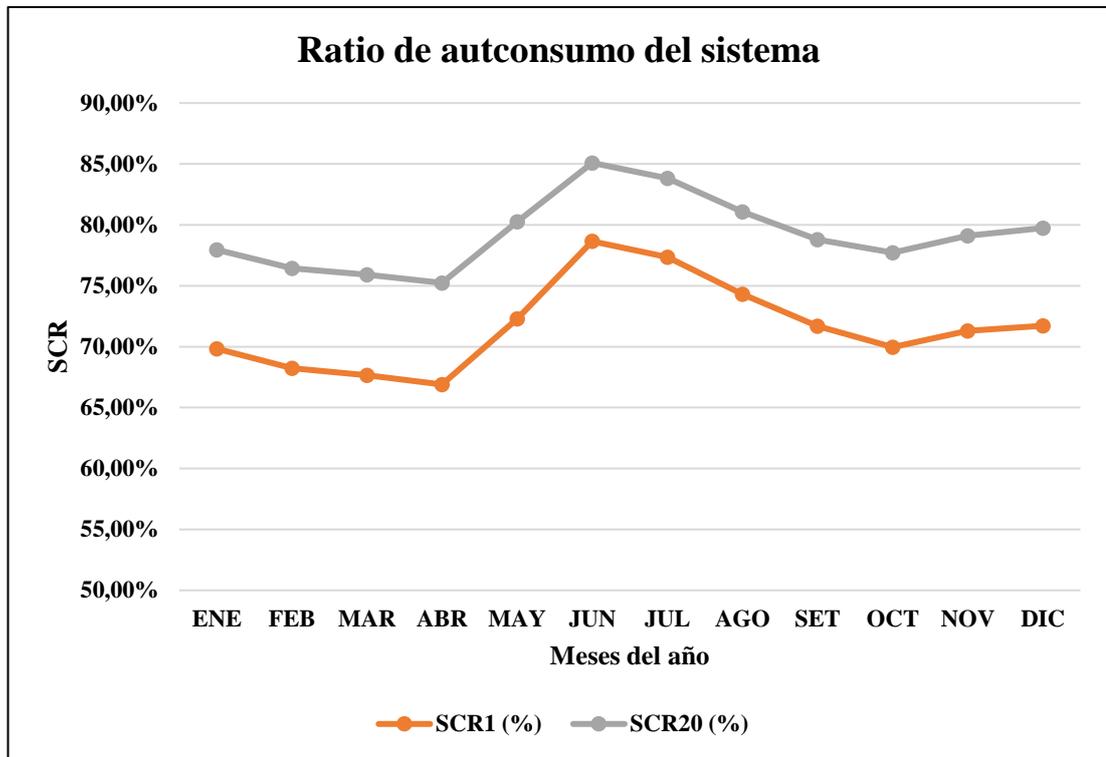
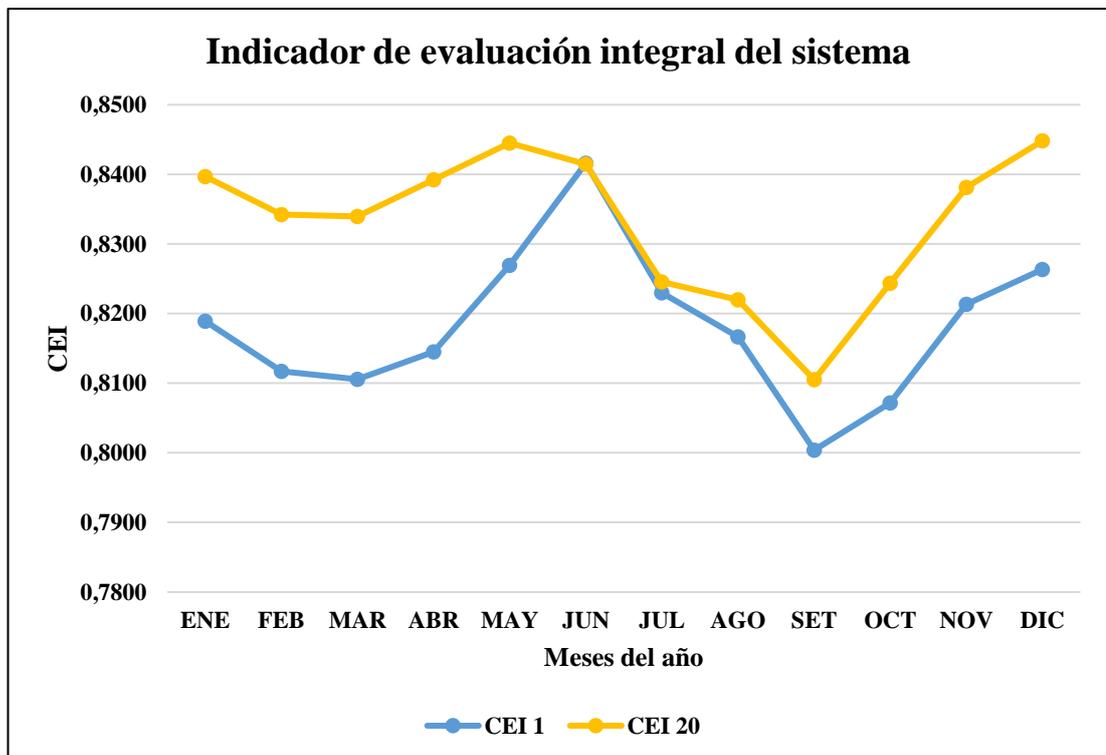


Figura 40

Indicador de evaluación integral del sistema



e. Indicador de evaluación integral

En virtud de calcular el indicador de evaluación integral, se escogió el valor último de producción de energía mensual. Por lo explicado, a continuación, se presenta los valores del indicador de evaluación integral, obtenidos en la Tabla 42.

Tabla 42

Indicador de evaluación integral mensual del sistema

MESES	CEI ₁	CEI ₂₀
Enero	0,8189	0,8397
Febrero	0,8117	0,8342
Marzo	0,8105	0,8340
Abril	0,8145	0,8392
Mayo	0,8270	0,8445
Junio	0,8416	0,8415
Julio	0,8230	0,8245
Agosto	0,8167	0,8220
Setiembre	0,8004	0,8105
Octubre	0,8072	0,8244
Noviembre	0,8214	0,8381
Diciembre	0,8263	0,8448

Nota: Donde: CEI₁: Indicador de evaluación integral para el año 1 de funcionamiento; CEI₂₀: Indicador de evaluación integral para el año 20 de funcionamiento.

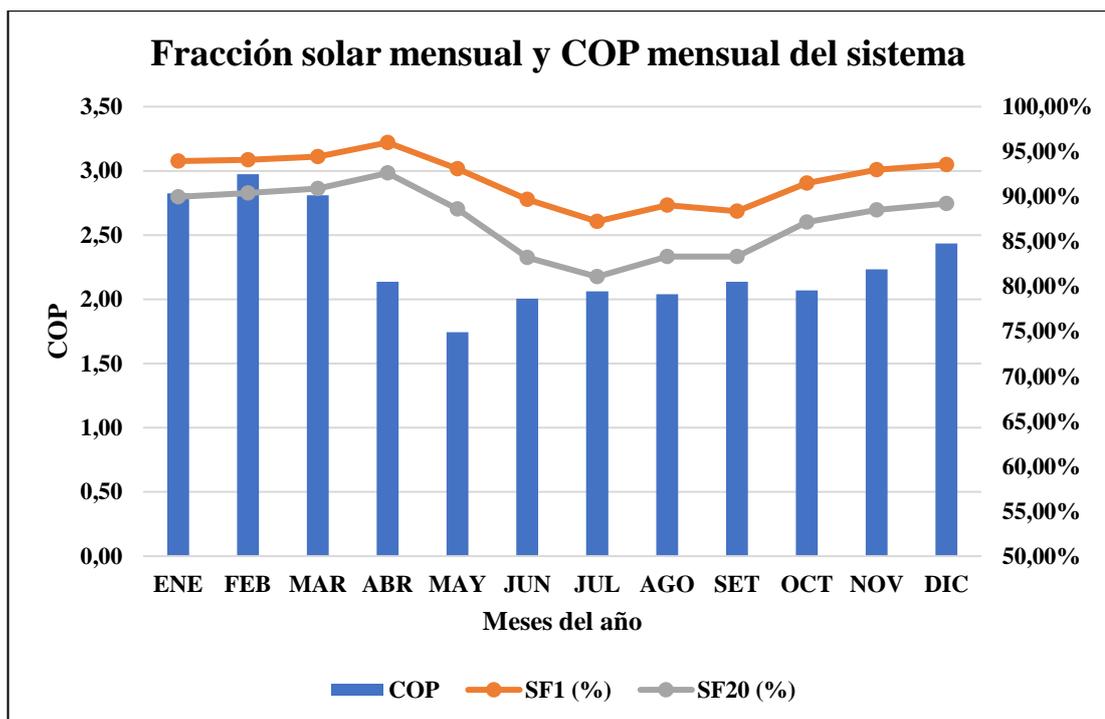
El valor máximo del indicador de evaluación integral para el año 20, se determinó para el mes de mayo llegando hasta un valor de 0,8445. En contraposición, el valor mínimo se encontró en el mes de setiembre siendo de 0,8105. En la Figura 40, se aprecia gráficamente el comportamiento del indicador de evaluación integral

f. Coeficiente de performance (COP)

El coeficiente de performance para el equipo de aire acondicionado se evaluó usando los datos de potencia térmica calculados. De esta forma, los resultados se muestran en la Tabla 43. En la Figura 41, se aprecia el comportamiento del COP de manera gráfica.

Tabla 43*Coficiente de performance (COP) mensual del sistema*

MESES	Potencia térmica (W)	Energía térmica (kWh)	Wd (kWh/mes)	COP
Enero	4484,79	35,88	12,70	2,83
Febrero	4719,92	37,76	12,70	2,97
Marzo	4460,63	35,69	12,70	2,81
Abril	3391,32	27,13	12,70	2,14
Mayo	2807,44	22,46	12,89	1,74
Junio	3228,65	25,83	12,89	2,00
Julio	3322,97	26,58	12,89	2,06
Agosto	3286,93	26,30	12,89	2,04
Setiembre	3442,92	27,54	12,89	2,14
Octubre	3331,66	26,65	12,89	2,07
Noviembre	3544,18	28,35	12,70	2,23
Diciembre	3865,00	30,92	12,70	2,44

Figura 41*Fracción solar mensual y COP mensual del sistema*

El valor máximo de COP, el cual fue de 2,97, se presentó en el mes de febrero, siendo el mes con la mayor potencia térmica requerida. Por el contrario, en el mes de mayo se obtuvo un valor de COP mínimo de 1,74.

Esto debido a que en dicho mes se registra la menor potencia térmica requerida en el periodo de verano. En sintonía con la fracción solar, el COP presentó valores altos en la temporada de verano. En contraparte, en invierno presentó valores menores.

g. Eficiencia de conversión de energía

El sistema fotovoltaico presenta una eficiencia de conversión, como se evidencia en la Ecuación 26. Para el panel fotovoltaico se tiene una eficiencia en condiciones STC de 20,58 % (consultar Anexo 40, según corresponda).

Pero este valor para condiciones reales no se puede alcanzar. Es por ello que usando la data calculada se procedió a determinar su valor. Como dato de partida era necesario determinar el área efectiva de los paneles del arreglo fotovoltaico, tal dato lo podemos ver en la Tabla 44.

Tabla 44

Área efectiva del arreglo fotovoltaico

Descripción	Valor
Número de celdas por panel fotovoltaico:	144
El área efectiva de cada celda fotovoltaica es de:	0,014 m ²
La cantidad total de módulos fotovoltaicos es de:	8
El área efectiva del arreglo fotovoltaico es de:	15,87 m ²

Con el área efectiva del arreglo fotovoltaico, se procedió a determinar la eficiencia de conversión de energía para cada mes del año teniendo en cuenta las ecuaciones antes mencionadas. En la Tabla 45, se aprecia los resultados correspondientes a los valores de eficiencia del sistema fotovoltaico a lo largo del año.

Tabla 45*Eficiencia de conversión mensual del sistema fotovoltaico*

MESES	η_{SFV}	MESES	η_{SFV}
Enero	17,41 %	Julio	18,01 %
Febrero	17,29 %	Agosto	17,94 %
Marzo	17,26 %	Setiembre	17,78 %
Abril	17,39 %	Octubre	17,66 %
Mayo	17,74 %	Noviembre	17,64 %
Junio	17,98 %	Diciembre	17,59 %

De la Tabla 45, podemos resaltar que el valor máximo de eficiencia de conversión ocurrió para el mes de julio, el cual fue de 18,01 %, mientras que el mínimo valor se suscitó en el mes de marzo y fue de 17,26 %. En la Figura 42, se observa el comportamiento de la eficiencia del sistema fotovoltaico.

h. Coeficiente de performance solar (COP_{solar})

El coeficiente de performance solar, se evaluó al efectuar el producto del COP y la η_{SFV} . De esa forma, en la Tabla 46, se muestra los valores obtenidos.

Tabla 46*Coeficiente de performance solar mensual del sistema fotovoltaico*

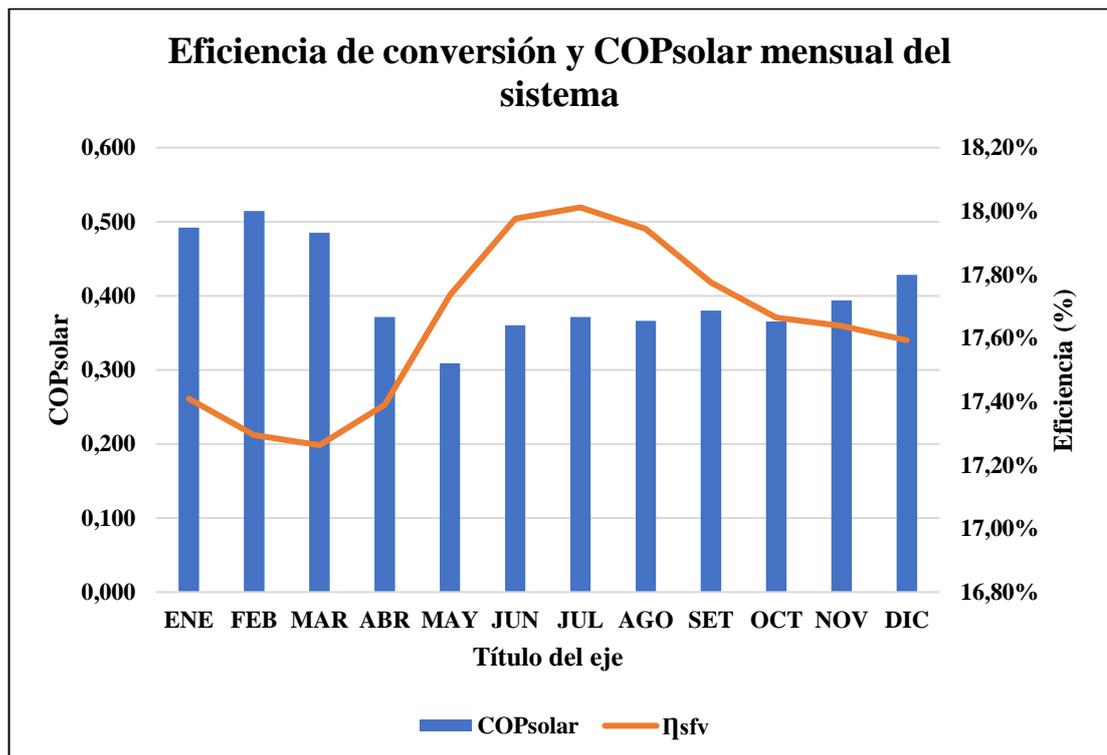
MESES	COP_{solar}	MESES	COP_{solar}
Enero	0,492	Julio	0,372
Febrero	0,514	Agosto	0,366
Marzo	0,485	Setiembre	0,380
Abril	0,372	Octubre	0,365
Mayo	0,309	Noviembre	0,394
Junio	0,360	Diciembre	0,428

El valor máximo de COP_{solar} , el cual fue de 0,514, se presentó en el mes de febrero, siendo el mes con la mayor potencia térmica requerida. Por el contrario, en el mes de

mayo se obtuvo un valor de COP_{solar} mínimo de 0,309. Esto debido a que en dicho mes se registra la menor potencia térmica requerida en el periodo de verano. En la Figura 42 se muestra la eficiencia de conversión y el COP_{solar} del sistema. Observando la Figura 41 y la Figura 42, es fácil evidenciar que el COP y el COP_{solar} , se asemejaron en su comportamiento a lo largo del año.

Figura 42

Eficiencia de conversión y COP_{solar} mensual del sistema



4.1.4. Cálculo de los indicadores económicos del sistema

Para conocer los indicadores económicos del sistema fue necesario elaborar un presupuesto que contemple el suministro de materiales, el transporte de los mismos al lugar de instalación y el montaje electromecánico.

Dentro de ese orden de ideas en las Tablas 47, 48 y 49 se presentan los costos referenciales para el sistema en estudio.

Tabla 47*Presupuesto del suministro de materiales resumido*

ITEM	PARTIDA	SUBTOTAL (S/)
01.00.00	Equipo de climatización	3077,64
02.00.00	Equipos de sistema de generación fotovoltaico	8140,89
03.00.00	Equipos de protección y maniobra	1277,90
04.00.00	Estructuras de soporte y accesorios	1641,32
05.00.00	Cables y conductores de cobre	244,84
06.00.00	Tablero de distribución	112,80
07.00.00	Tuberías de protección y accesorios	128,70
08.00.00	Accesorios para conexión	133,66
09.00.00	Pozo de puesta a tierra	1117,73
	TOTAL (S/)	15875,48

Tabla 48*Presupuesto del montaje electromecánico resumido*

ITEM	PARTIDA	SUBTOTAL (S/)
01.00.00	Trabajos preliminares	200,00
02.00.00	Instalación del equipo de climatización	800,00
03.00.00	Instalación de estructuras de soporte	250,00
04.00.00	Instalación del sistema de generación fotovoltaico	810,00
05.00.00	Entubado para protección del cableado	100,00
06.00.00	Instalación de tableros de distribución con equipos de Protección y maniobra	200,00
07.00.00	Cableado y conexionado	360,00
08.00.00	Construcción del pozo de puesta a tierra	950,00
09.00.00	Pruebas eléctricas	400,00
	TOTAL (S/)	4070,00

Tabla 49*Presupuesto general para el sistema*

ITEM	PARTIDA	SUBTOTAL (S/)
I	Suministro de materiales	15875.48
II	Montaje electromecánico	4070,00
III	Transporte de materiales	793,77
TOTAL (S/)		20739,25

El presupuesto relacionado al suministro de materiales se encuentra desgregado en el Anexo 37. De igual forma el presupuesto relacionado al montaje electromecánico se encuentra desgregado en el Anexo 38. De la Tabla 49, podemos observar que el presupuesto general para el sistema en estudio ascendió a S/ 20739,25.

a. VAN, TIR y PRI

El sistema se determinó para un tiempo de vida útil de 20 años. Sin embargo, no todos los equipos del sistema tienen un tiempo de vida útil similar. Es por ello que es importante mostrar el número de reemplazos correspondientes para cada equipo. Dicha información se muestra en la Tabla 50.

Tabla 50*Tiempo de vida útil y número de reemplazos de equipos del sistema*

Equipo del sistema	Tiempo de vida útil en años	Número de reemplazos
Panel fotovoltaico de 450 Wp	25	0
Inversor de conexión a red 3 kW	10	1
Aire acondicionado de 18000 BTU/h	15	1

Se observa de la Tabla 50, que los paneles fotovoltaicos superan el tiempo de vida útil establecido para el sistema, mientras que el inversor y el equipo de aire acondicionado debieron reemplazarse una vez a lo largo del tiempo de vida del sistema.

En lo que respecta al costo de mantenimiento para el sistema, se estableció que su valor anual correspondió al 2 % del presupuesto total. Además, el costo de energía activa según los recibos por consumo de electricidad (consultar Anexo 23, según corresponda), indican que: el costo por energía activa fue de 0.7938 S//kWh. Se escogió una tasa de descuento equivalente a 10 %, común para proyectos enmarcados en la generación con fuentes renovables de energía. El flujo de caja y flujo acumulado se pueden observar en la Tabla 51.

Tabla 51

Flujo de caja económico para el sistema

Año	Ingresos (S/)	Egresos (S/)	Flujo de caja económico (S/)	Flujo de caja acumulado (S/)
0	0,00	20739,25	-20739,25	-20739,25
1	3387,23	414,79	2972,45	-17766,80
2	3400,24	414,79	2985,45	-14781,35
3	3413,29	414,79	2998,51	-11782,85
4	3426,40	414,79	3011,61	-8771,24
5	3439,55	414,79	3024,76	-5746,47
6	3452,75	414,79	3037,97	-2708,50
7	3466,01	414,79	3051,22	342,72
8	3479,31	414,79	3064,53	3407,25
9	3492,67	414,79	3077,89	6485,14
10	3505,73	2691,68	814,05	7299,19
11	3522,37	414,79	3107,59	10406,78
12	3538,03	414,79	3123,24	13530,02
13	3553,76	414,79	3138,97	16668,99
14	3569,55	414,79	3154,77	19823,76
15	3585,42	3492,43	92,99	19916,75
16	3601,36	414,79	3186,57	23103,32
17	3617,36	414,79	3202,58	26305,90
18	3633,44	414,79	3218,66	29524,56
19	3649,59	414,79	3234,81	32759,37
20	3665,82	414,79	3251,03	36010,40

Figura 43

Tasa de descuento y VAN para el sistema

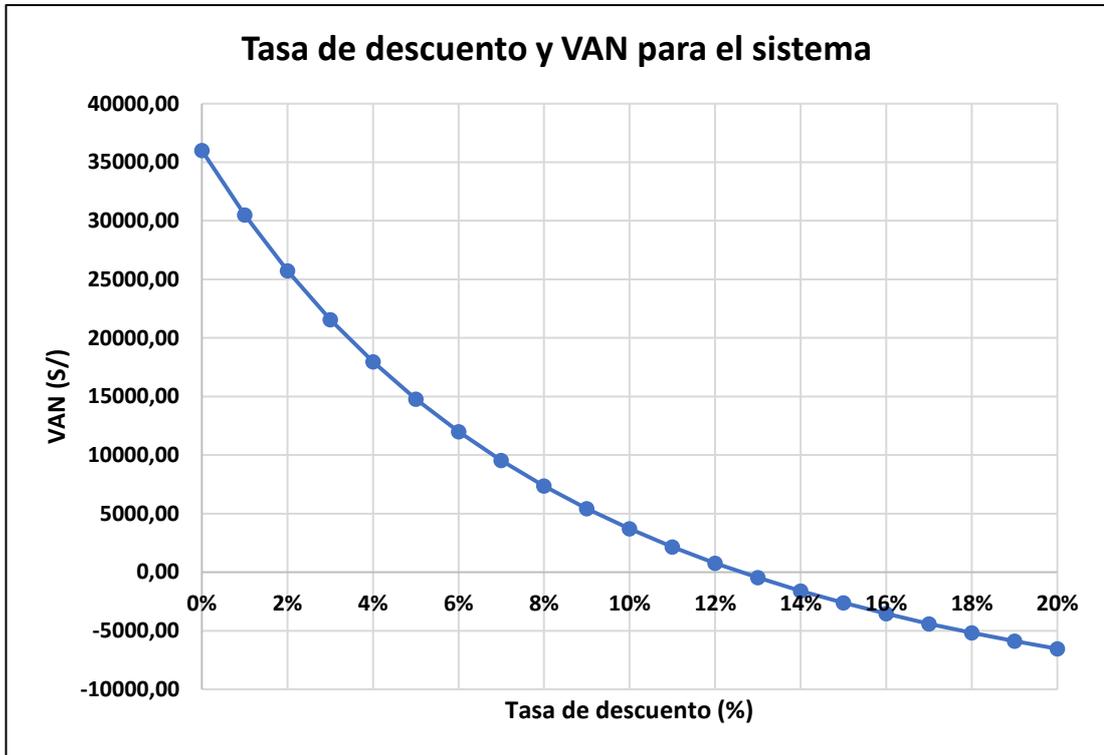
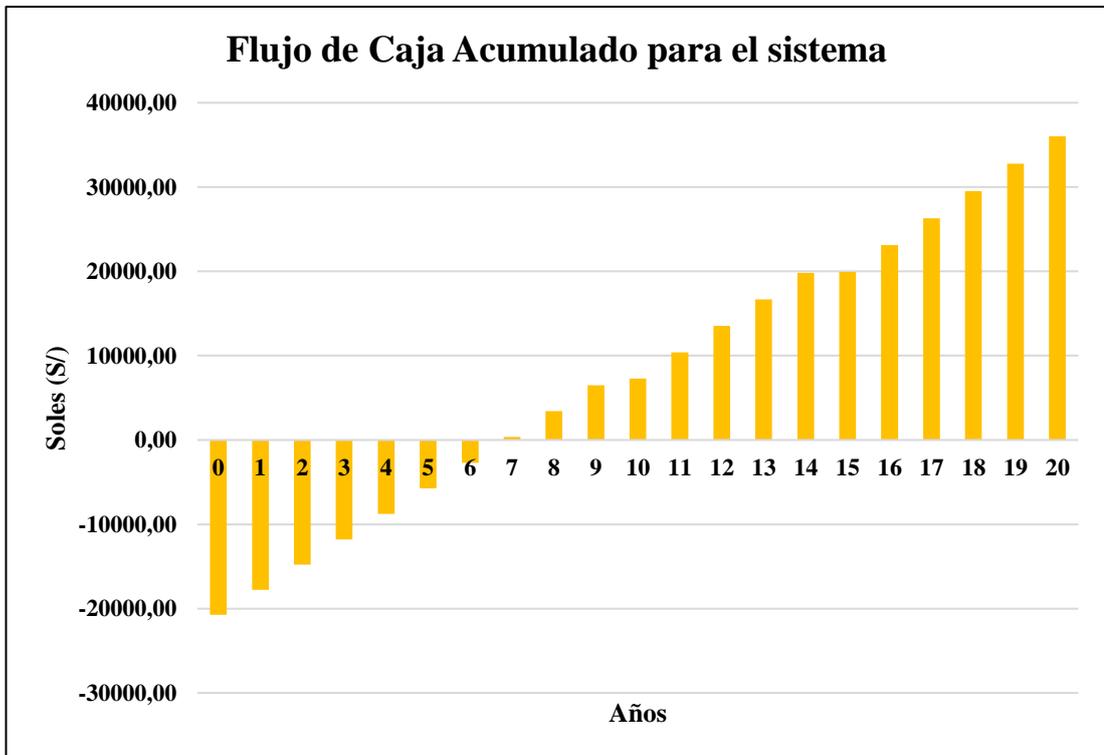


Figura 44

Flujo de Caja Acumulado para el sistema



Para el apartado de ingresos en la Tabla 51, se consideró que el costo de la energía activa aumentaba en 1,0 % cada año. Dicho valor se determinó al revisar el historial del costo de energía para la tarifa correspondiente, y realizar posterior a ello, una proyección de su comportamiento. Esto enmarcado en que los costos de la energía eléctrica han ido subiendo paulatinamente en los últimos años.

De la Figura 43, podemos apreciar que la tasa interna de retorno o TIR es superior a la tasa de descuento. En ese orden de ideas, se presentan los valores de Tasa de descuento y VAN en la Tabla 52.

Tabla 52

Tasa de descuento y VAN para el sistema

Tasa de descuento (%)	Valor Actual Neto (S/)
10,00 %	3712,42
11,00 %	2168,77
12,00 %	782,63
13,00 %	-466,17

Con los datos obtenidos se determinó que el sistema presentó un TIR igual a 12,61 %, y un VAN igual a S/ 3712,42. El periodo de recuperación para los valores presentados fue de 6,90 años, el cual se aprecia en la Figura 44.

b. Costo nivelado de energía (LCOE)

El Costo Nivelado de Energía se determinó usando la información de la Tabla 49 y Tabla 50. Además, se consideró un valor residual al finalizar el tiempo de vida del sistema igual al 10 % del presupuesto inicial (Alrwashdeh y Ammari, 2019).

En virtud de conocer el valor del LCOE, fue necesario determinar el valor presente de los costos relacionados al sistema y el valor presente de la energía producida. Para ello, se empleó la misma tasa de descuento usada para determinar el TIR y VAN, que fue de 10 %.

En la Tabla 53 se presenta el cálculo que se realizó para determinar el valor del LCOE correspondiente al sistema.

Tabla 53*Flujo de caja económico para el sistema*

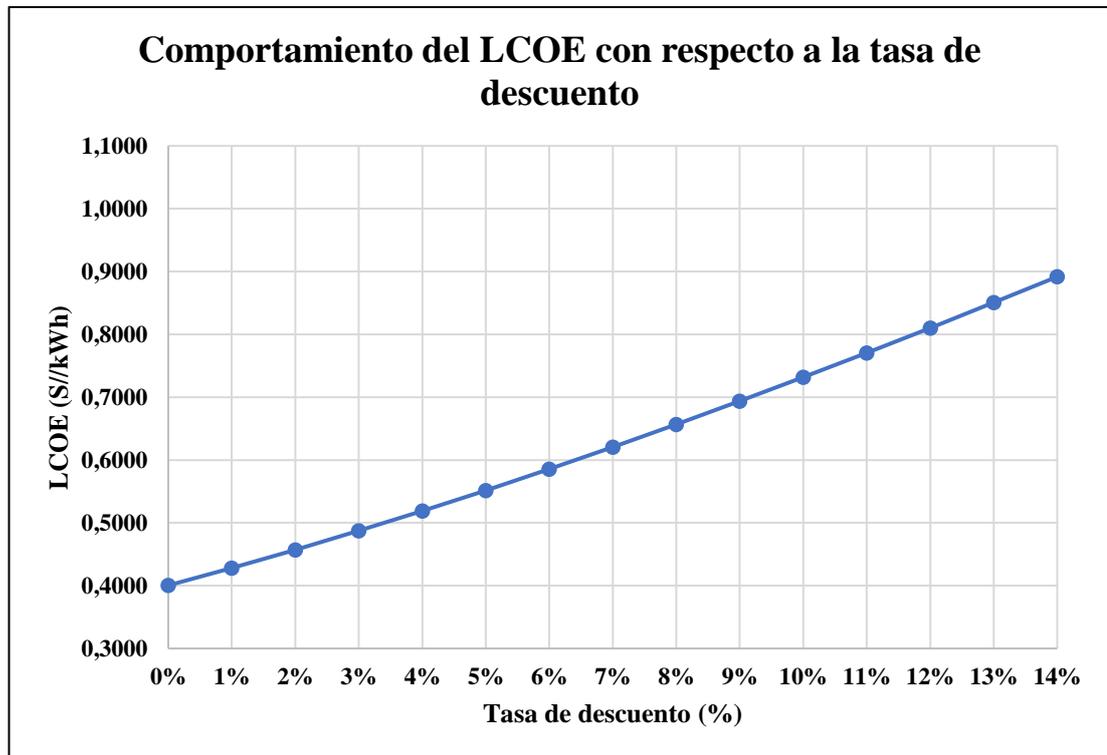
AÑO	Inversión (S/)	COyM (S/)	Valor de reemplazo (S/)	Valor residual (S/)	Energía producida (kWh)
0	20739,25	0,00			0,00
1		370,34			3809,92
2		330,66			3380,97
3		295,24			3000,31
4		263,60			2662,50
5		235,36			2362,73
6		210,14			2096,72
7		187,63			1860,65
8		167,52			1651,16
9		149,58			1465,26
10		133,55	733,10		1300,15
11		119,24			1154,81
12		106,46			1025,41
13		95,06			910,51
14		84,87			808,49
15		75,78	562,27		717,89
16		67,66			637,45
17		60,41			566,02
18		53,94			502,60
19		48,16			446,28
20		43,00		215,00	396,27
Totales	20739,25	3098,21	1295,37	215,00	30756,10

Nota: Donde: COyM: Costos de operación y mantenimiento.

Al realizar el cálculo respectivo, empleando los datos calculados en la Tabla 53, se obtuvo un LCOE igual a 0,7317 S//kWh, para el sistema en estudio. Siendo su valor ligeramente inferior al costo de energía activa de 0,7938 S//kWh, empleado para el análisis. A continuación, en la Figura 45, se presenta el comportamiento del LCOE al variar la tasa de descuento.

Figura 45

Comportamiento del LCOE con respecto a la tasa de descuento



De la Figura 45, es evidente observar que el valor del LCOE es directamente proporcional a la tasa de descuento.

4.1.5. Equivalente de CO₂ relacionado con el sistema

Los equipos principales del sistema, para su elaboración y transporte, generaron emisiones equivalentes de CO₂. Por el contrario, al implementar un sistema fotovoltaico, al momento de producir energía eléctrica ya no se emite gases de efecto invernadero.

Es por ello que se estimó el equivalente de CO₂ generado por el sistema y reemplazado por el mismo.

a. Emisiones equivalentes de CO₂ generadas por el sistema

Las emisiones generadas, están relacionadas con los principales equipos del sistema. En la Tabla 54, podemos apreciar sus valores unitarios, y la suma de todas las emisiones equivalentes de CO₂, para el ciclo de vida del sistema.

Tabla 54*Emisiones equivalentes de CO₂ generadas por el sistema*

ITEM	DESCRIPCIÓN	LCE	CANTIDAD	SUBTOTAL (kgCO ₂)
1	Paneles fotovoltaicos	1798 kgCO ₂ /kWp	3,6 kWp	6472,80
2	Soportes de los paneles	1,74 kgCO ₂ /kg	80 kg	139,20
3	Inversor	172 kgCO ₂ /unidad	1 unidad	172,00
4	Aire Acondicionado 18000 BTU/h	623 kgCO ₂ /unidad	1 unidad	623,00
5	Refrigerante R-410A (Emisión fugitiva)	1924 kgCO ₂ /kg	0,6 kg	1154,40
			LCE_{CO2G} (kgCO₂)	8561,40

b. Emisiones equivalentes de CO₂ reemplazadas por el sistema

En lo que respecta a las emisiones equivalentes de CO₂ reemplazadas por el sistema, estas se calcularon usando el factor de emisiones del SEIN (F_{CO_2SEIN}) el cual es de 0,2611 tCO₂/MWh. Los valores calculados se presentan en la Tabla 55.

Tabla 55*Emisiones equivalentes de CO₂ reemplazadas por el sistema*

AÑO	Ea (kWh/año)	LCE	AÑO	Ea (kWh/año)	LCE
1	4267,11	1114,14	11	4017,08	1048,86
2	4241,08	1107,35	12	3994,99	1043,09
3	4215,21	1100,59	13	3973,01	1037,35
4	4189,50	1093,88	14	3951,16	1031,65
5	4163,94	1087,21	15	3929,43	1025,97
6	4138,54	1080,57	16	3907,82	1020,33
7	4113,30	1073,98	17	3886,33	1014,72
8	4088,21	1067,43	18	3864,95	1009,14
9	4063,27	1060,92	19	3843,69	1003,59
10	4038,08	1054,34	20	3822,55	998,07
			LCE_{CO2R} (kgCO₂)	21073,19	

El balance de las emisiones equivalentes de CO₂ relacionadas al sistema, se puede apreciar en la Tabla 56.

Tabla 56

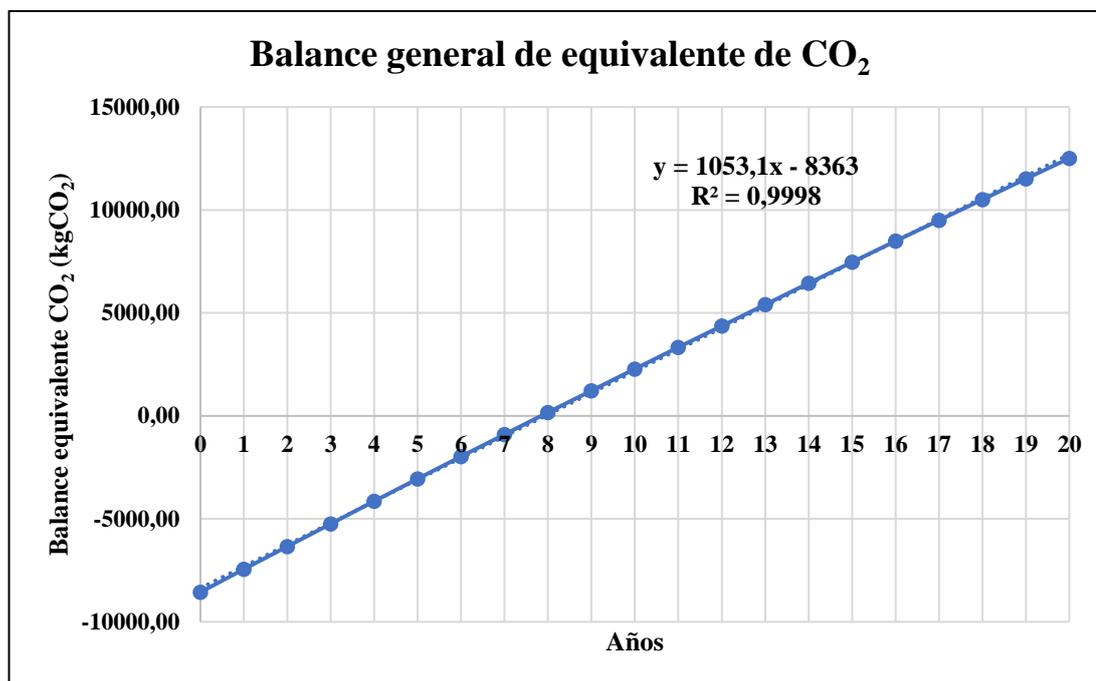
Balance de emisiones equivalentes de CO₂ del sistema

AÑO	G (kg/CO₂)	R (kgCO₂)	Balance (kgCO₂)
0	8561,40	0,00	-8561,40
1	0,00	1114,14	-7447,26
2	0,00	1107,35	-6339,91
3	0,00	1100,59	-5239,32
4	0,00	1093,88	-4145,44
5	0,00	1087,21	-3058,23
6	0,00	1080,57	-1977,66
7	0,00	1073,98	-903,68
8	0,00	1067,43	163,75
9	0,00	1060,92	1224,67
10	0,00	1054,34	2279,02
11	0,00	1048,86	3327,88
12	0,00	1043,09	4370,97
13	0,00	1037,35	5408,32
14	0,00	1031,65	6439,97
15	0,00	1025,97	7465,94
16	0,00	1020,33	8486,27
17	0,00	1014,72	9500,99
18	0,00	1009,14	10510,13
19	0,00	1003,59	11513,72
20	0,00	998,07	12511,79

El balance muestra que, a pesar de las emisiones equivalentes de CO₂ generadas por el sistema, aún se logran ahorros significativos de emisiones. Al final del tiempo de vida del sistema, se obtiene un balance de 12511,79 kgCO₂. Así mismo, el tiempo donde se equiparán las emisiones equivalentes de CO₂ generadas y las reemplazadas se estimó en 7,94 años. En la Figura 46, se puede apreciar gráficamente el balance general de emisiones.

Figura 46

Balance general de equivalente de CO₂



4.1.6. Comportamiento del sistema para diferentes niveles de capacidad

En virtud de estudiar el comportamiento del sistema, fue necesario revisar y analizar los indicadores para diferentes niveles de capacidad del sistema fotovoltaico. En la Tabla 57, se muestran las capacidades de inversores seleccionados para cada configuración, teniendo en cuenta las opciones de mercado.

Tabla 57

Características del inversor con los niveles de capacidad del sistema

Potencia del sistema (kWp)	Potencia del inversor (kW)	Eficiencia del inversor	SR _{AC}	Marca y modelo inversor
0,90	1,00	97,40 %	0,90	Growatt MIC 1000TL-X
1,80	1,50	97,40 %	1,20	Growatt MIC 1500TL-X
2,70	2,50	98,20 %	1,08	Growatt MIN 2500TL-XE
3,15	3,00	98,20 %	1,05	Growatt MIN 3000TL-X
3,60	3,00	98,20 %	1,20	Growatt MIN 3000TL-X
4,05	3,60	98,40 %	1,13	Huawei SUN2000-3.68KTL-L1
4,50	4,00	98,60 %	1,13	Huawei SUN2000L-4KTL
5,40	5,00	98,60 %	1,08	Fronius PRIMO 5.0-1

Los paneles fotovoltaicos son de la misma marca que se presentó en la Tabla 29 y en el Anexo 40. En la Tabla 58, se presentan los valores de energía generada para cada capacidad fotovoltaica en análisis.

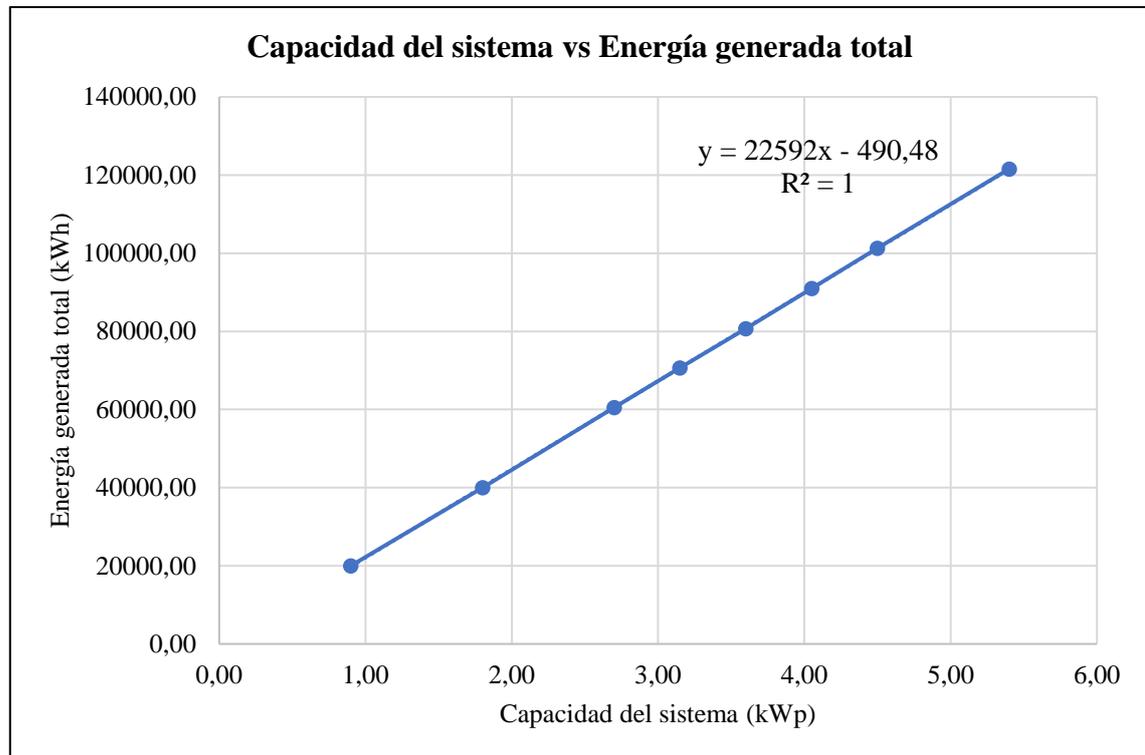
Tabla 58

Energía generada anual para cada nivel de capacidad del sistema

Potencia (kWp)	0,90	1,80	2,70	3,15	3,60	4,05	4,50	5,40
Año	Energía generada (kWh/año)							
1	1058,09	2116,18	3200,33	3733,72	4267,11	4810,28	5355,62	6426,74
2	1051,63	2103,27	3180,81	3710,95	4241,08	4780,94	5322,95	6387,54
3	1045,22	2090,44	3161,41	3688,31	4215,21	4751,77	5290,48	6348,57
4	1038,84	2077,68	3142,13	3665,81	4189,50	4722,79	5258,21	6309,85
5	1032,51	2065,01	3122,96	3643,45	4163,94	4693,98	5226,13	6271,36
6	1026,21	2052,41	3103,91	3621,23	4138,54	4665,34	5194,25	6233,10
7	1019,95	2039,89	3084,97	3599,14	4113,30	4636,89	5162,57	6195,08
8	1013,73	2027,45	3066,16	3577,18	4088,21	4608,60	5131,08	6157,29
9	1007,54	2015,08	3047,45	3555,36	4063,27	4580,49	5099,78	6119,73
10	1001,30	2002,59	3028,56	3533,32	4038,08	4552,09	5068,16	6081,79
11	996,09	1992,18	3012,81	3514,94	4017,08	4528,42	5041,80	6050,16
12	990,61	1981,22	2996,24	3495,61	3994,99	4503,51	5014,07	6016,89
13	985,16	1970,32	2979,76	3476,39	3973,01	4478,74	4986,50	5983,79
14	979,74	1959,49	2963,37	3457,27	3951,16	4454,11	4959,07	5950,88
15	974,35	1948,71	2947,07	3438,25	3929,43	4429,61	4931,80	5918,15
16	969,00	1937,99	2930,86	3419,34	3907,82	4405,25	4904,67	5885,60
17	963,67	1927,33	2914,74	3400,53	3886,33	4381,02	4877,69	5853,23
18	958,37	1916,73	2898,71	3381,83	3864,95	4356,92	4850,87	5821,04
19	953,10	1906,19	2882,77	3363,23	3843,69	4332,96	4824,19	5789,02
20	947,85	1895,71	2866,91	3344,73	3822,55	4309,13	4797,65	5757,19
Ettotal (kWh)	20012,94	40025,88	60531,95	70620,61	80709,26	90982,85	101297,52	121557,03
Eprom (kWh)	1000,65	2001,29	3026,60	3531,03	4035,46	4549,14	5064,88	6077,85

Figura 47

Capacidad del sistema vs Energía generada



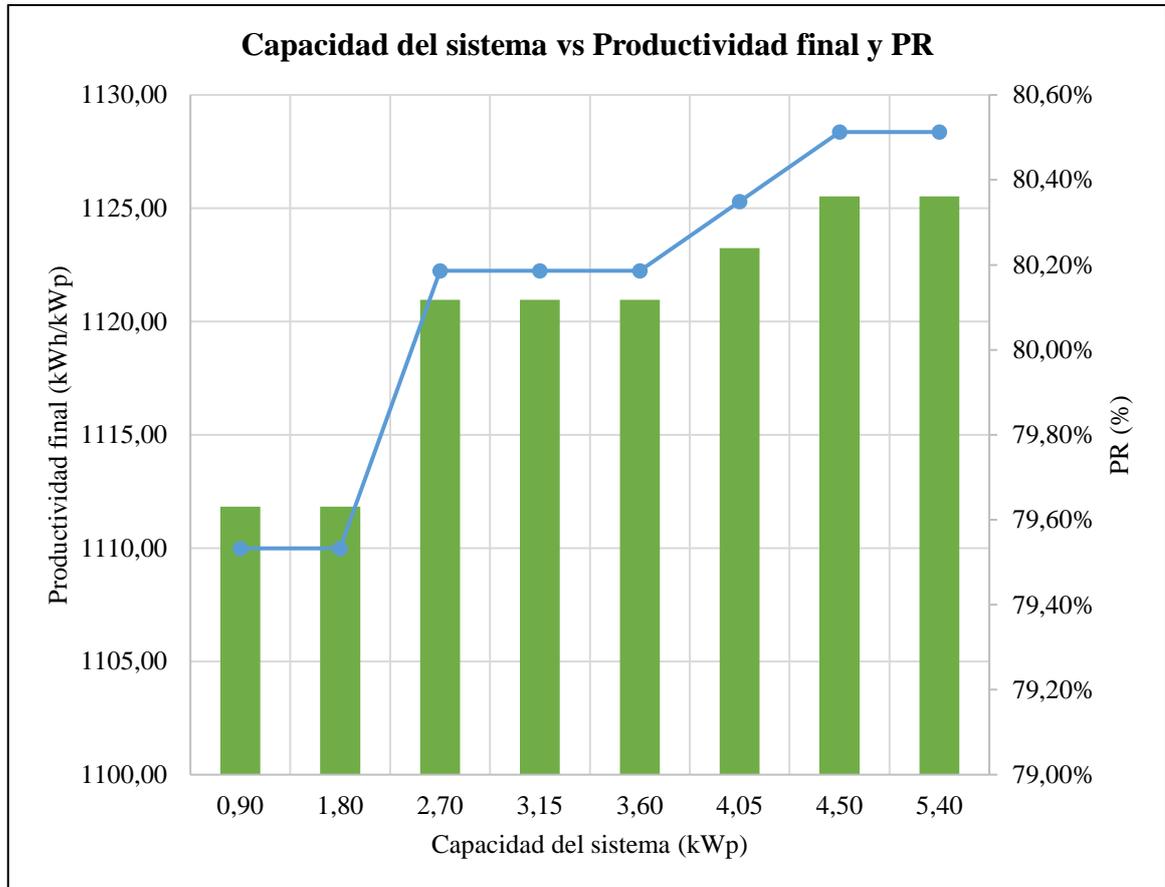
Tal como era de esperarse, la relación existente entre la capacidad del sistema y la energía generada es directamente proporcional y lineal, como se aprecia en la Figura 47.

En lo que respecta a los siguientes indicadores, en la Tabla 57 se aprecia las eficiencias de los inversores escogidos, la cual repercute directamente con el indicador de productividad final del sistema y el performance ratio. Esto se puede corroborar en la Tabla 59 que se muestra a continuación:

Tabla 59

Capacidad del sistema vs Productividad final y PR

Nº paneles	Potencia del sistema (kWp)	Productividad final (kWh/kWp)	PR (%)
2	0,90	1111,83	79,53%
4	1,80	1111,83	79,53%
6	2,70	1120,96	80,19%
7	3,15	1120,96	80,19%
8	3,60	1120,96	80,19%
9	4,05	1123,25	80,35%
10	4,50	1125,53	80,51%
12	5,40	1125,53	80,51%

Figura 48*Capacidad del sistema vs Productividad final y PR*

Es evidente, como se observa en el Figura 48, que al aumentar la eficiencia del inversor como se aprecia en la Tabla 57, la productividad final y el PR aumenta, sin embargo, las variaciones son realmente pequeñas debido a la corta diferencia entre las eficiencias del inversor seleccionado para cada capacidad.

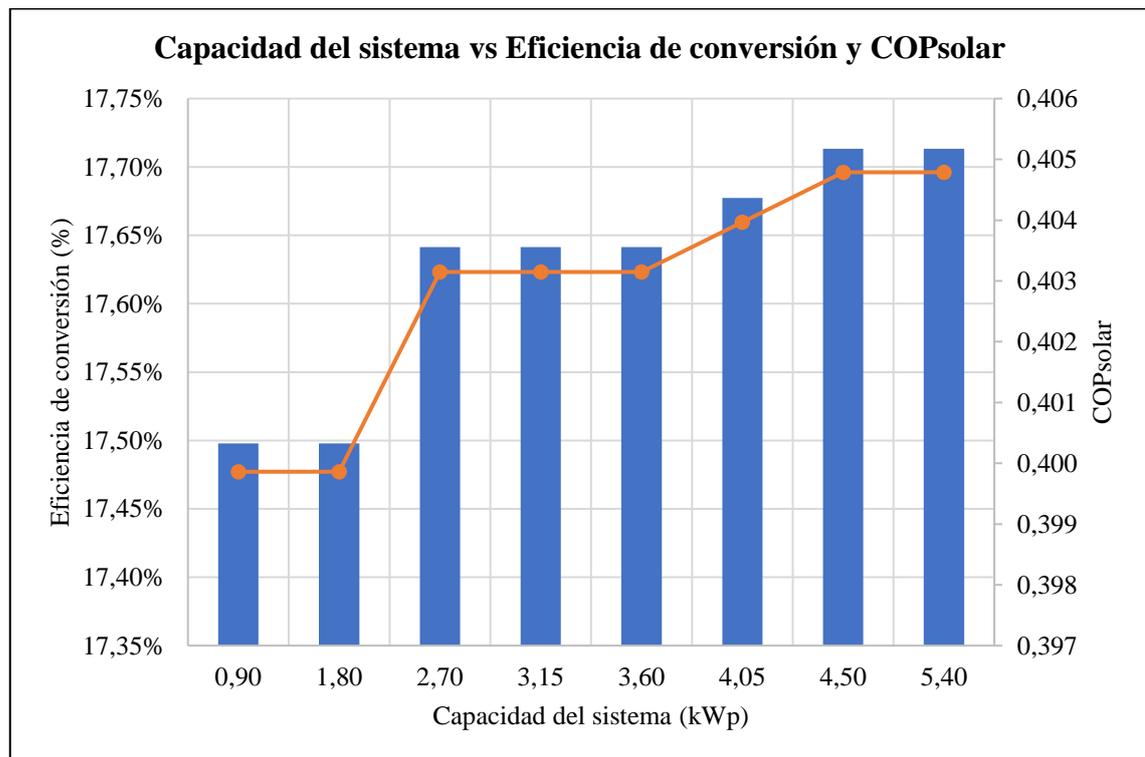
Tabla 60*Capacidad del sistema vs COP, eficiencia de conversión y COPsolar*

N° paneles	Potencia del sistema (kWp)	COP	Eficiencia de conversión η_{SFV}	COPsolar
2	0,90	2,29	17,50%	0,400
4	1,80	2,29	17,50%	0,400
6	2,70	2,29	17,64%	0,403
7	3,15	2,29	17,64%	0,403
8	3,60	2,29	17,64%	0,403
9	4,05	2,29	17,68%	0,404
10	4,50	2,29	17,71%	0,405
12	5,40	2,29	17,71%	0,405

En la Tabla 60, se toma en cuenta un COP promedio para cada capacidad del sistema, dado que las necesidades energéticas relacionadas a la potencia térmica de climatización se consideran constantes a través del tiempo. Por otro lado, se observa que la eficiencia de conversión y el COPsolar varían ligeramente, relacionándose de igual forma con la eficiencia del inversor escogido para cada potencia del sistema, como se aprecia en la Figura 49.

Figura 49

Capacidad del sistema vs Eficiencia de conversión y COPsolar



En relación con los indicadores de la fracción solar, el ratio de autoconsumo y el indicador de evaluación integral, en la Tabla 61, se aprecian sus valores correspondientes. La fracción solar, como era de esperarse, aumenta en sintonía con la potencia del sistema fotovoltaico, mientras que, por el contrario, el ratio de autoconsumo disminuye paulatinamente al aumentar la potencia fotovoltaica. El indicador de evaluación integral relaciona ambos indicadores, para responder de manera técnica y conocer la potencia del sistema óptima, para lo cual el valor debe ser máximo, siendo esta capacidad la de 3,60 kWp (8 paneles), como se desarrolló en los incisos anteriores en el presente capítulo. En la Figura 50 se aprecian los valores de la fracción solar y el ratio de autoconsumo,

mientras que en la Figura 51, apreciamos el valor del indicador de evolución integral para cada potencia del sistema.

Tabla 61

Fracción solar, ratio de autoconsumo e indicador de evaluación integral del sistema

N° paneles	Potencia del sistema (kWp)	SF (%)	SCR (%)	CEI
2	0,90	24,27%	88,54%	0,5641
4	1,80	48,55%	88,54%	0,6854
6	2,70	73,24%	88,34%	0,8079
7	3,15	81,70%	84,61%	0,8315
8	3,60	87,36%	79,26%	0,8331
9	4,05	91,08%	73,36%	0,8222
10	4,50	94,13%	68,13%	0,8113
12	5,40	97,84%	59,12%	0,7848

Figura 50

Fracción solar y ratio de autoconsumo para diferentes capacidades del sistema

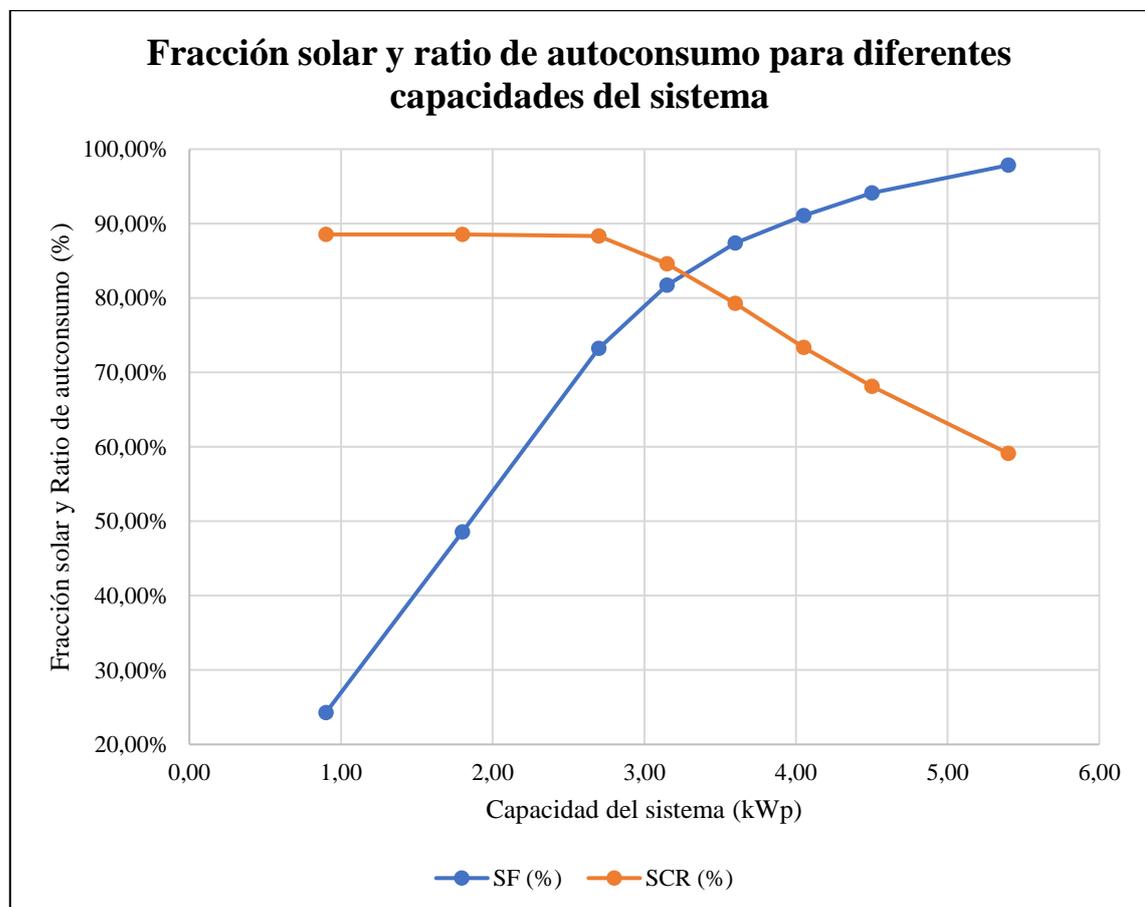
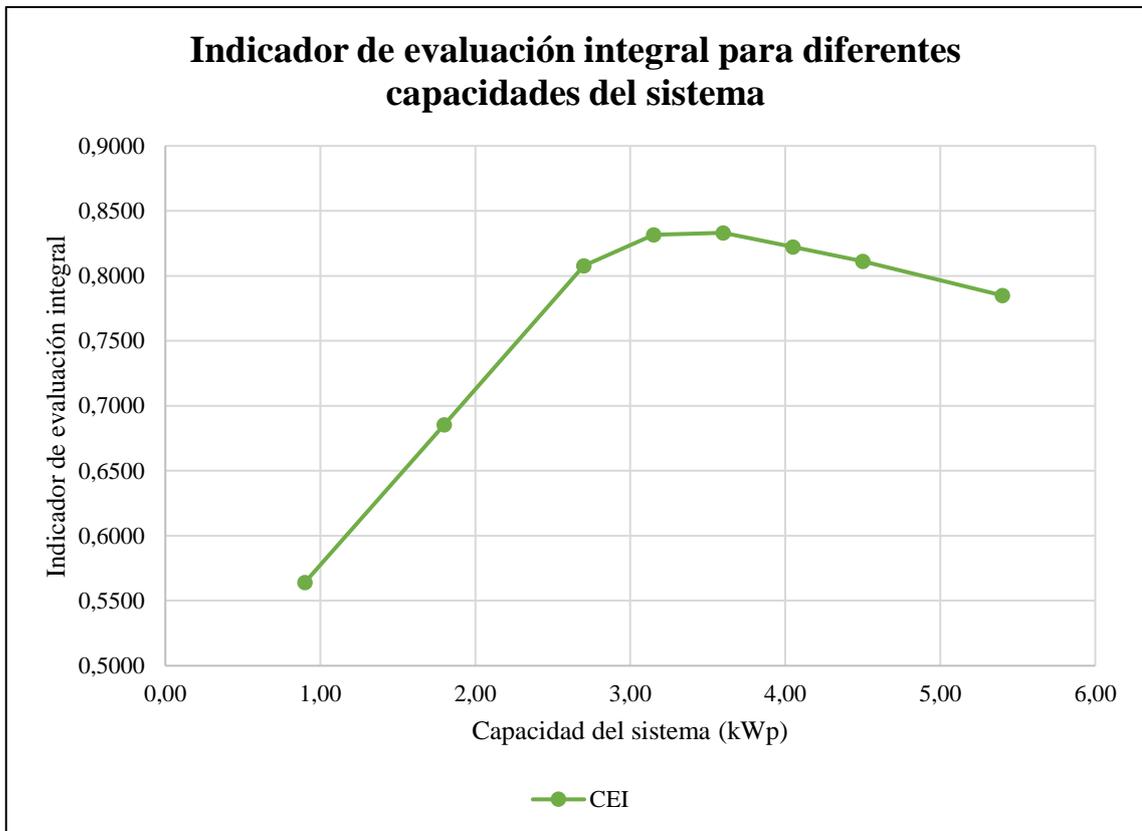


Figura 51

Indicador de evaluación integral para diferentes capacidades del sistema



En función a lo planteado, se evaluaron también los indicadores económicos, para conocer el impacto de la variación de la capacidad del sistema fotovoltaico que alimente a un equipo de climatización, es por ello que en la Tabla 62 se presentan los indicadores de TIR y PRI, así como la inversión y su relación con respecto a la potencia del sistema.

Tabla 62

TIR, PRI e inversión para diferentes capacidades del sistema

N° paneles	Potencia del sistema (kWp)	Inversión total (S/)	Inversión por potencia (S//kWp)	TIR (%)	PRI (años)
2	0,90	13340,47	14822,75	-4,96%	28,54
4	1,80	15687,33	8715,18	4,72%	12,21
6	2,70	19894,13	7368,20	7,47%	10,69
7	3,15	19678,43	6247,12	10,95%	7,57
8	3,60	20739,25	5760,90	12,61%	6,90
9	4,05	23930,16	5908,68	11,83%	7,09
10	4,50	27273,27	6060,73	11,09%	7,28
12	5,40	32776,51	6069,72	9,63%	7,50

Figura 52

Inversión por potencia del sistema para diferentes capacidades del sistema

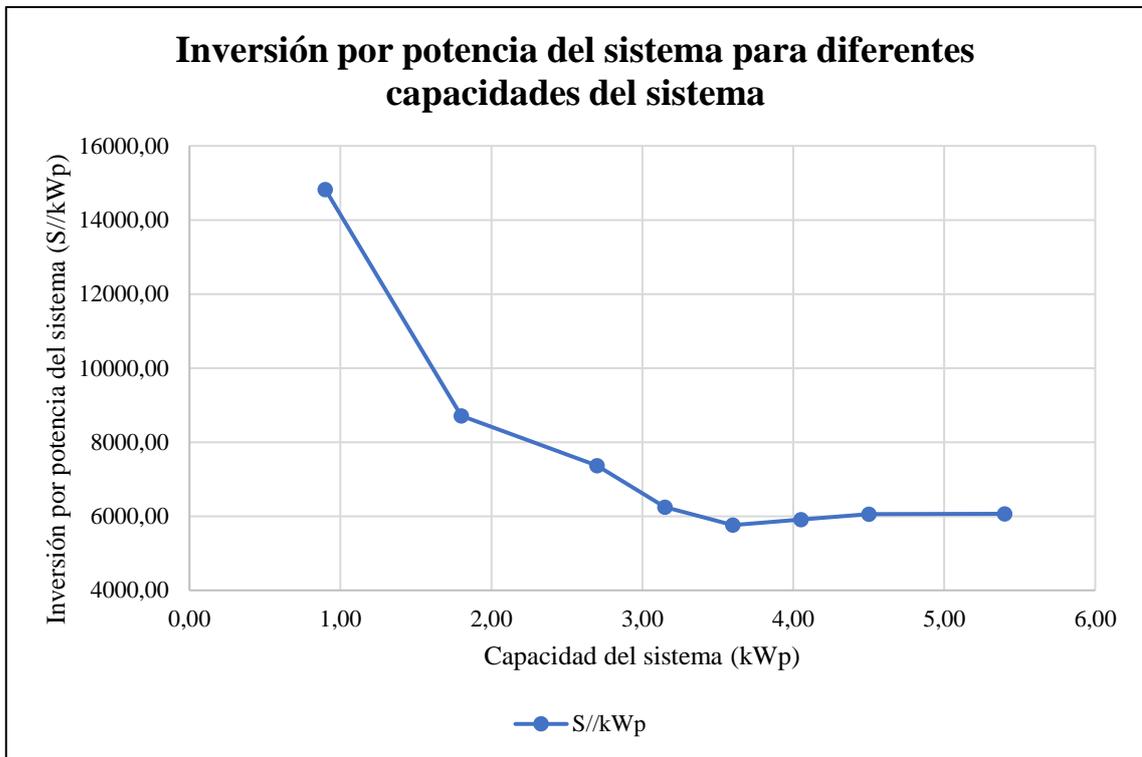


Figura 53

TIR para diferentes capacidades del sistema

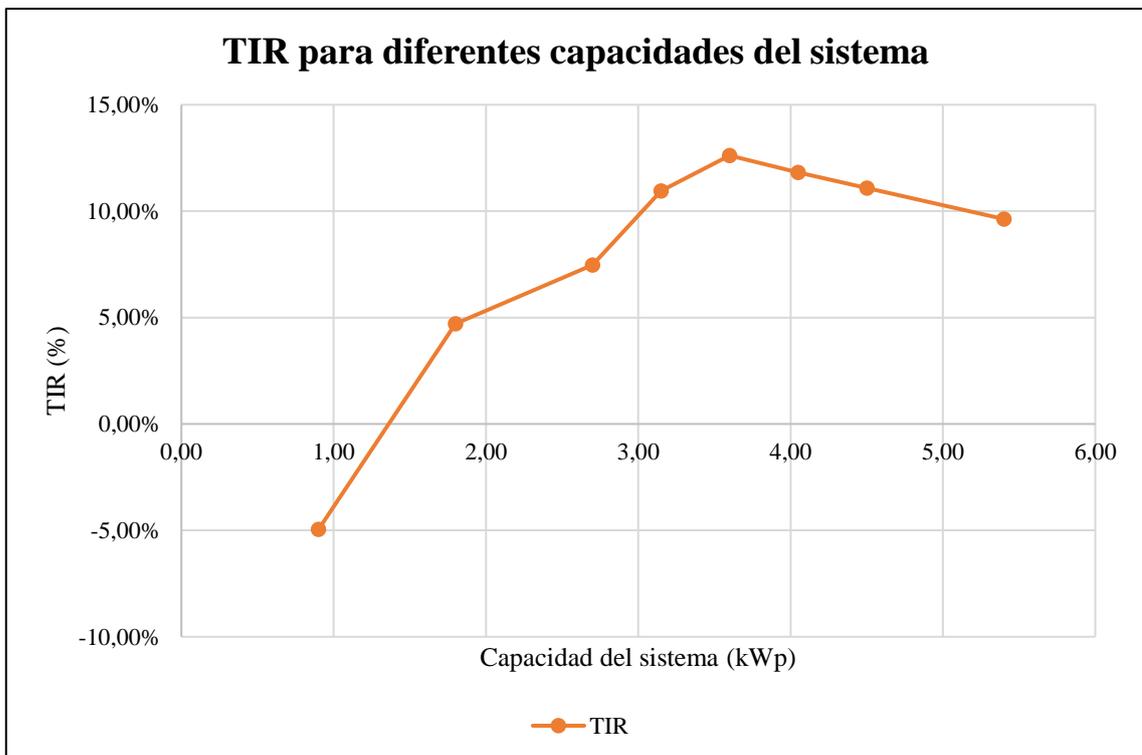


Tabla 63*VAN para cada nivel de capacidad del sistema*

Potencia (kWp)	0,90	1,80	2,70	3,15	3,60	4,05	4,50	5,40
Tasa de descuento (%)	Valor actual neto (S/)							
-6,00 %	1823,29							
-5,00 %	67,07							
-4,00 %	-1410,42							
-3,00 %	-2659,97							
-2,00 %	-3722,36							
-1,00 %	-4630,43							
0,00 %	-5410,71	8424,27	18339,53	28695,57	36010,40	38436,92	40562,71	38559,21
1,00 %	-6084,72	6146,21	14652,91	24010,84	30496,24	32356,45	33930,02	31853,70
2,00 %	-6669,98	4173,01	11466,23	19956,19	25723,39	27099,36	28201,26	26050,29
3,00 %	-7180,80	2456,74	8700,43	16432,93	21575,94	22536,14	23233,51	21007,02
4,00 %	-7628,89	957,79	6290,20	13359,40	17957,90	18559,64	18908,61	16606,51
5,00 %	-8023,90	-356,68	4181,40	10667,77	14789,57	15080,95	15128,56	12751,33
6,00 %	-8373,79	-1513,99	2329,01	8301,57	12004,52	12026,04	11811,87	9360,44
7,00 %	-8685,17	-2536,94	695,50	6213,62	9547,24	9333,11	8890,56	6366,15
8,00 %	-8963,52	-3444,60	-750,54	4364,36	7371,19	6950,40	6307,73	3711,83
9,00 %	-9213,43	-4252,99	-2035,46	2720,55	5437,25	4834,44	4015,64	1349,90
10,00 %	-9438,73	-4975,62	-3181,45	1254,17	3712,42	2948,59	1974,11	-759,72
11,00 %	-9642,65	-5623,90	-4207,22	-58,48	2168,77	1261,91	149,20	-2650,87
12,00 %	-9827,93	-6207,49	-5128,64	-1237,51	782,63	-251,83	-1487,80	-4352,23
13,00 %	-9996,88	-6734,61	-5959,16	-2300,02	-466,17	-1614,95	-2961,29	-5888,18
14,00 %	-10151,45	-7212,29	-6710,26	-3260,60	-1594,82	-2846,42	-4292,03	-7279,48

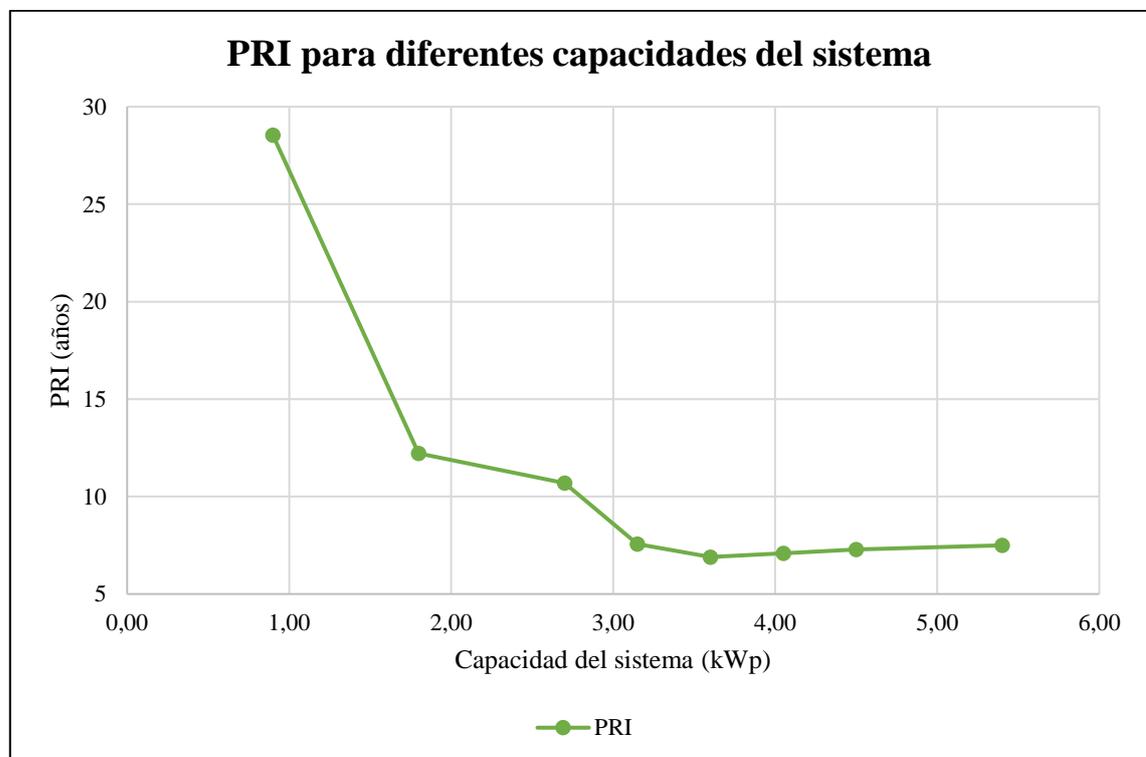
En la Figura 52, podemos apreciar que el precio por kilo Watt pico menor se relaciona con el sistema fotovoltaico de 3,60 kWp de capacidad (8 paneles), siendo su valor de 5760,90 S//kWp. Se debe tener en cuenta que existe un presupuesto que no varía con respecto a la reducción o aumento de la capacidad del sistema. Dicho presupuesto está relacionado a los equipos de protección y maniobra, así como el sistema de puesta a tierra y los costos relacionados con la instalación en particular.

En la Figura 53, en relación con el TIR, dicho indicador toma su máximo valor para el sistema fotovoltaico de 3,60 kWp de capacidad (8 paneles), siendo de 12,61 %. En la Figura 54, el periodo de recuperación de la inversión muestra su valor mínimo para la misma capacidad del sistema fotovoltaico siendo de 6,90 años.

La Tabla 63, muestra los cálculos realizados para determinar el VAN para diferentes tasas de descuento y diferentes capacidades del sistema fotovoltaico. Es necesario mencionar que, a partir de la potencia de 3,15 kWp (7 paneles), el TIR relacionado supera la tasa de descuento del 10 %, que se tomó como referencia en la investigación.

Figura 54

PRI para diferentes capacidades del sistema



En lo que corresponde al LCOE para cada capacidad del sistema, sus valores correspondientes se observan en la Tabla 64, para diferentes tasas de descuento. Los resultados se relacionan con los indicadores económicos expuestos en párrafos anteriores.

Tabla 64

LCOE para diferentes tasas de descuento en cada nivel de capacidad del sistema

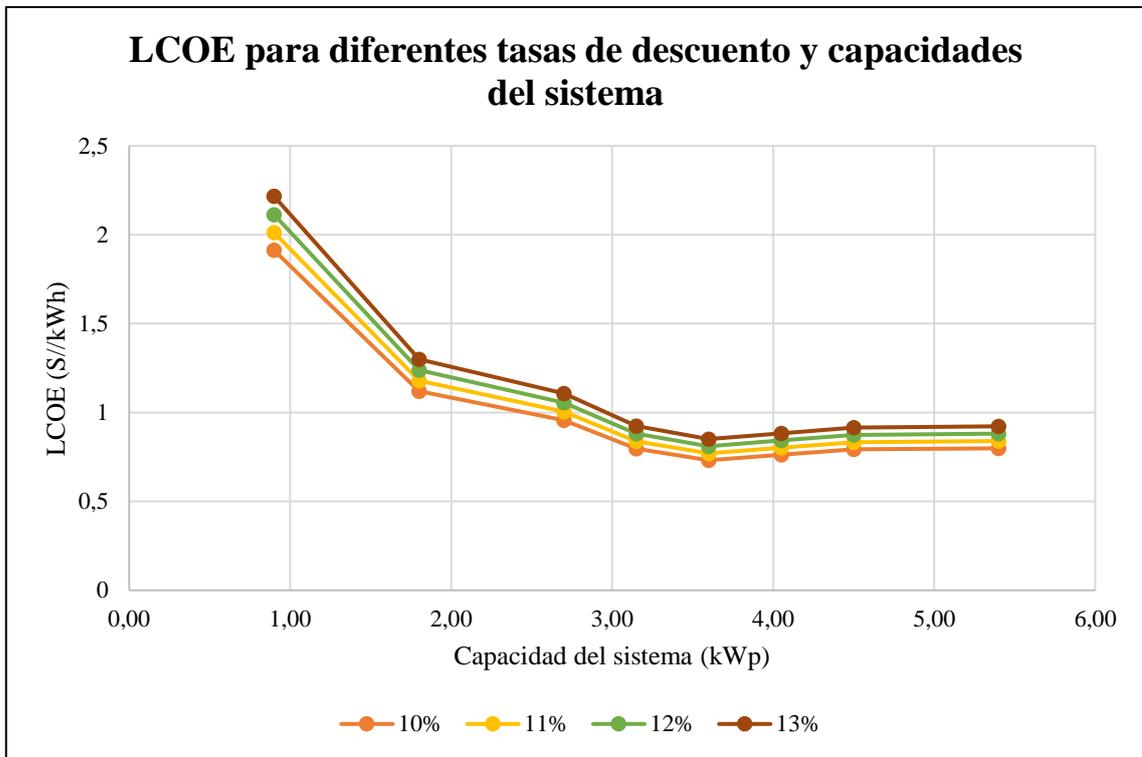
Potencia (kWp)	0,90	1,80	2,70	3,15	3,60	4,05	4,50	5,40
Tasa de descuento (%)	LCOE (S//kWh)							
0,00 %	1,076	0,6226	0,5364	0,4381	0,4004	0,4235	0,4449	0,4496
1,00 %	1,1453	0,664	0,5718	0,468	0,4281	0,4522	0,4745	0,4795
2,00 %	1,218	0,7074	0,6088	0,4994	0,4572	0,4821	0,5053	0,5106
3,00 %	1,2941	0,75228	0,6474	0,5322	0,4875	0,5133	0,5373	0,5428
4,00 %	1,3735	0,8001	0,6874	0,5662	0,519	0,5456	0,5705	0,5763
5,00 %	1,4561	0,8492	0,729	0,6016	0,5517	0,5792	0,6049	0,6108
6,00 %	1,5418	0,9001	0,7719	0,6383	0,5856	0,6139	0,6404	0,6465
7,00 %	1,6304	0,9528	0,8163	0,6761	0,6206	0,6496	0,6769	0,6832
8,00 %	1,7219	1,0071	0,8619	0,715	0,6567	0,6864	0,7145	0,7209
9,00 %	1,8161	1,063	0,9088	0,7551	0,6937	0,7242	0,753	0,7595
10,00 %	1,9128	1,1203	0,9568	0,7961	0,7317	0,7628	0,7925	0,799
11,00 %	2,0118	1,179	1,0059	0,8381	0,7705	0,8024	0,8327	0,8393
12,00 %	2,1132	1,2389	1,056	0,881	0,8102	0,8427	0,8738	0,8804
13,00 %	2,2165	1,3001	1,1071	0,9247	0,8506	0,8838	0,9157	0,9223
14,00 %	2,3219	1,3624	1,1591	0,9692	0,8917	0,9256	0,9582	0,9648

Se observa hasta el nivel de potencia fotovoltaica de 3,60 kWp, que el valor de LCOE se va reduciendo paulatinamente, sin embargo, a partir de dicho nivel, su valor vuelve a aumentar, esto se relaciona con el presupuesto y el valor de la potencia pico para cada nivel como se observa en la Tabla 62 y Figura 52.

En la Figura 55, se compara para diferentes valores de las tasas de descuento, el valor del LCOE con respecto a la capacidad del sistema. Como se describió en la Figura 45, el LCOE varía de manera directamente proporcional con respecto a la tasa de descuento.

Figura 55

LCOE para diferentes tasas de descuento y capacidades del sistema



En correspondencia con los indicadores de Equivalente de CO₂, se muestran sus valores en la Tabla 65. Se aprecia que la relación con respecto a la capacidad del sistema es directamente proporcional y lineal para las emisiones generadas y reemplazas como se observa en la Figura 56, mientras que el periodo de compensación de emisiones se va estabilizando alrededor de los 7,54 años como se ve en la Figura 57.

Tabla 65

Emisiones equivalentes de CO₂ para diferentes capacidades del sistema

N° paneles	Potencia del sistema (kWp)	LCE _{CO2G} (kgCO ₂)	LCE _{CO2R} (kgCO ₂)	Balace general (kgCO ₂)	Periodo de compensación (años)
2	0,90	3602,40	5225,38	1622,98	13,61
4	1,80	5255,40	10450,76	5195,36	9,87
6	2,70	6908,40	15804,89	8896,49	8,56
7	3,15	7734,90	18439,04	10704,14	8,21
8	3,60	8561,40	21073,19	12511,79	7,94
9	4,05	9387,90	23755,62	14367,72	7,72
10	4,50	10214,40	26448,78	16234,38	7,54
12	5,40	11867,40	31738,54	19871,14	7,30

Figura 56

Emisiones equivalentes de CO₂ para diferentes capacidades del sistema

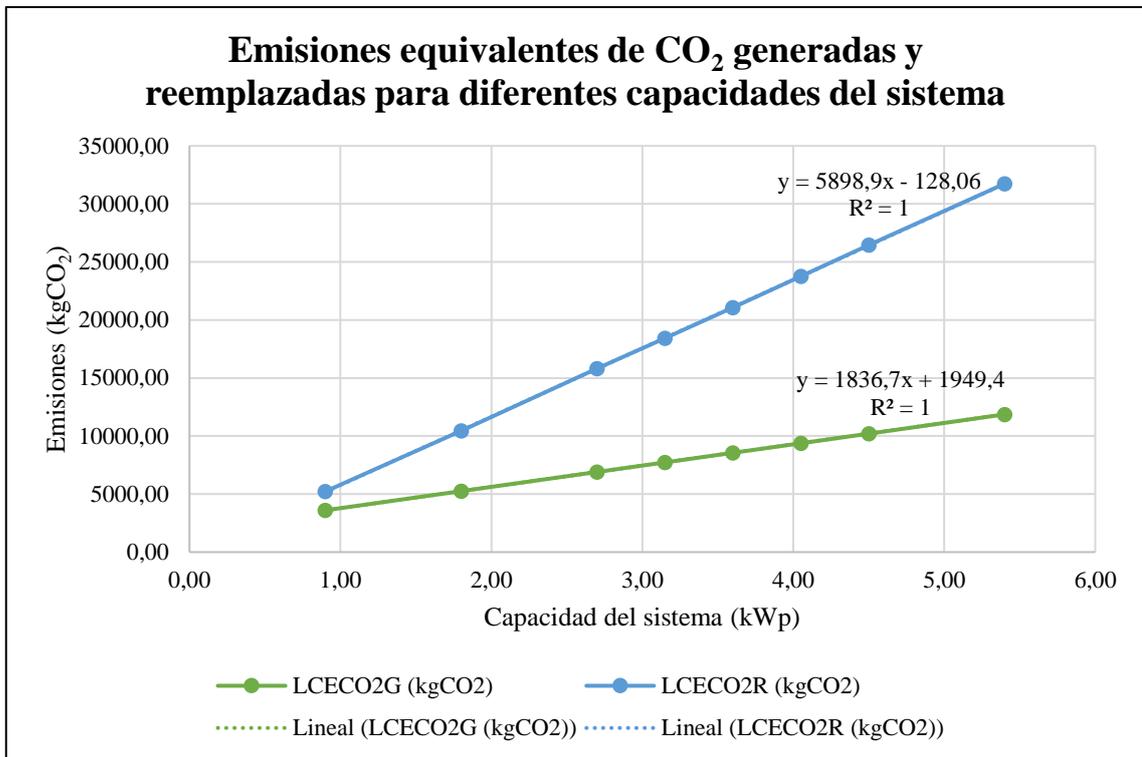
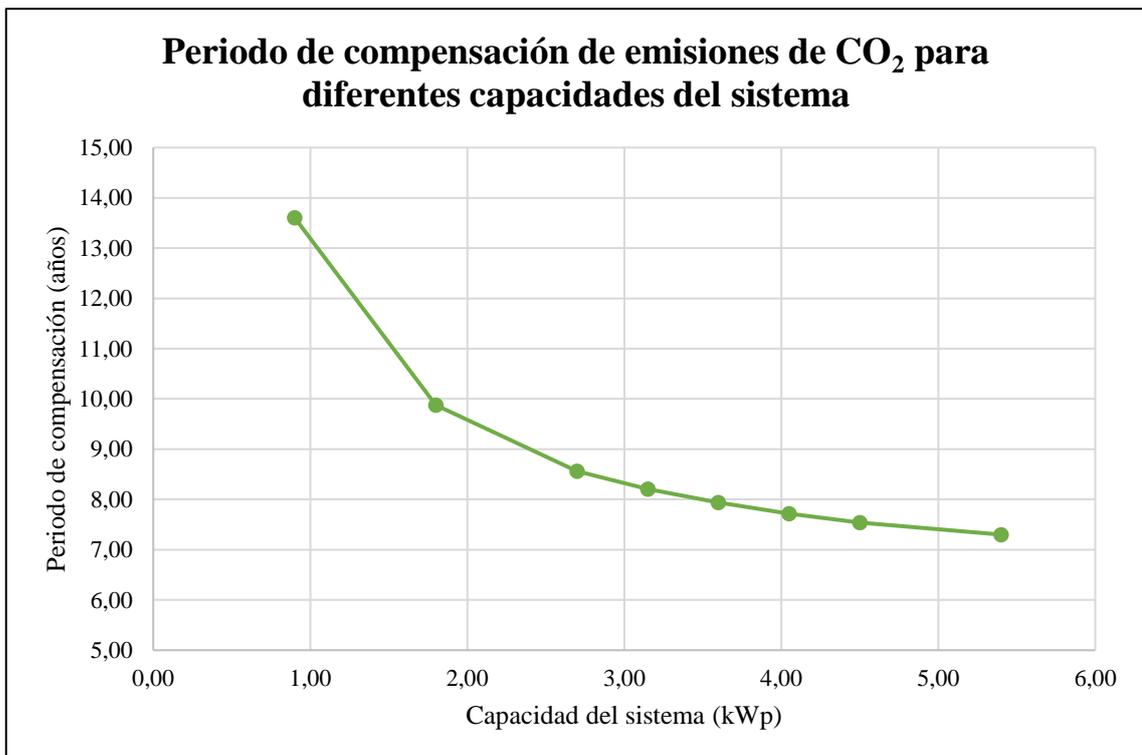


Figura 57

Periodo de compensación de emisiones de CO₂ para diferentes capacidades del sistema



4.2. DISCUSIÓN

En relación con el objetivo general, estudiar la implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote, los indicadores técnicos evaluados para diferentes capacidades del sistema fotovoltaico encargado de suministrar energía al equipo de climatización demuestran que una capacidad de 3,60 kWp (8 paneles), relaciona de manera máxima los indicadores de fracción solar y de ratio de autoconsumo siendo estos de 87,36 % y 79,26 % respectivamente. El indicador de evaluación integral demuestra que esta configuración optimiza el tamaño del sistema con un valor de 0,8331, como se aprecia en la Tabla 61 y en las Figuras 50 y 51. En relación con los indicadores económicos, la inversión por potencia toma valores mínimos para una capacidad de 3,60 kWp (8 paneles), mientras que maximiza el valor del TIR a 12,61 % y reduce el periodo de recuperación de la inversión a 6,90 años como se observa en la Tabla 66 y en las Figuras 52 y 53. En sintonía con lo mencionado, el valor del LCOE se minimiza de igual forma para la capacidad mencionada llegando a un valor de 0,7317 S//kWh como se aprecia en la Tabla 64 y Figura 55. En lo que respecta a los indicadores de emisiones equivalentes de CO₂, como era de esperarse las emisiones son proporcionales a la capacidad del sistema, sin embargo, el periodo de compensación se estabiliza alrededor de los 7,54 años, como se aprecia en la Tabla 65 y Figura 57. Los valores de dichos indicadores demuestran que la implementación de un sistema de autoconsumo solar fotovoltaico dedicado al suministro de energía para climatización del ambiente físico en estudio, puede llegar a cubrir hasta un 87,36 % en promedio, de la energía requerida anual, con valores de eficiencia energética del sistema óptimos, en comparación con Chen et al. (2020), Chira et al. (2020) o Regalado (2017). Sin descuidar la dimensión de los indicadores económicos, siendo estos adecuados y competitivos con el mercado fotovoltaico actual, y mitigando en gran medida la emisión de equivalentes de CO₂, en virtud de la lucha contra el cambio climático. En ese sentido Zhao et al. (2018), reconoce las ventajas en eficiencia energética e integración económica y ambiental de este tipo de sistemas. Es por ello que el sistema en estudio, se erige como una gran alternativa para asegurar la accesibilidad técnica, económica y ambiental del confort térmico y la ergonomía dentro del centro de labores en estudio.

Respecto al primer objetivo específico, determinar la carga térmica que debe abastecer el sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización

del ambiente físico de estudio, en la Figura 29, se precisa la carga térmica de refrigeración para los meses de verano. El perfil de carga mostrado concuerda en gran medida con el perfil típico ejemplificado por ASHRAE (2017a). En dicho perfil, se aprecian dos puntos máximos de potencia térmica que se dan a lo largo del día, el primero alrededor de las 9 am (hora solar) y el segundo punto máximo corresponde al pico diario de potencia requerida y ocurre a las 4 pm (hora solar). Con respecto a lo mencionado, la potencia térmica máxima en la investigación, ocurre en el mes de febrero y equivale a 16105,04 BTU/h. De la potencia térmica aludida, el 59,71 % de la misma se debe exclusivamente a las aportaciones de las cargas externas. Un 26,01 % corresponde a las cargas internas y un 14,28 % corresponde a la carga por ventilación.

En lo que corresponde a la carga térmica de calefacción, de la Figura 30, es evidente mencionar que, al no considerar las cargas internas ni el aporte de radiación solar como refiere Spitler (2014), su valor se ve disminuido en gran medida. Es así que la carga térmica de calefacción máxima es de 11747,71 BTU/h y ocurre en el mes de setiembre. Las aportaciones por las cargas externas alcanzan el 86,81 %, mientras que la carga de ventilación aporta con el 13,19 %. El porcentaje de aportación correspondiente a las cargas externas crece de manera significativa al no tomarse en cuenta las aportaciones internas, si lo comparamos con los porcentajes de aportación mencionados para la carga térmica máxima de refrigeración. Por otro lado, las aportaciones por cargas de ventilación no se ven realmente afectadas, teniendo valores similares.

La carga térmica máxima de refrigeración es un 37,09 % mayor a la carga térmica máxima de calefacción para el mismo ambiente físico. Sin embargo, con respecto a la carga térmica mínima que se suscita en el año, para el mes de mayo (9579,39 BTU/h), la diferencia es de un 68,12 %. Si se ordena las cargas térmicas calculadas y mostradas en la Figura 31, con respecto a las temperaturas ambiente mostradas en la Tabla 17, podemos decir que la carga térmica está directamente influenciada por la temperatura ambiente para cada mes. Esto guarda concordancia con el método usado para determinar la carga térmica (Ahmed, 2012), debido a que el elemento diferenciador siempre corresponde al diferencial de temperatura usado, el cual, mientras mayor sea su valor, su aportación térmica también lo será. Finalmente, la carga térmica comercial que se escoge (18000 BTU/h), debe ser superior a la máxima carga térmica calculada, para asegurar en todo momento que se cuenta con la suficiente capacidad para abastecer el requerimiento térmico.

La capacidad de enfriamiento con respecto al área a climatizar, según Mejía y Salazar (2020), puede presentar valores de 0,1053 kW/m², 0,1351 kW/m² y 0,20 kW/m², siendo estos considerados, bajos, medios o altos respectivamente. En la investigación dicho valor se corresponde a 0,184 kW/m². En particular Chen et al. (2020) presenta un valor de 0,13 kW/m², el cual corresponde a un valor medio. Aguilar et al. (2019), Opoku et al. (2018) y Chira et al (2020), presentan a su vez valores de 0,10, 0,08 y 0.109 kW/m² respectivamente, que se designan como valores bajos. En contraposición, Mitma (2021), al estudiar la potencia térmica requerida para un centro de cómputo, presenta un valor de 0,20 kW/m², lo que corresponde a un valor alto, y está relativamente cerca al encontrado para la investigación. Esto se puede explicar porque, en la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote, existe una gran cantidad de equipos electrónicos similar a un centro de cómputo, y debido a ellos, el aporte por cargas internas es significativo para la potencia térmica en general.

Acerca del segundo objetivo específico, dimensionar los componentes del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, el análisis del recurso solar realizado para el distrito de Nuevo Chimbote evidenciado en la Figura 33, demuestra que la ciudad cuenta con un valor de irradiación diaria promedio al año de 5,87 kWh/m².día. El valor mínimo se presenta en el mes de Julio siendo de 5,03 kWh/m².día, mientras que el valor máximo ocurre en el mes de abril siendo de 6,61 kWh/m².día. Estos datos se obtuvieron para un ángulo de inclinación de 15°. En la investigación de Vega (2019), realizada en Jaén, el valor de irradiación diaria promedio al año fue de 4,79 kWh/m².día para un ángulo de inclinación de 5°. Por su parte, Mitma (2021), para la región Callao obtuvo una irradiación diaria promedio al año de 5,19 kWh/m².día, cuyos valores fueron trabajados con un ángulo de inclinación de 5°. Regalado (2017), para la ciudad de Piura evidenció un valor de irradiación diaria promedio al año de 5,60 kWh/m².día, valor obtenido para una instalación sin ángulo de inclinación, es decir, horizontal.

Los valores más cercanos a la irradiación solar en Nuevo Chimbote, se deben a que ciudades como Piura o Callao presentan un clima desértico costero, particularmente Callao y Nuevo Chimbote son zonas con altos niveles de humedad relativa. Por el contrario, en la ciudad de Jaén, debido a su cercanía con la selva altiplánica y las corrientes frías de las regiones altoandinas, se presenta un clima templado cálido con valores bajos de humedad relativa, y sus cambios atmosféricos se caracterizan por la presencia de neblina. Lo dicho hasta aquí

supone que las condiciones climáticas propias del lugar de instalación representan un parámetro de influencia significativo para conocer el ángulo de inclinación del arreglo fotovoltaico, la irradiación solar que incida y los posteriores cálculos técnicos en los que se incurra para la investigación.

El rendimiento energético o performance ratio es un parámetro de gran utilidad para conocer el comportamiento de sistemas fotovoltaicos. La presente investigación indica un valor calculado del rendimiento energético promedio anual de 80,19 %, el cual se aprecia en la Tabla 27. En esa misma línea de ideas, Gosgot (2022), para su investigación, indicó un valor similar de 80,43 % para una instalación con paneles fotovoltaicos del tipo PERC. Por su parte Chira et al (2020), obtuvo un valor de 83,20 %. Dierauf et al. (2013), indica que los rendimientos energéticos correspondiente a nuevos sistemas fotovoltaicos se encuentran dentro del rango de 60 a 90 %. Es por lo mencionado, que el valor de rendimiento energético para la investigación se encuentra dentro del rango óptimo.

La potencia pico dimensionada para el sistema fotovoltaico es de 3,60 kWp, con un inversor de conexión a red de 3,00 kW de potencia. La relación SR_{AC} para el sistema estudiado se presenta en la Tabla 3 y es de 1,20. Similares valores obtuvo Chen et al (2020), con una capacidad del arreglo fotovoltaico de 3,20 kWp y un inversor de conexión a red de 3 kW, siendo el valor de SR_{AC} de 1,07. Chira et al. (2020), presenta un valor de SR_{AC} de 1,125. Gosgot (2022), establece un valor de SR_{AC} igual a 1,12. Sin embargo Opoku et al. (2018), presenta un valor mucho menor de SR_{AC} , siendo este de 0,65. Valores del SR_{AC} cercanos a 1 y no superiores a 1,20 son los más adecuados al momento de dimensionar un sistema fotovoltaico (Perpiñán, 2020). Es muy habitual tener valores superiores a la unidad, debido a que se prioriza en la mayoría de ocasiones el aspecto económico, para minimizar el costo inicial de la instalación.

En cuanto al tercer objetivo específico, estimar el valor de los indicadores técnicos del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, la energía generada por el sistema es de 4267,11 kWh/año, para el primer año de funcionamiento. En la Figura 37 se puede apreciar que debido a la degradación anual que sufren los paneles fotovoltaicos, al final del tiempo de funcionamiento del sistema, este puede generar 3822,55 kWh/año. La diferencia porcentual de la energía generada entre el primer y último año es de 10,42 %. La degradación anual del panel fotovoltaico se obtuvo de la ficha técnica del mismo (consultar Anexo 40, según

corresponda). Dicho valor es de 0,55 %. El cual difiere en gran medida al empleado por Gosgot (2022), para un panel de tecnología PERC, el cual fue de 0,06 %.

La productividad final del sistema en estudio mostrada en la Figura 38, se encuentra en un rango de 1061,82 hasta 1185,31 kWh/kWp. Siendo el valor mínimo el obtenido al final del tiempo de vida del sistema. Chira et al. (2020), obtuvo un valor de 1733,55 kWh/kWp, mientras que Gosgot (2022), presenta un rango de valores desde 1192,93 hasta 1378,29 kWh/kWp. En teoría, los valores de productividad final se encuentran entre 1300 a 1500 kWh/kWp, sin embargo, para instalaciones de conexión a red en funcionamiento, el rango de productividad final anual esta entre 900 a 1200 kWh/kWp (Castejón y Santamaría, 2010).

La fracción solar a lo largo del año en promedio es del 87,36 %, para el último año de funcionamiento del sistema como se evidencia en la Tabla 40, lo que quiere decir que el sistema de autoconsumo solar puede cubrir la necesidad energética del equipo de aire acondicionado en casi su totalidad a lo largo del año. Aguilar et al. (2019), en contraposición, determina una fracción solar de 70,3 % a lo largo del año. Chen et al. (2020), en su investigación obtiene que el sistema fotovoltaico provee de energía al equipo de climatización en hasta un 188 % para condiciones de operación anuales. Zhao et al (2018), presenta un valor ligeramente superior al 70 % para el indicador de la fracción solar. La irradiación solar de Nuevo Chimbote y la capacidad de la instalación fotovoltaica de la investigación, al ser mayores a los valores propuestos por Zhao et al. (2018) y Aguilar et al. (2019), permiten cubrir la necesidad energética del dispositivo de climatización de una mejor manera. El comportamiento a lo largo del año de la fracción solar también demuestra que está íntimamente ligada a la irradiación solar incidente, pues para la época de verano tiene valores mucho más altos, comparado a la época de invierno.

En referencia al ratio de autoconsumo, su valor promedio para el último año de funcionamiento del sistema se encuentra en 79,26 % como se evidencia en la Tabla 41. Zhao et al (2018), presenta un valor ligeramente superior al 60 % para el indicador del ratio de autoconsumo. El comportamiento a lo largo del año del ratio de autoconsumo también demuestra que está íntimamente ligado a la irradiación solar incidente, pues para la época de verano tiene valores mucho menores, comparado a la época de invierno. El ratio de autoconsumo está relacionado a que tanta energía fotovoltaica generada se usa específicamente para las necesidades energéticas, las cuales en este caso están relacionadas a la potencia de climatización del sistema.

En lo que respecta al indicador de evaluación integral, en la Tabla 42, se puede apreciar que presenta un valor promedio de 0,8331. Zhao et al (2018), presenta un valor ligeramente superior al 0,50 para el indicador de evaluación integral. El comportamiento a lo largo del año del indicador de evaluación integral también demuestra que está íntimamente ligado a la irradiación solar incidente, pues para la época de verano tiene valores mucho menores, comparado a la época de invierno. Sin embargo, este parámetro se presenta como un indicador decisivo al momento de establecer la capacidad del sistema fotovoltaico óptimo, como se aprecia en la Tabla 61 y la Figura 51.

El equipo de aire acondicionado escogido, presenta un COP máximo de 2,97 para la época de verano y un mínimo de 1,74 para la época de invierno, valores mostrados en la Tabla 43. En ese sentido Zhao et al. (2018), presenta un COP para el periodo de verano cercano a 4, mientras que para el invierno llega a 3,20. Esto indica que la capacidad de enfriamiento y calefacción del equipo seleccionado es significativamente inferior, comparándolo con la del equipo escogido por Zhao et al. (2018). Chen et al (2020), de igual manera presenta un COP alto de 3,53. Mientras que Opoku (2018), escogió un equipo de aire acondicionado con un COP de 3,1 para época de verano y 3,5 para la época de invierno. El comportamiento a lo largo del año muestra que el COP, tiene valores altos en la época de verano, sin embargo, en el periodo de invierno es donde el COP disminuye en gran medida su valor.

El valor de eficiencia de conversión del sistema fotovoltaico para la investigación se presenta en la Tabla 45 y se encuentra en un rango entre 17,26 % para marzo y 18,01 % para julio. Zhao et al. (2018), presenta un comportamiento similar de eficiencia, donde dicho indicador logra valores máximos en el periodo de invierno, mientras que en verano disminuye. Esto se debe para Perpiñán (2020), en general, a la dependencia de la eficiencia de conversión del sistema fotovoltaico, con respecto a la temperatura de celda en el arreglo fotovoltaico. Si la temperatura disminuye, la eficiencia aumenta y viceversa.

El COP_{solar} , muestra un comportamiento similar al COP, observando la Tabla 46, donde su valor máximo se da en el verano, siendo de 0,514. Mientras que para invierno toma su valor menor, siendo de 0,309. Zhao et al. (2018), al presentar valores de COP mayores a los de la presente investigación, evidencia de igual forma valores del COP_{solar} mayores a los mencionados. El COP_{solar} físicamente, indica cuanta energía solar se necesita, para movilizar la energía térmica necesaria para climatizar el ambiente en estudio. Para Zhao et al. (2018), es una medición de la eficiencia general de todo el sistema en su conjunto, el equipo de

climatización y el sistema de suministro de energía, en este caso, el sistema fotovoltaico de autoconsumo.

Respecto al cuarto objetivo específico, calcular los indicadores económicos del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, de la Tabla 49, el presupuesto general para el sistema en estudio asciende a S/ 20739,25. Ramasamy et al. (2022), mencionan que para sistema fotovoltaicos comerciales, el presupuesto se encuentra entre 1,63 a 1,84 \$/W de potencia en corriente continua. Es decir, el rango presupuestal para una instalación de 3,60 kWp debe encontrarse alrededor de \$ 5868,00 a \$ 6624,00 o desde S/ 21758,54 hasta S/ 24561,79, con un tipo de cambio de 3,708. Esto demuestra que el presupuesto para el sistema se encuentra ligeramente debajo del rango, esto debido al precio del dólar a la baja. El costo del equipo de aire acondicionado, en el caso de la presente investigación, representa la segunda partida económica con mayor costo en el suministro de materiales y la tercera con respecto a la instalación del sistema.

La relación del presupuesto con respecto a la capacidad máxima del sistema, nos da un valor de 5760,90 S//kWp o 1553,64 \$/kWp, este valor se aprecia en la Tabla 62. Un valor similar lo determina Chira et al. (2020), llegando a ser de 1557,22 \$/kWp. Sin embargo, valores más alejados los propone Regalado (2017), obteniendo un valor de 4075 \$/kWp o Aguilar et al. (2019), con un valor de 3827,62 \$/kWp. En el caso de Regalado (2017), el presupuesto se incrementa debido al uso de baterías como respaldo. Para Aguilar et al. (2019), la inversión con respecto al equipo de aire acondicionado es significativa y aumenta el presupuesto final. En contraposición, Chira et al. (2020), propone un sistema de autoconsumo con conexión a red, lo que disminuye sus costos iniciales, siendo muy similar su relación de presupuesto sobre potencia pico, al presentado por la investigación. Estas cifras nos permiten deducir que la adición de baterías encarece los costos del proyecto. Por otro lado, el uso de equipos de aire acondicionado altamente costosos también influye de manera significativa en el presupuesto inicial del sistema.

La investigación demuestra que el sistema fotovoltaico que alimenta el equipo de aire acondicionado presenta un VAN de S/ 3712,42, una TIR de 12,61 % y un PRI igual a 6,90 años, cuyos valores se ven reflejados en la Figura 43 y 44. Todo esto para una tasa de descuento del 10 %. En relación con proyectos relacionados con fuentes renovables revisados en los antecedentes, las tasas de descuento propuestas toman valores desde el 10 %, lo que implica un desempeño financiero adecuado para el sistema en estudio. Chen et al.

(2020), presenta un PRI de 7,5 años para su investigación. En comparación Chira et al. (2020), presentó una TIR de 9,22 % y un VAN de \$ 83472,23, para una tasa de descuento del 5 %, esto debido a que categorizo su proyecto como proyecto de inversión pública ambiental. Sin embargo, debido al alto costo inicial, su PRI fue de 14 años. Por su parte Regalado (2017), usando una tasa de descuento del 10 %, presenta un VAN de \$ 1652,32 y una TIR igual a 11 %. En general las investigaciones que presentan sistemas de climatización suministrados por energía solar fotovoltaica, usan tasas de descuento inferiores al 12 %, para su análisis, debido al tipo de proyecto que se propone.

El costo nivelado de energía (LCOE) presentado para la investigación en la Figura 45, es de 0,7317 S//kWh o 0,197 \$/kWh. En comparación con el costo de energía activa actual para la institución, el cual fue de 0,7938 S//kWh o 0,214 \$/kWh, es inferior. Valores similares lo presenta Gosgot (2022), obteniendo un LCOE de 0,25 \$/kWh, superior al calculado en la investigación, debido a que el nivel de irradiación solar que llega al lugar de instalación es inferior al analizado para Nuevo Chimbote. Eso lo podemos observar en la investigación realizada por Siraganyan et al. (2019), quien realizo su investigación en Suiza, donde la irradiación es mucho menor en comparación y obtuvo un valor de LCOE entre 0,25 a 0,29 \$/kWh, valores más altos a los determinados. La Sociedad Alemana de Cooperación Internacional o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, (GIZ, 2022), realizó un estudio sobre la aplicación de sistemas fotovoltaicos en el suministro de energía eléctrica para equipos de aire acondicionado en edificios en 13 países. El valor de LCOE obtenido fue de 0,20 a 0,32 \$/kWh, para el país de Colombia, considerando sistemas fotovoltaicos on grid a pequeña escala del tipo comercial. Dicho país presenta niveles de irradiación muy similares a los expuestos para la ciudad de Nuevo Chimbote. Este panorama demuestra que el LCOE es inversamente proporcional a la irradiación solar del lugar de instalación, y que la aplicación de sistemas conectados a red, en el aspecto económico, presentan costos competitivos.

En cuanto al quinto objetivo específico, estimar el equivalente de CO₂ relacionado con el sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, el sistema genera un total de 8561,40 kgCO₂, como lo demuestra la Tabla 54, debido a las emisiones equivalentes de CO₂ que se suscitan al momento de la fabricación y transporte de los equipos y dispositivos que forman el sistema. Esto se relaciona con la huella de carbono que se origina en cualquier proceso de producción. Es común pensar que, al ser sistemas de generación de energía renovable, la presencia de

emisiones es mínima o nula, sin embargo, es necesario tener en cuenta todos los procesos involucrados anteriores a la producción energética. Es por ello que, en la investigación, se presenta este indicador. Los paneles fotovoltaicos representan el 75,60 % de las emisiones generadas, mientras que las posibles fugas por el refrigerante R-410A, quedan en segundo lugar con un 13,48 %.

Por otro lado, las emisiones equivalentes de CO₂ reemplazadas muestran un valor entre 998,07 y 1114,14 kgCO₂/año (Tabla 55), lo que provoca que al final del tiempo de vida se consiga un total de 21073,19 kgCO₂, teniendo en consideración el factor de emisiones del SEIN (0,2611 tCO₂/MWh), pues al evitar usar la electricidad producida por la red pública, se dejan de emitir alrededor de 21 toneladas de emisiones equivalentes de CO₂. La diferencia realmente es significativa, el balance general de emisiones generadas y reemplazadas demuestra que se puede equipar las emisiones generadas y ahorrar hasta 12511,79 kgCO₂. Esto quiere decir que cerca al 59,37 % de las emisiones reemplazadas son ahorradas a lo largo del tiempo de vida útil del sistema. En ese sentido, también es importante mencionar que, en 7,94 años, se compensan las emisiones generadas con las reemplazadas, como se aprecia en la Figura 46.

En esa misma línea de ideas Lv et al. (2019), demostró que su sistema de microrred fotovoltaico genera hasta 463 kgCO₂/año, mientras que, para una conexión regular a la red pública, se genera un total de 9488 kgCO₂/año, esto demuestra que 9025 kgCO₂/año se pueden ahorrar, un 95,12 %. La diferencia de ahorro se evidencia al no tomar en cuenta la huella de carbono relacionada con los equipos que conforman el sistema de microrred fotovoltaico. Por otro lado, Chira et al. (2020), al dimensionar un sistema fotovoltaico de mayor capacidad logra un ahorro de emisiones de hasta 92577,795 kgCO₂. Sin embargo, en su análisis de igual forma no toma en cuenta las emisiones relacionadas a las generadas por los dispositivos del sistema general. Aguilar et al. (2019), en cambio presenta un ahorro de 74 % de emisiones equivalentes de CO₂, para su sistema fotovoltaico conectado a red analizado. El aspecto ambiental, estos últimos años, está tomando un lugar preponderante. La mitigación de emisiones y el uso de fuentes renovables son las nuevas tendencias para evitar los efectos negativos en nuestro planeta. En ese sentido, la investigación demuestra la oportunidad que supone el uso de la energía solar fotovoltaica para el suministro de electricidad en sistemas de climatización.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se estudió la implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote, demostrando que la capacidad optimizada máxima es de 3,60 kWp del sistema y puede cubrir hasta un 87,36 % de la energía requerida, lo que constituye una excelente alternativa para asegurar la accesibilidad técnica, económica y ambiental del confort térmico y la ergonomía en el centro de trabajo investigado.
- Se determinó la carga térmica que debe abastecer el sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, siendo la carga térmica de refrigeración máxima de 16105,04 BTU/h, la cual ocurre en el mes de febrero.
- Se dimensionó los componentes del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, los cuales son: un equipo de aire acondicionado tipo Split pared de 18000 BTU/h, 8 paneles fotovoltaicos de 450 Wp, un inversor de conexión a red de 3 kW, soportes, cableado y canalizaciones, tableros y equipos de protección y maniobra, contando con una capacidad máxima del sistema fotovoltaico de 3,60 kWp.
- Se estimó el valor de los indicadores técnicos del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, y son: energía total generada máxima de 4267,11 kWh/año, productividad final del sistema máxima de 1185,31 kWh/kWp, una fracción solar promedio de 87,36 %, un ratio de autoconsumo promedio de 79,26 %, un indicador de evaluación integral promedio de 0,8331 para el último año de funcionamiento del sistema, un COP máximo de 2,97, una eficiencia de conversión del sistema fotovoltaico máxima de 18,01 %, y un COP_{solar} máximo de 0,514.

- Se calculó los indicadores económicos del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, siendo estos: VAN de S/ 3712,42, una TIR de 12,61 % y un PRI igual a 6,90 años, además de un LCOE igual a 0,7317 S//kWh para el sistema.
- Se estimó el equivalente de CO₂ relacionado con el sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio, los cuales son: emisiones equivalentes de CO₂ generadas de 8561,40 kgCO₂ y emisiones equivalentes de CO₂ reemplazadas de 21073,19 kgCO₂.

5.2. RECOMENDACIONES

En referencia a los resultados y la experiencia en la investigación, se recomienda:

- Se recomienda realizar una simulación energética, empleando softwares especializados como Trnsys, PVSyst o Homer Pro, para corroborar los datos y resultados encontrados en la investigación.
- Se sugiere plantear la implementación de un prototipo del sistema presentado, para evaluar de manera experimental los indicadores estimados en la investigación.
- Se recomienda realizar un estudio del sistema presentado, incorporando acumuladores de energía y comparar como varían los indicadores técnicos, económicos y equivalente de CO₂, con los calculados en la investigación.
- Se recomienda a la comunidad universitaria, promover investigaciones relacionadas con el uso de fuentes de energía renovables para alimentar cargas especiales como las cargas térmicas de refrigeración o calefacción.
- Se recomienda a instituciones de similares características, plantear la inversión en la diversificación de su matriz energética, considerando el uso de las energías renovables para la climatización de ambientes, en virtud de reducir sus costos energéticos y mitigar las emisiones equivalentes de CO₂, para controlar y disminuir su huella de carbono.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Acharya, K., Yewale, G., Tendolkar, M. y Kulkarni, S. (2019). Estimation and Analysis of Cooling Load for Indian Subcontinent by CLD/SCL/CLF method at part load conditions [Estimación y análisis de la carga de refrigeración para el Subcontinente Indio mediante el método CLD/SCL/CLF en condiciones de carga parcial]. *Journal of Physics: Conference Series*, 1240(1), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012031>
- Aguilar, F., Crespí-Llorens, D., y Quiles, P. (2019). Techno-economic analysis of an air conditioning heat pump powered by photovoltaic panels and the grid [Análisis técnico-económico de una bomba de calor de aire acondicionado alimentada por paneles fotovoltaicos y la red]. *Solar Energy*, 180(2019), 169-179. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.01.005>
- Ahmed, T. (2012). Software development for cooling load estimation by CLTD method [Desarrollo de software para estimación de carga de refrigeración por método CLTD]. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 3(6), 1-6. <https://doi.org/10.9790/1684-0360106>
- Ajib, S., y Alahmer, A. (2018). Solar Cooling Technologies [Tecnologías de refrigeración solar]. En I. Al-Bahadly (Ed.), *Energy Conversion - Current Technologies and Future Trends* [Conversión de energía: tecnologías actuales y tendencias futuras] (pp. 39-54). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80484>
- Alrwashdeh, S. y Ammari, H. (2019). Life cycle cost analysis of two different refrigeration systems powered by solar energy [Análisis de costes del ciclo de vida de dos sistemas de refrigeración diferentes alimentados por energía solar]. *Case Studies in Thermal Engineering*, 16(2019), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100559>
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2017a). *ASHRAE pocket guide for air conditioning, heating, ventilation, refrigeration*. [Guía de bolsillo ASHRAE para aire acondicionado, calefacción, ventilación, refrigeración]. AHSRAE.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2017b). *2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition)* [Fundamentos del manual ASHRAE 2017 (Edición SI)]. AHSRAE.

- Amin, N., Ahmad, S., Chelvanathan, P., Rahman, K., Istiaque, M., y Akhtaruzzaman, M. (2017). Solar Photovoltaic Technologies: From Inception Toward the Most Reliable Energy Resource [Tecnologías solares fotovoltaicas: desde el inicio hacia el recurso energético más confiable]. *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 2017(1), 11–26. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.10092-2>
- AutoSolar (2023). *Estructura Inclínada 15° 4 Paneles Falcat*. AutoSolar. <https://autosolar.pe/soportes-suelo/estructura-inclinada-15o-4-paneles-falcat>
- AutoSolar (2023). *Fusible 10x38 15A 1000Vdc ZJ Beny*. AutoSolar. <https://autosolar.pe/portafusibles/fusible-10x38-15a-1000vdc-zj-beny>
- AutoSolar (2023). *Inversor Red Growatt MIN 3000TL-X*. AutoSolar. <https://autosolar.pe/inversores-interconexion-monofasicos/inversor-red-growatt-min-3000tl-x>
- AutoSolar (2023). *Portafusible 10x38 15A 1000Vdc 1P ZJ Beny*. AutoSolar. <https://autosolar.pe/portafusibles/portafusible-10x38-15a-1000vdc-1p-zj-beny>
- AutoSolar (2023). *Protección sobretensiones 3P 500V 40kA MD*. AutoSolar. <https://autosolar.pe/accesorios-de-inversores/proteccion-sobretensiones-3p-500v-40ka-md>
- AutoSolar (2023). *Vatímetro Monofásico Growatt SPM*. AutoSolar. <https://autosolar.pe/vatimetro/vatimetro-monofasico-growatt-spm>
- Borgnakke, C., y Sonntag R. (2019). *Fundamentals of Thermodynamics* [Fundamentos de la Termodinámica]. Wiley.
- Bravo, D., González, F. y González, J. (2018). Refrigeración solar de edificaciones. Un estado del arte. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 33(2), 115-126. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200115>
- Breeze, P. (2016). *Solar Power Generation* [Generación de energía solar]. Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2014-0-04849-6>
- Carbó, J. (2021). *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios*. Marcombo.
- Castejón, A. y Santamaría, G. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex

- Ccama, D. (2017). *Estudio de prefactibilidad de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red pública en la ciudad de Puno* [Trabajo de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8594>
- Chen, Y., Liu, Y., Liu, J., Luo, X., Wang, D., Wang, Y., y Liu, J. (2020). Design and adaptability of photovoltaic air conditioning system based on office buildings [Diseño y adaptabilidad de sistema de climatización fotovoltaica basado en edificios de oficinas]. *Solar Energy*, 202(2020), 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.055>
- Chira, A., Cárdenas, C., Ma San, F., Seminario, J. y Luna V. (2020). *Comparativa entre sistemas de captación solar para el diseño y análisis de un sistema de acondicionamiento para un piso de oficinas* [Trabajo de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4862>
- Chumbiray, I. (2021). *Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos* [Trabajo de grado, Pontificia Universidad Católica Del Perú]. Repositorio Digital de Tesis y Trabajos de Investigación PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19292>
- Código Nacional de Electricidad Suministro [CNE Suministro]. RM N° 0214-2011-MEM-DM. 5 de mayo de 2011 (Perú).
- Código Nacional de Electricidad Utilización [CNE Utilización]. RM N° 037-2006-MEM-DM. 30 de enero de 2006 (Perú).
- De Wild, M., Cassagne, V. y Huld, T. (2014) *Solar Resources and Carbon Footprint of Photovoltaic Power in Different Regions in Europe* [Recursos solares y huella de carbono de la energía fotovoltaica en diferentes regiones de Europa]. In Conference 68 Proceedings: Proceedings of the 29th EUPVSEC. Munich (Germany). 3421-3430. JRC89270 <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC89270>
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (2022). *Photovoltaic-powered Air Conditioning in Buildings: Technical economic analysis* [Climatización Fotovoltaica

- en Edificios: Análisis técnico económico]. GIZ. https://www.green-cooling-initiative.org/fileadmin/user_upload/220607_Proklima_Solar_AC_med.pdf
- Dhakal, R., Sedai, A., Paneru, S., Yosofvand, M. y Moussa, H. (2021). Towards a net zero building using photovoltaic panels: a case study in an educational building [Hacia un edificio energía cero utilizando paneles fotovoltaicos: un estudio de caso en un edificio educativo]. *International Journal of Renewable Energy Research-IJRES*, 11(2), 879-889. <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/12044>
- Díaz, V. y Barreneche, R. (2011). *Acondicionamiento térmico de los edificios: eficiencia y uso racional de la energía*. Nobuko.
- Dierauf, T., Growitz, A., Kurtz, S., y Hansen, C. (2013). *Weather-Corrected Performance Ratio* [Relación de rendimiento corregida por el clima]. NREL Technical Report NREL/TP-5200-57991, 1–16. <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/57991.pdf>
- Duffie, J., Beckman, W. y Blair, N. (2020). *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind* [Ingeniería Solar de Procesos Térmicos, Fotovoltaica y Eólica]. Wiley.
- Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote (1 de enero de 2023). *Historia*. <https://pedagogicochimbote.edu.pe/nosotros/historiaipch/>
- Esteban, N. (2018). *Tipos de Investigación*. Repositorio Institucional Universidad Santo Domingo de Guzmán <http://repositorio.usdg.edu.pe/handle/USDG/34>
- European Commission (1 de marzo de 2022). *Photovoltaic Geographical Information System* [Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica]. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/
- Firake, P., Mane, P. y Dixit, N. (2020). A Review: Important Factors for Performance of Photovoltaic Cell [Una revisión: factores importantes para el rendimiento de la celda fotovoltaica]. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 07(04), 4331-4333. <https://www.irjet.net/archives/V7/i4/IRJET-V7I4832.pdf>
- Global Energy Solutions Peru (2022). Energía renovable (energía solar fotovoltaica) [Fotografía]. GESOLPERU. <https://gesolperu.com/energias-renovables/>
- González, C. (2013). *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización*. Cano Pina S.L.

- Gosgot, W. (2022). *Sostenibilidad de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica basados en tres tecnologías comerciales emergentes* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2796>
- Guevara, P. y Valle, A. (2021). *Diseño e implementación de un sistema de medición de consumo y generación de energía eléctrica residencial y desarrollo de una aplicación en android para monitoreo y recepción de alertas* [Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital Institucional de la Escuela Politécnica Nacional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21571>
- Hernández, R. y Mendoza, C (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill Education. <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/handle/54000/1292>
- Huamán, G. (2020). *Diseño de un sistema fotovoltaico on grid de autoconsumo e inyección 0 conectado a la red eléctrica del centro de salud Haqira, Apurímac 2020* [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional de la Universidad Tecnológica del Perú. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3797>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2011). *Instalaciones de energía solar fotovoltaica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red*. IDAE. <https://www.idae.es/publicaciones/instalaciones-de-energia-solar-fotovoltaica-pliego-de-condiciones-tecnicas-de>
- International Energy Agency (1 de setiembre de 2022). *Space Cooling: more efforts needed* [Refrigeración de espacios: se necesitan más esfuerzos]. IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/space-cooling>
- International Energy Agency (2018). *The future of cooling: opportunities for energy-efficient air conditioning* [El futuro de la refrigeración: oportunidades para el aire acondicionado energéticamente eficiente]. IEA, Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264301993-en>
- Iqbal, M., Malik, M., Shahid, W., Din, S., Anwar, N., Ikram, M., y Idrees, F. (2022). *Materials for Photovoltaics: Overview, Generations, Recent Advancements and*

- Future Prospects [Materiales para fotovoltaica: descripción general, generaciones, avances recientes y perspectivas futuras]. En B. Zaidi, y C. Shekhar (Eds.), *Thin Films Photovoltaics* [Fotovoltaica de película delgada] (pp. 1-12). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.101449>
- Jieb, Y. y Hossain, E. (2022). *Photovoltaic Systems: Fundamentals and Applications* [Sistemas Fotovoltaicos: Fundamentos y Aplicaciones]. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-89780-2>
- Kadhum, J. (2018). Design and construction of a tracking device for solar electrical systems [Diseño y construcción de un dispositivo de seguimiento para sistemas eléctricos solares]. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 5(7), 225-236. <http://jsaer.com/download/vol-5-iss-7-2018/JSAER2018-05-07-225-236.pdf>
- Kalogirou, S. (2017). *McEVOY'S Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications Applications* [Manual de energía fotovoltaica de McEVOY: fundamentos y aplicaciones Aplicaciones]. Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-01840-8>
- Khan, R., Kumar, R., y Rohatgi, N. (2019). Sustainable Air-Conditioning [Aire acondicionado sostenible]. *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, 3(2020), 201-218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11465-1>
- Kumar, N., Chopra, S., De Oliveira, A., Ahmed, H., Vaezi, S., Madukanya, U. y Castañón, J. (2020). Solar PV module technologies [Tecnologías de módulos fotovoltaicos solares]. En S. Gorjian y A. Shukla (Eds.), *Photovoltaic Solar Energy Conversion - Technologies, Applications and Environmental Impacts* [Conversión de energía solar fotovoltaica: tecnologías, aplicaciones e impactos ambientales] (pp. 51-78). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819610-6.00003-X>
- León, J. (2019). *Generación distribuida mediante el diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución en el Instituto ISA-Chiclayo* [Trabajo de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8072>
- López, R. (2022). *Diseño de sistemas de control de climatización para edificios, utilizando aprendizaje reforzado* [Trabajo de grado, Universidad de Chile]. Repositorio

Académico de la Universidad de Chile.
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/185604>

Lucky Goldstar (2023). *DUALCOOL, Aire Acondicionado Inverter 18000 BTU, Función Frío/Calor*. LG. <https://www.lg.com/pe/aire-acondicionado-residencial/lg-VM182H8-dualcool-inverter>

Lv, Y., Si, P., Liu, J., Ling, W., y Yan, J. (2019). Performance of a Hybrid Solar Photovoltaic - Air Source Heat Pump System with Energy Storage [Rendimiento de un sistema híbrido solar fotovoltaico - bomba de calor de fuente de aire con almacenamiento de energía]. *Energy Procedia*, 158(2019), 1311–1316.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.324>

Mejía, J. y Salazar, M. (2020). *Formulación de un Distrito de Enfriamiento, basado en el análisis de métodos para estimar la carga térmica* [Trabajo de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA.
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4625?locale-attribute=en>

Mertens, K. (2019). *Photovoltaics – Fundamentals, Technology, and Practice* [Energía fotovoltaica: fundamentos, tecnología y práctica]. Wiley.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2020). *Norma Técnica EM.030 Instalaciones de Ventilación del Reglamento Nacional de Edificaciones* (D.S. N° 232-2020-VIVIENDA).
<https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2022). *Norma Técnica EM.110 Envoltente térmica del Reglamento Nacional de Edificaciones* (D.S. N° 001-2022-VIVIENDA). https://cdn-web.construccion.org/normas/files/vivienda/DS_001-2022-VIVIENDA.pdf

Ministerio del Ambiente (2015). *De la COP20/CMP10 al mundo: Manual de Cálculo y Neutralización de GEI para las COP/CMP*. REDIAM Repositorio Digital del Ministerio del Ambiente.
<https://repositoriodigital.minam.gob.pe/handle/123456789/78>

Ministerio del Medio Ambiente (8 de marzo de 2017). *El gas refrigerante que daña la Capa de Ozono*. <https://mma.gob.cl/el-gas-refrigerante-que-dana-la-capa-de->

[ozono/#:~:text=Algunos%20de%20los%20equipos%20de,protege%20de%20la%20radiaci%C3%B3n%20UV](#)

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2022). *Factores de emisión: registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono*. Oficina Española del Cambio Climático. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factoresemision_tcm30-479095.pdf

Mitma, A. (2021). *Diseño de un sistema de aire acondicionado de 14 kW por absorción y fuente solar para reducir costos de operación en el centro de cómputo del tercer nivel de la FIME-UNAC* [Trabajo de grado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional Digital Universidad Nacional del Callao. <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/5886>

Molina, M. G. (2016). Modelling and Control of Grid-connected Solar Photovoltaic Systems [Modelado y Control de Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados a Red]. En W. Cao y Y. Hu (Eds.), *Renewable Energy - Utilisation and System Integration* [Energía Renovable - Utilización e Integración de Sistemas] (pp. 53-84). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/62578>

Opoku, R., Mensah-Darkwa, K., y Samed, A. (2018). Techno-economic analysis of a hybrid solar PV-grid powered air-conditioner for daytime office use in hot humid climates – A case study in Kumasi city, Ghana. [Análisis técnico-económico de un aire acondicionado híbrido alimentado por energía solar fotovoltaica para uso de oficina durante el día en climas cálidos y húmedos: un estudio de caso en la ciudad de Kumasi, Ghana]. *Solar Energy*, 165(2018), 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.013>

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2019). *Energías renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Biblioteca Nacional del Perú. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios-Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf

- Panel Solar Peru (2023). *Panel Solar 450W 24V Monocristalino PERC ECO GREEN*. Panel Solar Peru. <https://www.panelsolarperu.com/productos/476-panel-solar-450w-24v-monocristalino-perc-eco-green.html>
- Perpiñán, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. Creative Commons. <https://oscarperpinan.github.io/esf/>
- Picón, L. (2016). *Capítulo 13: Psicrometría*. Issu. https://issuu.com/lpicon2/docs/psicrometr_a_cap_tulo
- Potes, P. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi* [Trabajo de grado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Digital – Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5358>
- Premium Levella (2022). Aire acondicionado inversor tipo split 24.000 BTU 220 V [Fotografía]. Premium Levella. <https://premiumlevella.com/producto/24000-btu-split-a-c-inverter-220v/?lang=es>
- Promelsa (2023). *FREETOX NH-80*. Promelsa. <https://www.promelsa.com.pe/media/PDF/1000405-01.pdf>
- Quevedo, J. (2020). *Rendimiento de una instalación fotovoltaica conectada a la red a más de 2500 msnm* [Tesis de Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito]. Repositorio Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/1138>
- Quispe, V. y Poccori, A. (2021). *Estudio del sistema fotovoltaico de autoconsumo con conexión a la red eléctrica y uso eficiente de energía del Instituto Blue Ribbon Internacional Cusco* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/6088>
- Ramasamy, V., Zuboy, J., O’Shaughnessy, E., Feldman, D., Desai, J., Woodhouse, M., Basore, P. y Margolis, R. (2022). *U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks, With Minimum Sustainable Price Analysis: Q1 2022*. [Puntos de referencia de costos de almacenamiento de energía y sistemas solares fotovoltaicos de EE. UU., con análisis de precios mínimos sostenibles: primer trimestre de 2022]

- Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-7A40-83586. <https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83586.pdf>
- Ramos, P. (2017). *Metodología de diseño de un sistema todo-aire para el control de humedad en un almacén* [Trabajo de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3309>
- Regalado, K. (2017). *Evaluación energética de sistemas de refrigeración solar en Piura usando el software Trnsys* [Trabajo de grado, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional PIRHUA. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/2992>
- Rodas, F. (2018). *Diseño de un sistema de aire acondicionado de bajo costo de operación para las oficinas administrativas del cuarto piso del edificio de ingeniería USAT – Chiclayo* [Trabajo de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio de Tesis USAT. <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1857>
- Rodríguez, J., Rodríguez, E. y Pierdant, A. (2014). *Matemáticas financieras*. Patria.
- Sakthivadivel, D., Balaji, K., Dsilva, D., Iniyan, S. y Suganthi, L. (2021). Solar energy technologies: principles and applications [Tecnologías de energía solar: principios y aplicaciones]. En J. Ren (Ed.), *Renewable-Energy-Driven Future: Technologies, Modelling, Applications, Sustainability and Policies* [Futuro impulsado por energías renovables: tecnologías, modelos, aplicaciones, sostenibilidad y políticas] (pp. 3-42). Elsevier Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820539-6.00001-7>
- Sein Electricidad (2023). *Interruptor diferencial EASY9 de 2x25 A, 30mA, EZ9R36225, SCHNEIDER-ELECTRIC*. Sein Electricidad. <https://sein.com.pe/interruptor-diferencial-easy9-de-2x25-amp-30ma-ez9r36225-schneider-electric.html>
- Sein Electricidad (2023). *Interruptor termomagnético C60H-DC 2X16 AMP. Schneider, A9N61531, SCHNEIDER-ELECTRIC*. Sein Electricidad. <https://sein.com.pe/interruptor-termomagnetico-c60h-dc-2x16-amp-schneider-a9n61531-schneider-electric.html>
- Sein Electricidad (2023). *Interruptor termomagnético de 2 X 20 A. 10 KA. /220V. riel, FN820YC20, BTICINO*. Sein Electricidad. <https://sein.com.pe/interruptor-termom-de-2-x-20-a-10ka-220v-riel-fn820yc20-bticino.html>

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2021). *Climas del Perú: Mapa de Clasificación Climática Nacional*. Biblioteca Nacional del Perú. <https://www.gob.pe/institucion/senamhi/informes-publicaciones/2158106-climas-del-peru-mapa-de-clasificacion-climatica>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (2023). *Pronóstico del tiempo para CHIMBOTE (Ancash)*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0006>
- Singh, V., Rayal, I., Priyanaka, Sharma, H., Dwivedi, C., y Singh, B. (2020). Solar radiation and light materials interaction [Interacción entre la radiación solar y los materiales ligeros]. En G. Dalapati y M. Sharma (Eds.), *Energy Saving Coating Materials: Design, Process, Implementation and Recent Developments* [Materiales de revestimiento que ahorran energía: diseño, proceso, implementación y desarrollos recientes] (pp. 1-32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822103-7.00001-7>
- Siraganyan, K., Perera, A., Scartezzini, J. y Mauree, D. (2019). Eco-Sim: A Parametric Tool to Evaluate the Environmental and Economic Feasibility of Decentralized Energy [Eco-Sim: una herramienta paramétrica para evaluar la viabilidad ambiental y económica de la energía descentralizada]. *Systems. Energies*, 12(776), 1-22. <https://doi.org/10.3390/en12050776>
- Spitler, J. (2014). *Load Calculation Applications Manual (SI Edition)* [Manual de Aplicaciones de Cálculo de Carga (Edición SI)]. ASHRAE
- TopCable (2023). *TOPSOLAR H1Z2Z2-K*. TopCable. <https://www.topcable.com/low-voltage-cables/solar-cables/topsolar-pv-zz-f-h1z2z2-k/>
- Vega, O. (2019). *Diseño de un sistema de aire acondicionado solar por absorción para la climatización del Puesto de Salud Montegrande – Jaén* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional Digital Universidad Nacional de Jaén. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/73>
- Vieira, R., de Araújo, F., Dhimish, M., y Guerra, M. (2020). A comprehensive review on bypass diode application on photovoltaic modules [Una revisión exhaustiva sobre la aplicación de diodos de derivación en módulos fotovoltaicos]. *Energies* 2020, 13(10), 1-21. <https://doi.org/10.3390/en13102472>

- Wagner, A. (2015). *Photovoltaik Engineering Handbuch für Planung, Entwicklung und Anwendung* [Manual de ingeniería fotovoltaica para planificación, desarrollo y aplicación]. Springer Vieweg Verlag.
- Zerón, M y Arias, J. (2019). *Huella de Carbono según la ISO 14064-1:2011 de las actividades académicas de la Universidad Peruana Unión, sede Lima* [Trabajo de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2898>
- Zhao, B., Li, Y., Wang, R., Zhao, Z. y Taylor, R. (2018). A universal method for performance evaluation of solar photovoltaic air-conditioner [Un método universal para la evaluación del rendimiento del aire acondicionado solar fotovoltaico]. *Solar Energy*, 172(1), 58-68. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.029>

VII. ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia de la investigación

Anexo 2: Operacionalización de las variables de la investigación

Anexo 3: Lista de características higrométricas de los materiales de construcción

Anexo 4: Coeficientes/resistencias de película superficial

Anexo 5: Transmitancia térmica de puertas en muros

Anexo 6: Factores U para diversos productos de fenestración en $W/(m^2K)$

Anexo 7: CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración en techos soleados ($^{\circ}C$)

Anexo 8: CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración en muros soleados ($^{\circ}C$)

Anexo 9: Descripción de los grupos constructivos de muros

Anexo 10: CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración a través de vidrios ($^{\circ}C$)

Anexo 11: Corrección del CLTD por Latitud y Mes (LM) en muros, techos, cubiertas

Anexo 12: Carga de enfriamiento solar o Solar Cooling Load (SCL) a través del vidrio en W/m^2

Anexo 13: Coeficiente de sombra o Shading Coefficient (SC), para la radiación solar a través de vidrio

Anexo 14: Tasas representativas a las que los seres humanos emiten calor y humedad en diferentes estados de actividad

Anexo 15: Ganancia de calor recomendada para computadoras de escritorio típicas

Anexo 16: Ganancia de calor recomendada para computadoras portátiles típicas y estaciones de conexión para computadoras portátiles

Anexo 17: Ganancia de calor recomendada para monitores típicos

Anexo 18: Ganancia de calor recomendada para impresoras típicas

Anexo 19: Ganancia de calor recomendada para equipos diversos

Anexo 20: Tabla de renovaciones, temperatura y humedad relativa para locales de permanencia y de trabajo

Anexo 21: Carta psicrométrica

Anexo 22: Factores por emisiones fugitivas (equipos de climatización y otros)

Anexo 23: Historial de consumo eléctrico de la EESPPCH años 2021 – 2022 - 2023

Anexo 24: Hoja de datos: Características y propiedades físicas del ambiente de estudio

Anexo 25: Ficha de observación y recopilación de información: Características climatológicas del ambiente de estudio

Anexo 26: Coeficiente global de transferencia de calor para los cerramientos del recinto

Anexo 27: Coeficiente global de transferencia de calor para las fenestraciones (puertas, ventanas) y coeficiente de sombra (SC) para las ventanas

Anexo 28: Carga de enfriamiento solar (SCL) para las ventanas del ambiente físico en estudio

Anexo 29: Ganancias de calor internas (ocupantes, iluminación, motores, equipos diversos)

Anexo 30: Carga térmica para cada mes del año

Anexo 31: Análisis recurso solar

Anexo 32: Número y configuración de los paneles fotovoltaicos

Anexo 33: Número y configuración del inversor

Anexo 34: Cableado del sistema fotovoltaico

Anexo 35: Elección de equipos de protección y maniobra

Anexo 36: Energía generada por el sistema y producción final

Anexo 37: Presupuesto suministro de materiales

Anexo 38: Presupuesto montaje electromecánico

Anexo 39: Ficha técnica del equipo de aire acondicionado

Anexo 40: Ficha técnica del panel fotovoltaico

Anexo 41: Ficha técnica del inversor de conexión a red

Anexo 42: Ficha técnica del conductor para el tramo en corriente continua

Anexo 43: Ficha técnica del conductor para el tramo en corriente alterna

Anexo 44: Ficha técnica del fusible

Anexo 45: Ficha técnica del interruptor automático del arreglo fotovoltaico (DC)

Anexo 46: Ficha técnica del dispositivo de protección contra sobretensiones (DC)

Anexo 47: Ficha técnica del interruptor automático para protección inversor (AC)

Anexo 48: Ficha técnica del interruptor diferencial para protección inversor (AC)

Anexo 49: Ficha técnica del medidor bidireccional

Anexo 50: Ficha técnica del portafusible

Anexo 51: Ficha técnica de la estructura soporte para los paneles fotovoltaicos

Anexo 52: Autorización para aplicar tesis en la EESPPCH

Anexo 53: Evidencias fotográficas del estudio preliminar de campo (Visita de campo)

Anexo 54: Plano de planta de la Jefatura de Unidad Administrativa de la EESPPCH

Anexo 55: Plano de ubicación y distribución del arreglo fotovoltaico

Anexo 56: Diagrama multifilar del sistema en estudio

Anexo 1: Matriz de consistencia de la investigación

Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores
¿En qué porcentaje, la implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, permitirá cubrir de manera óptima, la energía requerida para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote?	<p>Objetivo General:</p> <ul style="list-style-type: none"> Estudiar la implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote. <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la carga térmica que debe abastecer el sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio. Dimensionar los componentes del sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio. Estimar el valor de los indicadores técnicos de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio. Calcular los indicadores económicos de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio. Estimar el equivalente de CO₂ relacionado a un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica para la climatización del ambiente físico de estudio. 	<p>Hi:</p> <p>La implementación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica, permitirá cubrir de manera óptima un 85 % de la energía requerida, para la climatización del ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.</p>	V.I.: Climatización del ambiente físico	Características físicas del ambiente	Orientación cardinal del ambiente físico
					Latitud y longitud del ambiente físico
					Área superficial interior del ambiente físico
					Volumen interior del ambiente físico
					Propiedades físicas de los elementos constructivos
			Carga térmica de climatización	Carga térmica de refrigeración	
				Carga térmica de calefacción	
			V.D.: Sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica	Indicadores técnicos	Energía producida
					Productividad final
					Fracción solar
					Eficiencia de conversión de energía
					Ratio de autoconsumo
					Indicador de evaluación integral
					Coefficiente de performance
			Indicadores económicos	Costo nivelado de energía	
Valor actual neto					
Tasa interna de retorno					
Equivalente de CO ₂	Periodo de recuperación de inversión				
	Emisiones equivalentes de CO ₂ generadas				
	Emisiones equivalentes de CO ₂ reemplazadas				

Marco teórico	Metodología	Población y muestra	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	Técnicas de Procedimiento y análisis de los Información
<p>Antecedentes:</p> <p>Internacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chen et al. (2020). - Aguilar et al. (2019). - Lv et al. (2019). - Opoku et al. (2018). <p>Nacionales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mitma (2021). - Chira et al. (2020). - Vega (2019). - Regalado (2017). <p>Marco Teórico:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Climatización. - Sistema de aire acondicionado. - Cálculo de la carga térmica. - Fundamentos de la energía solar. - Sistema fotovoltaico. - Sistema fotovoltaico conectado a la red (SFCR). - Componentes del SFCR. - Dimensionamiento del SFCR. - Indicadores para el estudio del sistema. - Indicadores técnicos - Indicadores económicos - Equivalente de CO₂. 	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Esteban (2018), indica que está orientada a resolver un problema o necesidad concreta, mediante la aplicación de conocimientos o teorías.</p> <p>Diseño:</p> <p>Con base en lo desarrollado por Hernández y Mendoza (2018), el diseño que corresponde a la presente investigación es el no experimental, esto hace referencia a los estudios donde el investigador evita la modificación de forma premeditada a la variable independiente. Solo se efectúan observaciones de fenómenos en su propio contexto sin intervención.</p> <p>La simbología del diseño de la presente investigación es la siguiente:</p> $\text{G.E.} \quad O_1 \xrightarrow{\quad X \quad} O_2$ <p>Donde:</p> <p>O₁: Observación 1 (Indicadores técnicos, económicos y equivalente de CO₂ de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica no estudiados).</p> <p>O₂: Observación 2 (Indicadores técnicos, económicos y equivalente de CO₂ de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica estudiados para el ambiente físico establecido en la muestra).</p> <p>X: Climatización del ambiente físico.</p> <p>G.E. Ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la institución.</p>	<p>Población:</p> <p>Ambientes físicos de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.</p> <p>Muestra:</p> <p>Ambiente físico de la Jefatura de Unidad Administrativa de la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.</p> <p>Muestreo:</p> <p>No probabilístico (por conveniencia).</p>	<p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medición - Observación <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hoja de datos - Cinta métrica flexible - Recibos de electricidad - Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2 - Ficha de observación 	<p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Análisis documental - Procesamiento <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Guía de revisión documental - Hojas de cálculo de Microsoft Excel - Documento de Microsoft Word - Archivos de AutoCAD

Anexo 2: Operacionalización de las variables de la investigación

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO DE ESCALA DE MEDIDA
V.I.: Climatización del ambiente físico	Carbó (2021), lo describe como: Acción y efecto de climatizar, es decir de dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas. (p. 248).	La climatización del ambiente físico se divide en dos dimensiones: características físicas del ambiente y carga térmica de climatización.	Características físicas del ambiente	Orientación cardinal del ambiente físico	Escala nominal
				Latitud y longitud del ambiente físico	Escala de razón
				Área superficial interior del ambiente físico	Escala de razón
				Volumen interior del ambiente físico	Escala de razón
				Propiedades físicas de los elementos constructivos	Escala nominal
			Carga térmica de climatización	Carga térmica de refrigeración	Escala de razón
				Carga térmica de calefacción	Escala de razón
V.D.: Sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica	Ajib y Alahmer (2018), plantean que es una “Integración de equipos que consta de dos partes: el sistema fotovoltaico y el dispositivo de climatización eléctrica, donde la energía generada se suministra al equipo de aire acondicionado el cual funciona mediante un sistema de compresión de vapor”. (p. 40).	La implementación del sistema se divide en tres dimensiones: Indicadores técnicos, Indicadores económicos y Equivalente de CO ₂ .	Indicadores técnicos	Energía producida	Escala de razón
				Productividad final	Escala de razón
				Fracción solar	Escala de razón
				Ratio de autoconsumo	Escala de razón
				Indicador de evaluación integral	Escala de razón
				Eficiencia de conversión de energía	Escala de razón
				Coefficiente de performance	Escala de razón
				Coefficiente de performance solar	Escala de razón
			Indicadores económicos	Costo nivelado de energía	Escala de razón
				Valor actual neto	Escala de razón
				Tasa interna de retorno	Escala de razón
				Periodo de recuperación de inversión	Escala de razón
			Equivalente de CO ₂	Emissiones equivalentes de CO ₂ generadas	Escala de razón
				Emissiones equivalentes de CO ₂ reemplazadas	Escala de razón

Anexo 3: Lista de características higrométricas de los materiales de construcción

Nº	Material	Densidad ρ (kg / m ³)	Coefficiente de Transmisión Térmica o de Conductividad térmica k (W / m K)	Transmitancia térmica U (W/m ² K)	Calor Especifico Cp (J / kg °C)	Factor de Resistencia a la difusión de vapor de agua μ (adimensional)
ROCAS Y SUELOS						
Rocas o suelos sedimentarios						
1	Gravas y arenas (arena fina, arena gruesa, etc.)	1700 - 2200	2.00	—	910 - 1180	50
2	Arcilla o limo	1200 - 1800	1.50	—	1670 - 2500	50
3	Arcilla refractaria	2000	0.46	—	879	—
4	Caliza muy dura	2200 - 2590	2.30	—	1000	200
5	Caliza media dura	1800 - 1990	1.40	—	1000	40
6	Caliza muy blanda	≤ 1590	0.85	—	1000	20
7	Piedra canto rodado de 10 cm	—	3.50	—	—	—
Rocas ígneas						
8	Basalto	2700 - 3000	3.50	—	1000	10000
9	Granito	2500 - 2700	2.80	—	1000	10000
10	Piedra pómez	≤ 400	0.12	—	1000	6
11	Roca natural porosa (por ej. lava)	≤ 1600	0.55	—	1000	15
Rocas metamórficas						
12	Pizarra	2000 - 2800	2.20	—	1000	800
13	Mármol	2600 - 2800	3.50	—	1000	10000
Tierra						
14	Tierra	≤ 2050	0.52	—	1840	—
15	Yeso	600 - 900	0.30	—	1000	4
16	Barro con paja de 2 cm.	—	0.09	—	—	—
CONCRETO						
17	Concreto armado	2400	1.63	—	1000	80
18	Concreto simple	2300	1.51	—	1000	80
19	Cemento pulido (pisos de 5 cm. de espesor)	—	0.53	—	—	—
MAMPOSTERIA						
20	Bloque de arcilla - Ladrillo corriente	1700	0.84	—	800	10
21	Bloque de arcilla - Ladrillo tipo King Kong	1000	0.47	—	930	10
22	Bloque de arcilla - Ladrillo pandereta	900	0.44	—	—	10
23	Bloque de arcilla - Ladrillo hueco de techo	600	0.35	—	—	10
24	Bloque de arcilla - Ladrillo pastelero	1450	0.71	—	—	10
25	Bloque de concreto - Unidad hueca	1200	0.50	—	1000	6
26	Adobe	1100 - 1800	0.90	—	—	—
MORTEROS Y ENLUCIDOS						
27	Mortero cemento-arena	2000	1.40	—	1000	10
28	Mortero cemento y cal o yeso	1850	0.87	—	1000	10
29	Enlucido de yeso	≤ 1000	0.40	—	1000	6
METALES						
30	Acero	7800	50.00	—	450	∞
31	Acero inoxidable	7913	15.60	—	456	∞
32	Aluminio	2700	230.00	—	880	∞
33	Bronce	8700	65.00	—	380	∞
34	Cobre	8900	380.00	—	380	∞
35	Estaño	7310	66.60	—	227	∞
36	Latón	8400	120.00	—	380	∞
37	Plomo	11300	35.00	—	130	∞
38	Zinc	7200	110.00	—	380	∞
39	Calamina metálica de 2 mm.	—	237.00	—	—	—
MADERAS						
40	Maderas livianas: Álamo, Avellano, Aliso, Zapote, Bolaina blanca, Tornillo, Casho Moena, Diablo Fuerte, Huimba, Maquisapa Ñagcha, Marupa, Panguana, Ucshaquiro Blanco	200 - 565	0.130 - 0.150	—	1600	50
41	Maderas de densidad media: Abedul, Canelo, Castaño, Laurel, Roble, Olmo, Caoba, Lagarto, Copaiba, Chemicua, Huayruro, Manchinga, Fresno, Nogal, Cerezo, Palosangre Amarillo, Palosangre Negro, Pumaquiro	565 - 750	0.180	—	1600	50
42	Maderas densas: Capirona, Estoraque	750 - 870	0.230	—	1600	50
43	Maderas muy densas: Algarrobo, Eucalipto, Shihuahuaco	≥ 870	0.290	—	1600	50

Nota. Lista de características higrométricas de los materiales de construcción. Tomado de *Norma Técnica EM.110 Envoltura térmica del Reglamento Nacional de Edificaciones* (p. 523108), por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2022, Diario Oficial El Peruano.

Anexo 4: Coeficientes/resistencias de película superficial

Table 10 Surface Film Coefficients/Resistances

Position of Surface	Direction of Heat Flow	Surface Emittance, ε					
		Nonreflective $\varepsilon = 0.90$		Reflective			
		h_i	R_i	$\varepsilon = 0.20$		$\varepsilon = 0.05$	
		h_i	R_i	h_i	R_i	h_i	R_i
Indoor							
Horizontal	Upward	9.26	0.11	5.17	0.19	4.32	0.23
Sloping at 45°	Upward	9.09	0.11	5.00	0.20	4.15	0.24
Vertical	Horizontal	8.29	0.12	4.20	0.24	3.35	0.30
Sloping at 45°	Downward	7.50	0.13	3.41	0.29	2.56	0.39
Horizontal	Downward	6.13	0.16	2.10	0.48	1.25	0.80
Outdoor (any position)		h_o	R_o				
Wind (for winter) at 6.7 m/s	Any	34.0	0.030	—	—	—	—
Wind (for summer) at 3.4 m/s	Any	22.7	0.044	—	—	—	—

Notes:

1. Surface conductance h_i and h_o measured in W/(m²·K); resistance R_i and R_o in (m²·K)/W.
2. No surface has both an air space resistance value and a surface resistance value.
3. Conductances are for surfaces of the stated emittance facing virtual blackbody surroundings at same temperature as ambient air. Values based on surface/air temperature difference of 5.6 K and surface temperatures of 21°C.
4. See [Chapter 4](#) for more detailed information.
5. Condensate can have significant effect on surface emittance (see [Table 2](#)). Also, oxidation, corrosion, and accumulation of dust and dirt can dramatically increase surface emittance. Emittance values of 0.05 should only be used where highly reflective surface can be maintained over the service life of the assembly.

Nota. Coeficientes/resistencias de película superficial para obtener el Coeficiente Global de Transferencia de Calor (U). Tomado de 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition) (p. 748), por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017, ASHRAE.

Anexo 5: Transmitancia térmica de puertas en muros

Tipo de puerta	Transmitancia Térmica (U) W/m ² K
	Separación con el ambiente exterior
Carpintería o marco de madera y:	
Hoja maciza de madera (cualquier espesor)	3.5
Hoja contraplacada de fibra MDF (espesor: 4 cm)	4.7
Hoja de vidrio simple en < 30% de la superficie de la hoja de madera maciza (cualquier espesor)	4.0
Hoja de Vidrio simple en 30% a 60% de la superficie de la hoja de madera maciza (cualquier espesor)	4.5
Hoja de Vidrio doble	3.3

Nota. Transmitancia térmica de puertas en muros. Tomado de *Norma Técnica EM.110 Envolverte térmica del Reglamento Nacional de Edificaciones* (p. 523086), por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2022, Diario Oficial El Peruano.

Anexo 6: Factores U para diversos productos de fenestración en W/(m²K)

Table 4 U-Factors for Various Fenestration Products in W/(m²·K)ⁱ

Product Type		Glass Only		Vertical Installation									
				Operable (including sliding and swinging glass doors)					Fixed				
Frame Type	Glazing Type	Center of Glass	Edge of Glass	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Reinforced Vinyl/Aluminum Clad Wood	Wood/Vinyl	Insulated Fiberglass/Vinyl	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Reinforced Vinyl/Aluminum Clad Wood	Wood/Vinyl	Insulated Fiberglass/Vinyl
ID				Center of Glass	Edge of Glass	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Reinforced Vinyl/Aluminum Clad Wood	Wood/Vinyl	Insulated Fiberglass/Vinyl	Aluminum Without Thermal Break	Aluminum With Thermal Break	Reinforced Vinyl/Aluminum Clad Wood
Single Glazing													
1	3.2 mm glass	5.91	5.91	7.01	6.08	5.27	5.20	4.83	6.38	6.06	5.58	5.58	5.40
2	6 mm acrylic/polycarb	5.00	5.00	6.25	5.55	4.59	4.52	4.18	5.55	5.23	4.77	4.77	4.61
3	3.2 mm acrylic/polycarb	5.45	5.45	6.62	5.72	4.93	4.86	4.51	5.96	5.64	5.18	5.18	5.01
Double Glazing													
4	6 mm airspace	3.12	3.63	4.62	3.61	3.24	3.14	2.84	3.88	3.52	3.18	3.16	3.04
5	13 mm airspace	2.73	3.36	4.30	3.31	2.96	2.86	2.58	3.54	3.18	2.85	2.83	2.72
6	6 mm argon space	2.90	3.48	4.43	3.44	3.08	2.98	2.69	3.68	3.33	3.00	2.98	2.86
7	13 mm argon space	2.56	3.24	4.16	3.18	2.84	2.74	2.46	3.39	3.04	2.71	2.69	2.58
Double Glazing, e = 0.60 on surface 2 or 3													
8	6 mm airspace	2.95	3.52	4.48	3.48	3.12	3.02	2.73	3.73	3.38	3.04	3.02	2.90
9	13 mm airspace	2.50	3.20	4.11	3.14	2.80	2.70	2.42	3.34	2.99	2.67	2.65	2.53
10	6 mm argon space	2.67	3.32	4.25	3.27	2.92	2.82	2.54	3.49	3.13	2.81	2.79	2.67
11	13 mm argon space	2.33	3.08	3.98	3.01	2.68	2.58	2.31	3.20	2.84	2.52	2.50	2.39
Double Glazing, e = 0.40 on surface 2 or 3													
12	6 mm airspace	2.78	3.40	4.34	3.35	3.00	2.90	2.61	3.59	3.23	2.90	2.88	2.77
13	13 mm airspace	2.27	3.04	3.93	2.96	2.64	2.54	2.27	3.15	2.79	2.48	2.46	2.35
14	6 mm argon space	2.44	3.16	4.07	3.09	2.76	2.66	2.38	3.30	2.94	2.62	2.60	2.49
15	13 mm argon space	2.04	2.88	3.75	2.79	2.48	2.38	2.11	2.95	2.60	2.29	2.27	2.16
Double Glazing, e = 0.20 on surface 2 or 3													
16	6 mm airspace	2.56	3.24	4.16	3.18	2.84	2.74	2.46	3.39	3.04	2.71	2.69	2.58
17	13 mm airspace	1.99	2.83	3.70	2.75	2.44	2.34	2.07	2.91	2.55	2.24	2.22	2.12
18	6 mm argon space	2.16	2.96	3.84	2.88	2.56	2.46	2.19	3.05	2.70	2.38	2.36	2.26
19	13 mm argon space	1.70	2.62	3.47	2.53	2.24	2.14	1.88	2.66	2.30	2.00	1.98	1.88

Nota. Factores U para diversos tipos de ventanas con diferentes tipos de vidrios. Tomado de 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition) (p. 355), por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017, ASHRAE.

Anexo 7: CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración en techos soleados (°C)

ROOF	DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	MASA kg/m ²	HORA SOLAR, h																							
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Lámina de metal con 25 (o 50) mm de aislamiento	34 (39)	0	-1	-2	-2	-3	-2	3	11	19	27	34	40	43	44	43	39	33	25	17	10	7	5	3	1
2	Madera de 25 mm con 25 mm de aislamiento	39	3	2	0	-1	-2	-2	-1	2	8	15	22	29	35	39	41	41	39	35	29	21	15	11	8	5
3	Hormigón con áridos ligeros de 100 mm de espesor	88	5	3	1	0	-1	-2	-2	1	5	11	18	25	31	36	39	40	40	37	32	25	19	14	10	7
4	Hormigón armado de 50 mm con 25 (o 50) mm de aislamiento	142 (142)	7	5	3	2	0	-1	0	2	6	11	17	23	28	33	36	37	37	34	30	25	20	16	12	10
5	Madera de 25 mm de espesor con 50 mm de aislamiento	44	2	0	-2	-3	-4	-4	-4	-2	3	9	15	22	27	32	35	36	35	32	27	20	14	10	6	3
6	Hormigón con áridos ligeros de 150 mm de espesor	117	12	10	7	5	3	2	1	0	2	4	8	13	18	24	29	33	35	36	35	32	28	24	19	16
7	Madera de 65 mm de espesor con 25 mm de aislamiento	63	16	13	11	9	7	6	4	3	4	5	8	11	15	19	23	27	29	31	31	30	27	25	22	19
8	Hormigón con áridos ligeros de 200 mm de espesor	151	20	17	14	12	10	8	6	5	4	4	5	7	11	14	18	22	25	28	30	30	29	27	25	22
9	Hormigón armado de 100 mm con 25 (o 50) mm de aislamiento	254 (254)	14	12	10	8	7	5	4	4	6	8	11	15	18	22	25	28	29	30	29	27	24	21	19	16
10	Madera de 65 mm de espesor con 50 mm de aislamiento	63	18	15	13	11	9	8	6	5	5	5	7	10	13	17	21	24	27	28	29	29	27	25	23	20
11	Sistema de terrazas de techo (Roof terrace system)	366	19	17	15	14	12	11	9	8	7	8	8	10	12	15	18	20	22	24	25	26	25	24	22	21
12	Hormigón armado de 150 mm con 25 (o 50) mm de aislamiento	366 (366)	18	16	14	12	11	10	9	8	8	9	10	12	15	17	20	22	24	25	25	25	24	22	20	19
13	Madera de 100 mm de espesor con 25 (o 50) mm de aislamiento	83 (88)	21	20	18	17	15	14	13	11	10	9	9	9	10	12	14	16	18	20	22	23	24	24	23	22

Nota. CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración en techos soleados (°C). Tomado de *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización* (p. 691), por C. González, 2013, CANO PINA SL.

Anexo 8: CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración en muros soleados (°C)

LATITUD NORTE ORIENTACIÓN DEL MURO	HORA SOLAR, h																								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
MUROS GRUPO A																									
N	9	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8		
NE	11	11	10	10	10	9	9	9	8	8	8	8	9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	11	11	
E	14	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	13	14	14	14	14	14	
SE	13	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	10	11	11	12	12	13	13	13	13	13	13	
S	11	11	11	11	10	10	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	11	11	11	11	
SO	14	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	9	9	9	10	10	10	11	11	12	13	13	14	
O	15	15	15	14	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10	10	10	11	11	12	13	14	15	
NO	12	12	11	11	11	11	10	10	10	9	9	8	8	8	8	8	8	8	9	9	10	11	11	11	
MUROS GRUPO B																									
N	8	8	8	7	7	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	7	7	8	8	8	8	8	
NE	11	10	10	9	9	8	7	7	7	7	8	8	9	9	10	10	11	11	11	12	12	12	11	11	
E	13	13	12	11	10	10	9	8	8	8	9	9	10	12	13	13	14	14	15	15	15	15	14	14	
SE	13	12	12	11	10	10	9	8	8	8	8	8	9	10	11	12	13	14	14	14	14	14	14	14	
S	12	11	11	10	9	9	8	7	7	6	6	6	6	7	8	9	10	11	11	12	12	12	12	12	
SO	15	15	14	3	13	12	11	10	9	9	8	8	7	7	8	9	10	11	13	14	15	15	16	16	
O	16	16	15	14	14	13	12	11	10	9	9	8	8	8	8	8	9	11	12	14	15	16	16	17	
NO	13	12	12	11	11	10	9	9	8	7	7	7	6	6	7	7	8	8	9	11	12	13	13	13	
MUROS GRUPO C																									
N	9	8	7	7	6	5	5	4	4	4	4	4	5	5	6	6	7	8	9	9	9	10	9	9	
NE	10	10	9	8	7	6	6	6	6	7	8	10	10	11	12	12	12	13	13	13	13	12	12	11	
E	13	12	11	10	9	8	7	7	8	9	11	13	14	15	16	16	17	17	16	16	16	15	14	13	
SE	13	12	11	10	9	8	7	6	7	7	9	10	12	14	15	16	16	16	16	16	16	15	14	13	
S	12	11	10	9	8	7	6	6	5	5	5	5	6	8	9	11	12	13	14	14	14	14	13	12	
SO	16	15	14	12	11	10	9	8	7	7	6	6	6	7	8	10	12	14	16	18	18	18	18	17	
O	17	16	15	14	12	11	10	9	8	7	7	7	7	8	9	11	13	16	18	19	20	19	18	18	
NO	14	13	12	11	10	9	8	7	6	6	5	5	6	6	6	7	9	10	12	14	15	15	15	15	
MUROS GRUPO D																									
N	8	7	7	6	5	4	3	3	3	3	4	4	5	6	6	7	8	9	10	11	11	10	10	9	
NE	9	8	7	6	5	5	4	4	6	8	10	11	12	13	13	14	14	14	13	13	12	11	10	10	
E	11	10	8	7	6	5	5	5	7	10	13	15	17	18	18	18	18	18	17	17	16	15	13	12	
SE	11	10	9	7	6	5	5	5	5	7	10	12	14	16	17	18	18	18	18	17	17	16	15	14	12
S	11	10	8	7	6	5	4	4	3	3	4	5	7	9	11	13	15	16	16	16	15	14	13	12	
SO	15	14	12	10	9	8	6	5	5	4	4	5	5	7	9	12	15	18	20	21	21	20	19	17	
O	17	15	13	12	10	9	7	6	5	5	5	5	6	6	8	10	13	17	20	22	23	22	21	19	
NO	14	12	11	9	8	7	6	5	4	4	4	4	4	5	6	7	8	10	12	15	17	18	17	16	15

Nota. CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración en muros soleados (°C). Tomado de *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización* (p. 693), por C. González, 2013, CANO PINA SL.

Anexo 9: Descripción de los grupos constructivos de muros

GRUPO	DESCRIPCIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	MASA (kg/m ²)
LADRILLO MACIZO DE OBRA VISTA (100 mm) + (LADRILLO)		
C	Ladrillo LM (100 mm) + cámara aire + ladrillo LM (100 mm)	405
D	Ladrillo LM (100 mm) + ladrillo LP (100 mm) + enlucido yeso (20 mm)	439
C	Ladrillo LM (100 mm) + ladrillo LP (100 mm) + aire/ aislamiento (25 mm) + yeso (20 mm)	439
B	Ladrillo LM (100 mm) + aislamiento (50 mm) + ladrillo LP (100 mm) + yeso (20 mm)	430
B	Ladrillo LM (100 mm) + ladrillo LP (200 mm) + yeso (20 mm)	635
A	Ladrillo LM (100 mm) + aire/ aislamiento (25 mm) + ladrillo LP (200 mm) + yeso (20 mm)	635
LADRILLO MACIZO DE OBRA VISTA (100 mm) + (HORMIGÓN ARMADO)		
C	Ladrillo LM (100 mm) + aire + hormigón armado (50 mm)	459
B	Ladrillo LM (100 mm) + aislamiento (50 mm) + hormigón armado (100 mm) + yeso (20 mm)	474
A	Ladrillo LM (100 mm) + aire/aislamiento (25 mm) + hormigón armado (200 mm) + yeso (20 mm)	698
LADRILLO MACIZO DE OBRA VISTA (100 mm) + (BLOQUE DE HORMIGÓN)		
E	Ladrillo LM (100 mm) + bloque hormigón (100 mm) + yeso (20 mm)	303
D	Ladrillo LM (100 mm) + bloque hormigón (100 mm) + aire/aislamiento (25 mm) + yeso (20 mm)	303
D	Ladrillo LM (100 mm) + bloque hormigón (200 mm) + acabado (13 mm)	342
C	Ladrillo LM (100 mm) + aire/aislamiento (25 mm) + bloque hormigón (150-200 mm) + yeso (20 mm)	356-434
B	Ladrillo LM (100 mm) + aislamiento (50 mm) + hormigón armado (200 mm) + yeso (20 mm)	434
LADRILLO MACIZO DE OBRA VISTA (100 mm) + (LADRILLO HUECO)		
D	Ladrillo LM (100 mm) + ladrillo LH (100 mm) + yeso (20 mm)	347
D	Ladrillo LM (100 mm) + ladrillo LH (100 mm) + aire + yeso (20 mm)	347
C	Ladrillo LM (100 mm) + ladrillo LH (100 mm) + aislamiento (25 mm) + yeso (20 mm)	347
C	Ladrillo LM (100 mm) + ladrillo LH (200 mm) + yeso (20 mm)	469
B	Ladrillo LM (100 mm) + ladrillo LH (200 mm) + aire / aislamiento (25 mm) + yeso (20 mm)	469
A	Ladrillo LM (100 mm) + aislamiento (50 mm) + ladrillo LH (200 mm) + yeso (20 mm)	474

Nota. Descripción de los grupos constructivos de muros. Tomado de *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización* (p. 695), por C. González, 2013, CANO PINA SL.

Anexo 10: CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración a través de vidrios (°C)

HORA SOLAR, h	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
CLTD (°C)	1	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	1	2	4	5
HORA SOLAR, h	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
CLTD (°C)	7	7	8	8	7	7	6	4	3	2	2	1

Nota. CLTD para calcular cargas térmicas de refrigeración a través de vidrios (°C). Tomado de *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización* (p. 695), por C. González, 2013, CANO PINA SL.

Anexo 11: Corrección del CLTD por Latitud y Mes (LM) en muros, techos, cubiertas

LATTUD	MES	N	NNE NNW	NE NW	ENE WNW	E W	ESE WSW	SE SW	SSE SSW	S	HOR
0	DIC	-1,6	-2,7	-2,7	-2,7	-1,1	0,0	1,6	3,3	5,0	-0,5
	ENE/NOV	-1,6	-2,7	-2,2	-2,2	-0,5	0,0	1,1	2,2	3,8	-0,5
	FEB/OCT	-1,6	-1,1	-1,1	-1,1	-0,5	-0,5	0,0	-0,5	3,8	-0,0
	MAR/SEP	-1,6	0,0	0,5	-0,5	-0,5	-1,6	-1,6	-2,7	-4,4	0,0
	ABR/AGO	2,7	2,2	1,6	0,0	-1,1	-2,7	-3,3	-4,4	-4,4	-1,1
	MAY/JUL	5,5	3,8	2,7	0,0	-1,6	-3,8	-4,4	-5,0	-4,4	-2,2
	JUN	6,6	5,0	2,7	0,0	-1,6	-3,8	-5,0	-5,5	-4,4	-2,7
8	DIC	-2,2	-3,3	-3,3	-3,3	-1,6	0,0	2,2	4,4	6,6	-2,7
	ENE/NOV	-1,6	-2,7	-3,3	-2,7	-1,1	0,0	1,6	3,3	5,5	-2,2
	FEB/OCT	-1,6	-2,2	-1,6	-1,6	-0,5	-0,5	0,5	1,1	2,2	-0,5
	MAR/SEP	-1,6	-1,1	-0,5	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1	-1,6	-2,2	0,0
	ABR/AGO	1,1	1,1	1,1	0,0	-0,5	-2,2	-2,7	-3,8	-3,8	-0,5
	MAY/JUL	3,8	2,7	2,2	0,0	-1,1	-2,7	-3,8	-5,0	-3,8	-1,1
	JUN	5,0	3,3	2,2	0,0	-1,1	-3,3	-4,4	-5,0	-3,8	-1,1
16	DIC	-2,2	-3,3	-4,4	-4,4	-2,2	-0,5	2,2	5,0	7,2	-5,0
	ENE/NOV	-2,2	-3,3	-3,8	-3,8	-2,2	-0,5	2,2	4,4	6,6	-3,8
	FEB/OCT	-1,6	-2,7	-2,7	-2,2	-1,1	0,0	1,1	2,7	3,8	-2,2
	MAR/SEP	-1,6	-1,6	-1,1	-1,1	-0,5	-0,5	0,0	0,0	0,0	-0,5
	ABR/AGO	-0,5	0,0	-0,5	-0,5	-0,5	-1,6	-1,6	-2,7	-3,8	0,0
	MAY/JUL	2,2	1,6	1,6	0,0	-0,5	-2,2	-2,7	-3,8	-3,8	0,0
	JUN	3,3	2,2	2,2	0,5	-0,5	-2,2	-3,3	-4,4	-3,8	0,0

Nota. Corrección del CLTD por Latitud y Mes (LM) en muros, techos, cubiertas. Tomado de *Diseño y cálculo de instalaciones de climatización* (p. 697), por C. González, 2013, CANO PINA SL.

Anexo 12: Carga de enfriamiento solar o Solar Cooling Load (SCL) a través del vidrio en W/m²

TABLA N° 5 APORTACIONES SOLARES A TRAVES DE VIDRIO SENCILLO
W x (m² de abertura)

10° LATITUD SUR		HORA SOLAR												10° LATITUD NORTE		
Epoca	Orientacion	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Orientacion	Epoca
22 de Diciembre	S	59	138	157	142	138	135	129	135	138	142	157	138	6	N	21 de Junio
	SE	173	412	480	440	333	204	87	44	44	41	34	24	6	NE	
	E	169	421	487	437	307	129	44	44	44	41	34	24	6	E	
	NE	56	153	173	135	78	44	44	44	44	41	34	24	6	SE	
	N	6	24	34	41	44	44	44	44	44	41	34	24	6	SO	
	NO	6	24	24	41	44	44	44	44	78	135	173	153	56	SO	
	O	6	24	24	41	44	44	44	129	307	437	487	421	169	O	
	SO	6	24	24	41	44	56	87	204	333	440	480	412	173	NO	
Horizontal		12	138	336	522	645	732	764	732	645	522	336	138	12	Horizontal	
21 de Enero y 21 de noviembre	S	15	107	122	109	103	97	94	97	103	109	122	107	15	N	21 de mayo y 22 de julio
	SE	131	399	465	418	342	175	68	44	44	41	34	22	2	NE	
	E	157	425	496	447	307	135	44	44	44	41	34	22	2	E	
	NE	81	295	208	175	100	44	44	44	44	41	34	22	2	SE	
	N	2	22	34	41	44	44	44	44	44	41	34	22	2	SE	
	NO	2	22	34	41	44	44	44	44	100	175	208	179	81	SO	
	O	2	22	34	41	44	44	44	135	307	447	496	422	157	O	
	SO	2	22	34	41	44	44	68	175	342	418	465	399	131	NO	
Horizontal		9	131	336	522	660	742	776	742	660	522	336	131	9	Horizontal	
20 de febrero y 23 de octubre	S	2	46	50	46	46	44	44	44	46	46	50	46	2	N	20 de abril y 24 de agosto
	SE	53	355	408	349	252	107	44	44	44	41	34	22	2	NE	
	E	78	434	513	469	327	144	44	44	44	41	34	22	2	E	
	NE	56	248	295	267	188	85	44	44	44	41	34	22	2	SE	
	N	2	22	34	41	44	44	44	44	44	41	34	22	2	SE	
	NO	2	22	34	41	44	44	44	85	188	267	295	248	56	SO	
	O	2	22	34	41	44	44	44	144	327	469	513	434	78	O	
	SO	2	22	34	41	44	44	44	107	252	349	408	355	53	NO	
Horizontal		6	119	329	524	669	761	786	761	669	524	329	119	6	Horizontal	
22 de marzo y 22 de septiembre	S	2	19	34	41	44	44	44	44	44	41	34	19	2	N	22 de marzo y 22 de septiembre
	SE	2	280	324	252	142	53	44	44	44	41	34	19	2	NE	
	E	2	408	515	474	333	147	44	44	44	41	34	19	2	E	
	NE	2	305	399	383	295	175	66	44	44	41	34	19	2	SE	
	N	2	19	41	59	75	85	87	85	75	59	41	19	2	SE	
	NO	2	19	34	41	44	44	66	175	295	383	399	305	2	SO	
	O	2	19	34	41	44	44	44	147	333	474	515	408	2	O	
	SO	2	19	34	41	44	44	44	53	142	252	324	280	2	NO	
Horizontal		2	97	305	502	651	739	776	739	651	502	305	97	2	Horizontal	
20 de abril y 24 de agosto	S	0	15	31	41	44	44	44	44	44	41	31	15	0	N	20 de febrero y 23 de octubre
	SE	0	182	208	138	87	44	44	44	44	41	31	15	0	NE	
	E	0	371	487	456	314	125	44	44	44	41	31	15	0	E	
	NE	0	324	462	469	386	254	144	56	44	41	31	15	0	SE	
	N	0	56	125	173	204	223	230	223	204	173	125	56	0	SE	
	NO	0	15	31	41	44	56	144	254	386	469	462	324	0	SO	
	O	0	15	31	41	44	44	44	125	314	456	487	371	0	O	
	SO	0	15	31	41	44	44	44	87	138	208	182	0	0	NO	
Horizontal		0	68	267	437	607	691	723	691	607	437	267	68	0	Horizontal	
21 de mayo y 22 de julio	S	0	12	28	37	41	44	44	44	41	37	28	12	0	N	21 de Enero y 21 de noviembre
	SE	0	85	116	53	41	44	44	44	41	37	28	12	0	NE	
	E	0	311	449	415	292	122	44	44	41	37	28	12	0	E	
	NE	0	311	480	506	459	342	219	97	53	37	28	12	0	SE	
	N	0	109	204	285	302	327	333	327	302	285	204	109	0	SE	
	NO	0	12	28	37	53	97	219	342	459	506	480	346	0	SO	
	O	0	12	28	37	41	44	44	122	292	415	449	311	0	O	
	SO	0	12	28	37	41	44	44	44	41	53	116	85	0	NO	
Horizontal		0	53	195	412	550	635	660	635	550	412	195	53	0	Horizontal	
21 de Junio	S	0	12	28	37	41	44	44	44	41	37	28	12	0	N	22 de Diciembre
	SE	0	46	87	53	41	44	44	44	41	37	28	12	0	NE	
	E	0	270	430	408	285	131	44	44	41	37	28	12	0	E	
	NE	0	311	484	513	469	380	248	113	72	37	28	12	0	SE	
	N	0	157	232	295	342	364	377	364	342	295	232	157	0	SE	
	NO	0	12	28	37	72	113	248	380	469	513	484	311	0	SO	
	O	0	12	28	37	41	44	44	131	285	408	430	270	0	O	
	SO	0	12	28	37	41	44	44	44	41	53	87	46	0	NO	
Horizontal		0	44	208	377	524	607	635	607	524	377	208	44	0	Horizontal	
COEFICIENTE DE CORRECCION	Marco Metalico x1/0,85 o 1,17	Limpidez 15 % max			Altitud +0,7 % por 300 m			Punto de rocío Superior a 19,5 °c -5 % por 4 °c			Punto de rocío Inferior a 19,5 °c -5 % por 14 °c			Latitud Sur Diciembre o Enero +7 %		

Los valores en negrita son Máximos mensuales

Los valores en negrita y recuadrados son Máximos anuales.

Nota. SCL a través del vidrio en W/m². Tomado de *Acondicionamiento térmico de los edificios: eficiencia y uso racional de la energía* (p. 385), por V. Díaz y R. Barreneche, 2011, Nobuko.

Anexo 13: Coeficiente de sombra o Shading Coefficient (SC), para la radiación solar a través de vidrio

Tipo de Vidrio	SIN PERSIANA O PANTALLA	PERSIANA VENECIANAS INTERIORES* Listones horizontales o verticales inclinados 45° o Cortinas de tela			PERSIANA VENECIANAS EXTERIORES Listones horizontales o inclinados 45°		PERSIANA EXTERIOR Listones inclinados 17° (horizontales)**		CORTINA EXTERIOR DE TELA Circulación de aire arriba y lateralmente*****			
		Color Claro	Color Medio	Color Oscuro	Color Claro	Exterior claro Interior oscuro	Color Medio****	Color Oscuro***	Color Claro	Color Medio u Oscuro		
VIDRIO SENCILLO	VIDRIO SENCILLO ORDINARIO	1,00	0,56	0,65	0,75	0,15	0,13	0,22	0,15	0,20	0,25	
	VIDRIO SENCILLO 6 mm	0,94	0,56	0,65	0,74	0,14	0,12	0,21	0,14	0,19	0,24	
VIDRIO ABSORBENTE*****	Coeficiente de absorción 0,40 a 0,48	0,80	0,56	0,62	0,72	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20	
	Coeficiente de absorción 0,48 a 0,56	0,73	0,53	0,59	0,62	0,11	0,10	0,16	0,11	0,15	0,18	
	Coeficiente de absorción 0,56 a 0,70	0,62	0,51	0,54	0,56	0,10	0,10	0,14	0,10	0,12	0,16	
VIDRIO DOBLE	Vidrio ordinario	0,90	0,54	0,61	0,67	0,14	0,12	0,20	0,14	0,18	0,22	
	Vidrios 6 mm	0,80	0,52	0,59	0,65	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20	
	Vidrio interior ordinario	0,52	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,13	
	vidrio exterior absorbente de 0,48 a 0,56											
Vidrio interior de 6 mm	0,5	0,36	0,39	0,43	0,10	0,10	0,11	0,10	0,10	0,12		
vidrio exterior absorbente de 0,48 a 0,56												
VIDRIO TRIPLE	Vidrio ordinario	0,83	0,48	0,56	0,64	0,12	0,11	0,18	0,12	0,16	0,20	
	Vidrio de 6 mm	0,69	0,47	0,52	0,57	0,10	0,10	0,15	0,10	0,14	0,17	
VIDRIO PINTADO	Color Claro	0,28	Ecuaciones Ganancia de calor por radiación solar sin pantallas de protección = = Ganancias por radiación (Tabla Nº 5) x Coeficiente "sin pantalla" (Tabla Nº 6) Ganancia de calor por radiación solar con pantallas de protección completamente bajas = = Ganancias por radiación (Tabla Nº 5) x Coeficiente correspondiente (Tabla Nº 6) Ganancia de calor por radiación solar con pantallas de protección parcialmente bajas = = Ganancias por radiación (Tabla Nº 5) x fracción protegida x x Coeficiente correspondiente (Tabla Nº 6) + ganancia por radiación (Tabla Nº 5) x x (1 - fracción protegida) x coeficiente "sin pantalla" de tabla Nº 6									
	Color Medio	0,39										
	Color Oscuro	0,50										
VIDRIO DE COLOR*****	Ámbar	0,70										
	Rojo oscuro	0,56										
	Azul	0,60										
	Gris	0,32										
	Gris Verde	0,46										
	Opalescente Claro	0,43										
	Opalescente Oscuro	0,37										

Notas

* Además de las cortinas de tela, se considera que todos los dispositivos de sombra o pantallas están completamente bajados. Para cortinas de tela bajadas del todo, multiplicar los coeficientes dados por 0,73 para color claro, por 0,95 para color medio y por 1,08 para color oscuro.

** Estos coeficientes son válidos para una altura del sol mayor de 40° o igual. Para alturas inferiores a 40° hay una cierta insolación directa entre listones. Se aplican multiplicadores.

Multiplicadores para Alturas del sol inferiores a 40°		
Altura del sol	Color medio	Color oscuro
10°	2	3,5
20°	1,6	2,7
30°	1,1	1,7

*** Listoncillos de latón de 1,3 de anchura separados 1,5 mm

**** Listoncillos de aluminio de 1,4 de anchura separados 1,45 mm

***** La mayoría de los vidrios absorbentes empleados en las aplicaciones de confort tienen un coeficiente de absorción comprendido entre 0,40 y 0,56, pero en las aplicaciones industriales el coeficiente de absorción está comprendido generalmente entre 0,56 y 0,7.

***** En el caso de vidrios de varios colores, considerar los colores dominantes.

Nota. SC para la radiación solar a través de vidrio. Tomado de *Acondicionamiento térmico de los edificios: eficiencia y uso racional de la energía* (p. 396), por V. Díaz y R. Barreneche, 2011, Nobuko.

Anexo 14: Tasas representativas a las que los seres humanos emiten calor y humedad en diferentes estados de actividad

Table 1 Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity	Location	Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low <i>V</i>	High <i>V</i>
Seated at theater	Theater	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Notes:

1. Tabulated values are based on 24°C room dry-bulb temperature. For 27°C room dry bulb, total heat remains the same, but sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and latent heat values increased accordingly.
2. Also see Table 4, Chapter 9, for additional rates of metabolic heat generation.
3. All values are rounded to nearest 5 W.

^aAdjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, and assumes that gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and gain from a child is 75% of that for an adult male.

^bValues approximated from data in Table 6, Chapter 9, where *V* is air velocity with limits shown in that table.

^cAdjusted heat gain includes 18 W for food per individual (9 W sensible and 9 W latent).

^dFigure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (117 W) or standing or walking slowly (231 W).

Nota. Factores de ganancia de calor sensible y latente por actividades de los ocupantes. Tomado de 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition) (p. 473), por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017, ASHRAE.

Anexo 15: Ganancia de calor recomendada para computadoras de escritorio típicas

Table 8A Recommended Heat Gain for Typical Desktop Computers

Description	Name-plate Power, ^a W	Peak Heat Gain, ^{b, d} W
Manufacturer 1		
3.0 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	83
3.3 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 8$	NA	50
3.5 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 2$	NA	42
3.6 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 2$	NA	66
3.3 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 2$	NA	52
4.0 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 1$	NA	83
3.3 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	84
3.7 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	750	116
	NA	102
3.5 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 3^c$	550	144
	NA	93
Manufacturer 2		
3.6 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 8$	NA	80
3.6 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 1$	NA	78
3.4 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	NA	72
3.4 GHz processor, 24 GB RAM, $n = 1$	NA	86
3.50 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	26
3.3 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	78
3.20 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	61
3.20 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	44
2.93 GHz processor, 16 GB RAM, $n = 1$	NA	151
2.67 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	137
Average 15-min peak power consumption (range)	82 (26-151)	

Source: Bach and Sarfraz (2017)

n = number of tested equipment of same configuration.

^aNameplate for desktop computer is present on its power supply, which is mounted inside desktop, hence not accessible for most computers, where NA = not available.

^bFor equipment peak heat gain value, highest 15-min interval of recorded data is listed in tables.

^cFor tested equipment with same configuration, increasing power supply size does not increase average power consumption.

^dApproximately 90% convective heat gain and 10% radiative heat gain.

Nota. Ganancia de calor recomendada para computadoras de escritorio típicas. Tomado de 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition) (p. 481), por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017, ASHRAE.

Anexo 16: Ganancia de calor recomendada para computadoras portátiles típicas y estaciones de conexión para computadoras portátiles

Table 8B Recommended Heat Gain for Typical Laptops and Laptop Docking Station

Equipment Description		Name-plate Power, ^a W	Peak Heat Gain, ^{b, c} W
Laptop computer	Manufacturer 1, 2.6 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	46
	Manufacturer 2, 2.4 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	59
Average 15-min peak power consumption (range)		53 (46-59)	
Laptop with docking station	Manufacturer 1, 2.7 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	38
	1.6 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 2$	NA	45
	2.0 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	50
	2.6 GHz processor, 4 GB RAM, $n = 1$	NA	51
	2.4 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	40
	2.6 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	35
	2.7 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 1$	NA	59
	3.0 GHz processor, 8 GB RAM, $n = 3$	NA	70
	2.9 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 3$	NA	58
	3.0 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	NA	128
	3.7 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	NA	63
3.1 GHz processor, 32 GB RAM, $n = 1$	NA	89	
Average 15-min peak power consumption (range)		61 (26-151)	

Source: Bach and Sarfraz (2017)

n = number of tested equipment of same configuration.

^aVoltage and amperage information for laptop computer and laptop docking station is available on power supply nameplates; however, nameplate does not provide information on power consumption, where NA = not available.

^bFor equipment peak heat gain value, the highest 15-min interval of recorded data is listed in tables.

^cApproximately 75% convective heat gain and 25% radiative heat gain.

Nota. Ganancia de calor recomendada para computadoras portátiles típicas. Tomado de 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition) (p. 481), por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017, ASHRAE.

Anexo 17: Ganancia de calor recomendada para monitores típicos.

Table 8D Recommended Heat Gain for Typical Monitors

Description ^a	Name-plate Power, W	Peak Heat Gain, ^{b, c} W
Manufacturer 1		
1397 mm LED flat screen, $n = 1$ (excluded from average because atypical size)	240	50
686 mm LED flat screen, $n = 2$	40	26
546 mm LED flat screen, $n = 2$	29	25
Manufacturer 2		
1270 mm 3D LED flat screen, $n = 1$ (excluded from average because atypical size)	94	49
Manufacturer 3		
864 mm LCD curved screen, $n = 1$ (excluded from average because atypical size and curved)	130	48
584 mm LED flat screen, $n = 3$	50	17
584 mm LED flat screen, $n = 1$	38	21
584 mm LED flat screen, $n = 1$	38	14
Manufacturer 4		
610 mm LED flat screen, $n = 1$	42	25
Manufacturer 5		
600 mm LED flat screen, $n = 1$	26	17
546 mm LED flat screen, $n = 1$	29	22
Manufacturer 6		
546 mm LED flat screen, $n = 1$	28	24
Average 15-min peak power consumption (range)	21 (14-26)	

Source: Bach and Sarfraz (2017)

n = number of tested equipment of same configuration.

^aScreens with atypical size and shape are excluded for calculating average 15-min peak power consumption.

^bFor equipment peak heat gain value, highest 15-min interval of recorded data is listed in tables.

^cApproximately 60% convective heat gain and 40% radiative heat gain.

Nota. Ganancia de calor recomendada para monitores típicos. Tomado de 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition) (p. 482), por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017, ASHRAE.

Anexo 18: Ganancia de calor recomendada para impresoras típicas.

Table 9 Recommended Heat Gain for Typical Printers

Equipment	Description	Max. Printing Speed, Pages per Minute	Name-plate Power, W	Peak Heat Gain, ^a W
Multifunction printer (copy, print, scan)	Large, multiuser, office type	40	1010	540 (Idle 29 W)
		30	1300	303 (Idle 116 W)
		28	1500	433 (Idle 28 W)
Average 15-min peak power consumption (range)		425 (303-540)		
	Multiuser, medium-office type	35	900	732 (Idle 18 W)
	Desktop, small-office type	25	470	56 (Idle 3 W)
Monochrome printer	Desktop, medium-office type	55	1000	222
		45	680	61
Average 15-min peak power consumption (range)		142 (61-222)		
Color printer	Desktop, medium-office type	40	620	120
Laser printer	Desktop, small-office type	14	310	89
		24	495	67
		26	1090	65
Average 15-min peak power consumption (range)		74 (65-89)		
Plotter	Manufacturer 1		1600	571
	Manufacturer 2		270	173
Average 15-min peak power consumption (range)		372 (173-571)		
Fax machine	Medium		1090	92
	Small		600	46
Average 15-min peak power consumption (range)		69 (46-92)		

Source: Bach and Sarfraz (2017)

^aApproximately 70% convective heat gain and 30% radiative heat gain.

Nota. Ganancia de calor recomendada para impresoras típicas. Tomado de 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition) (p. 482), por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017, ASHRAE.

Anexo 19: Ganancia de calor recomendada para equipos diversos.

Table 10 Recommended Heat Gain for Miscellaneous Equipment

Equipment	Nameplate Power,^a W	Peak Heat Gain,^b W
Vending machine		
Drinks, 280 to 400 items	NA	940
Snacks	NA	54
Food (e.g., for sandwiches)	NA	465
Thermal binding machine, 2 single documents up to 340 pages	350	28.5
Projector, resolution 1024 × 768	340	308
Paper shredder, up to 28 sheets	1415	265
Electric stapler, up to 45 sheets	NA	1.5
Speakers	220	15
Temperature-controlled electronics soldering station	95	16
Cell phone charger	NA	5
Battery charger		
40 V	NA	19
AA	NA	5.5
Microwave oven, 25 to 34 L	1000 to 1550	713 to 822
Coffee maker		
Single cup	1400	385
Up to 12 cups	950	780
With grinder	1350	376
Coffee grinder, up to 12 cups	NA	73
Tea kettle, up to 6 cups	1200	1200
Dorm fridge, 88 L	NA	57
Freezer, 510 L	130	125
Fridge, 510 L	NA	387 to 430
Ice maker and dispenser, 9 kg bin capacity	NA	658
Top mounted bottled water cooler	NA	114 to 350
Cash register	25	9
Touch screen computer, 380 mm standard LCD and 2.2 GHz processor	NA	58
Self-checkout machine	NA	15

Source: Bach and Sarfraz (2017)

^aFor some equipment, nameplate power consumption is not available, where NA = not available.

^bFor equipment peak heat gain value, highest 15-min interval of recorded data is listed in tables.

Nota. Ganancia de calor recomendada para equipos diversos. Tomado de 2017 ASHRAE Handbook Fundamentals (SI Edition) (p. 483), por American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2017, ASHRAE.

Anexo 20: Tabla de renovaciones, temperatura y humedad relativa para locales de permanencia y de trabajo.

**Tabla N° 01
Tasas mínimas de ventilación**

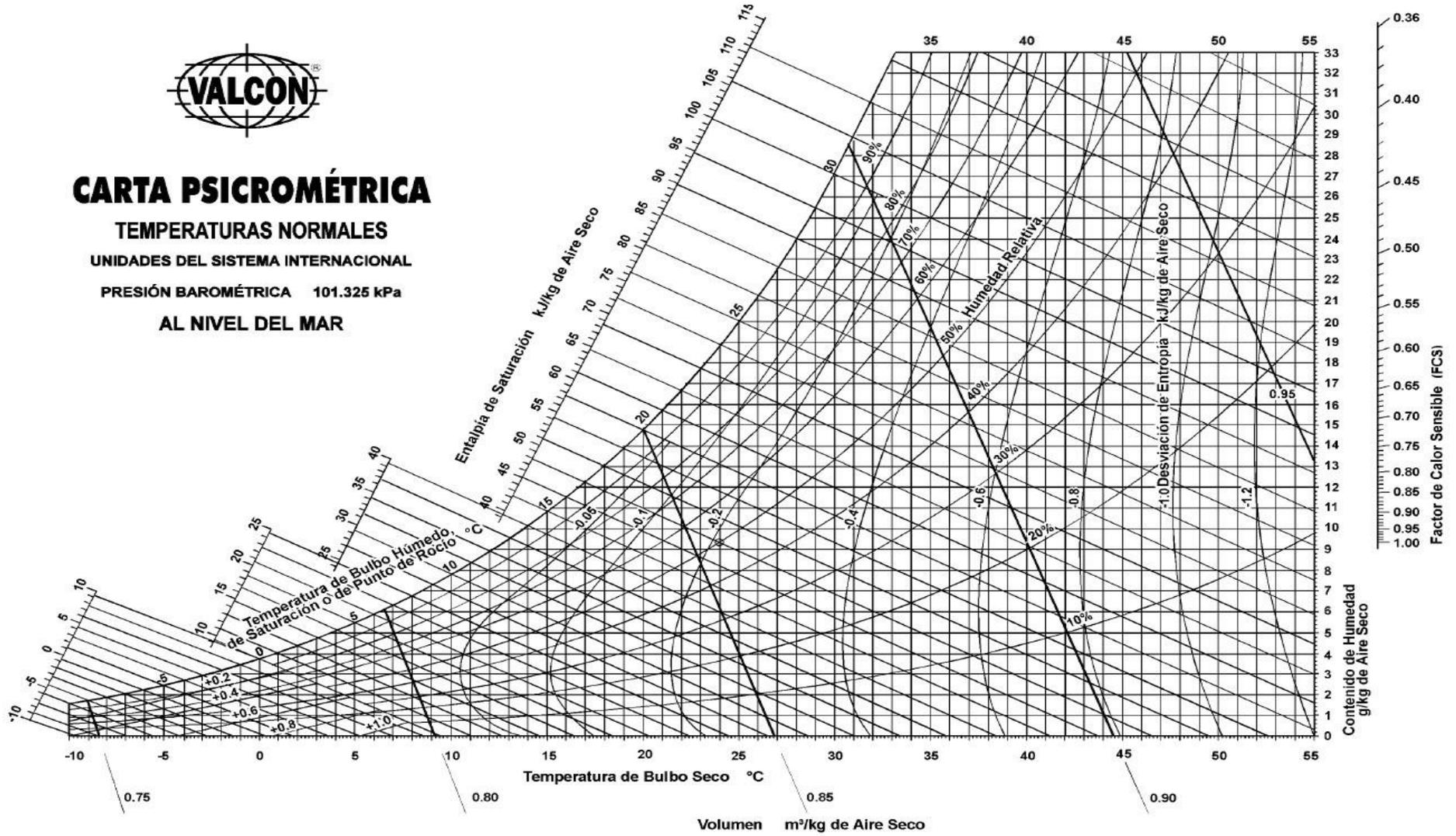
	Rp	Ra	Rd	Rt
Tipo de ocupación	l/s*persona	l/s*m ²	#/100 m ²	l/s*persona
Edificios de Oficinas (Norma Técnica A.080 Oficinas)				
Descanso	2,5	0,6	50	3,5
Recepción principal				
Salas de almacén de materiales secos	2,5 2,5	0,3 0,3	10 2	5,5 17,5
Ambiente de oficinas, zonas de trabajo	2,5	0,3	5	8,5
Zonas de recepción	2,5	0,3	30	3,5
Telefonía/manejo de datos	2,5	0,3	60	3

Nota. Tasas mínimas de ventilación. Tomado de *Norma Técnica EM.030 Instalaciones de Ventilación del Reglamento Nacional de Edificaciones* (p. 27), por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), 2020, Diario Oficial El Peruano.

Anexo 21: Carta psicrométrica



CARTA PSICROMÉTRICA
 TEMPERATURAS NORMALES
 UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL
 PRESIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa
 AL NIVEL DEL MAR



Nota. Carta psicrométrica al nivel del mar. Tomado de *Capítulo 13: Psicrometría* (p. 18), por L. Picón, 2016, Issu.

Anexo 22: Factores por emisiones fugitivas (equipos de climatización y otros)

Nombre	Fórmula química	PCA AR5
HFC-23	CH2F3	12.400
HFC-32	CH2F2	677
HFC-41	CH3F	116
HFC-125	C2HF5	3.170
HFC-134	C2H2F4	1.120
HFC-134a	CH2FCF3	1.300
HFC-143	C2H3F3	328
HFC-143a	C2H3F3	4.800
HFC-152	CH2FCH2F	16
HFC-152a	C2H4F2	138
HFC-161	C2H2F	4
HFC-227ea	C3HF7	3.350
HFC-236cb	CH2FCF2CF3	1.210
HFC-236ea	CHF2CHF2CF3	1.330
HFC-236fa	C3H2F6	8.060
HFC-245ca	C3H3F5	716
HFC-245fa	C3H3F5	858
HFC-365mfc	C4H5F5	804
HFC-43-10mee	C5H2F10	1.650
R-404A	R-125/143a/134a (44/52/4)	3.943
R-407A	R-32/125/134a (20/40/40)	1.923
R-407B	R-32/125/134a (10/70/20)	2.547
R-407C	R-32/125/134a (23/25/52)	1.624
R-407F	R-32/125/134a (30/30/40)	1.674
R-410A	R-32/125 (50/50)	1.924
R-410B	R-32/125 (45/55)	2.048
R-413A	R-218/134a/600a (9/88/3)	1.945
R-417A	R-125/134a/600 (46,6/50/3,4)	2.127
R-417B	R-125/134a/600 (79/18,25/2,75)	2.742
R-422A	R-125/134a/600a (85,1/11,5/3,4)	2.847
R-422D	R-125/134a/600a (65,1/31,5/3,4)	2.473
R-424A	R-125/134a/600a/600/601a (50,5/47/0,9/1/0)	2.212
R-426A	R-134a/125/600/601a (93/5,1/1,3/0,6)	1.371
R-427A	R-32/125/143a/134a (15/25/10/50)	2.024

Nota. Factor por emisiones fugitivas del refrigerante R-410A. Tomado de *Factores de emisión: registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono* (p. 20), por Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), 2022, Oficina Española del Cambio Climático.

Anexo 23: Historial de consumo eléctrico de la EESPPCH años 2021 – 2022 - 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA EN ENERGÍA

ANEXO 23

HISTORIAL DE CONSUMO ELÉCTRICO DE LA EESPPCH AÑOS 2021 - 2022 - 2023

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote
Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin
Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

I.- DATOS DE LA INSTITUCIÓN:

1.1. Nombre de la Institución:	Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote
1.2. Dirección de la Institución:	Zona de Equipamiento Metropolitana Mz C Lt 1, Nuevo Chimbote

II. DATOS DEL SUMINISTRO DE CONSUMO:

Código de suministro	49220313
Tensión y SED	220 V - BT / D-341238
Sistema Eléctrico	SE0119 Chimbote Sa (ST2)
Tipo de Conexión	Monofásica - Aérea (C1.1)
Opción Tarifaria	BT5B - No Residencial
Hilos	3

III. HISTORIAL DE CONSUMO ELÉCTRICO AÑOS 2021 - 2022 - 2023

Periodo	CUEA (S/kWh)	CF (S/mes)	Importe recibo (S/mes)	EA (kWh/mes)	Promedio EA (kWh/mes)
2021-05	0,6744	3,72	808,20	933,00	887,83
2021-06	0,6736	3,76	817,10	941,00	886,33
2021-07	0,6818	3,82	814,10	921,00	937,00
2021-08	0,7004	3,88	873,80	969,00	931,67
2021-09	0,7117	3,95	896,30	982,00	941,00
2021-10	0,7409	4,00	889,00	932,00	949,20
2021-11	0,7447	3,99	915,90	957,00	946,33
2021-12	0,7468	4,03	533,60	535,00	950,33
2022-01	0,7475	4,04	681,30	704,00	882,67
2022-02	0,751	4,06	636,60	652,00	846,50
2022-03	0,752	4,07	761,90	780,00	793,67
2022-04	0,7552	4,14	866,10	894,00	760,00
2022-05	0,7635	4,21	1273,50	1293,00	753,67
2022-06	0,7675	4,27	1749,30	1792,00	809,67
2022-07	0,7702	4,30	1682,80	1706,00	1019,17
2022-08	0,7926	4,36	1541,70	1507,00	1186,17
2022-09	0,7989	4,38	1879,30	1847,00	1328,67
2022-10	0,8018	4,38	1969,00	1933,00	1506,50
2022-11	0,8344	4,39	2037,70	1922,00	1679,67
2022-12	0,8423	4,40	2008,00	1866,00	1784,50
2023-01	0,8418	4,40	2017,40	1887,00	1796,83
2023-02	0,8102	4,36	1852,40	1797,00	1827,00
2023-03	0,7996	4,34	1830,30	1806,00	1875,33
2023-04	0,7938	4,32	2211,00	2230,00	1868,50

Promedio consumo eléctrico mensual (kWh/mes):	1324,42
Consumo eléctrico mensual del equipo de climatización (kWh/mes):	296,42
El consumo del equipo de climatización representa el:	22,38%

Notas y aclaraciones:

- Las definiciones de cada parámetro se muestran a continuación:
CUEA: Costo unitario de energía activa consumida en S/kWh
CF: Costo fijo mensual en S/mes
EA: Energía activa consumida mensual en kWh/mes
- El consumo del equipo de climatización representa hasta un 22,38 % del consumo eléctrico promedio mensual de la institución.

Anexo 24: Hoja de datos: Características y propiedades físicas del ambiente de estudio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

ANEXO 24: HOJA DE DATOS

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES FÍSICAS DEL AMBIENTE DE ESTUDIO

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin
Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

I.- DATOS DE UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN DEL AMBIENTE FÍSICO:

1.1. Nombre de la Institución:		Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote	
1.2. Dirección de la Institución:		Zona de Equipamiento Metropolitana Mz C Lt 1, Nuevo Chimbote	
1.3. Nombre del ambiente de estudio:		Jefatura de Unidad Administrativa	
1.4. Ubicación dentro de la Institución:		Pabellón "A" de la institución	
1.5. Coordenadas geográficas:		1.7. Orientación cardinal:	
Latitud	9° 7' 26''	Sur	Pared 1 30° al Oeste desde el Sur
Longitud	78° 30' 51''	Oeste	Pared 2 30° al Este desde el Norte
1.6. Coordenadas UTM WGS 84:		Pared 3	30° al Norte desde el Oeste
Este	X = 773216.2	Pared 4	30° al Sur desde el Este
Norte	Y = 8990510.7	Puerta 1	30° al Oeste desde el Sur
Zona	17 S	Ventana 1	30° al Oeste desde el Sur
		Ventana 2	30° al Este desde el Norte

II.-LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO DEL AMBIENTE FÍSICO:

DIMENSIONES GENERALES:

Dimensiones externas del recinto:			Dimensiones internas del recinto:		
Largo	7,51	m	Largo	7,17	m
Alto	3,54	m	Alto	3,00	m
Ancho	4,40	m	Ancho	3,78	m
Área	33,04	m ²	Área	27,10	m ²
Volumen	116,98	m ³	Volumen	81,31	m ³

DIMENSIONES DE CADA ELEMENTO CONSTRUCTIVO

Tipo	LARGO	ALTO	ANCHO	ÁREA	VOLUMEN
Cerramiento	(m)	(m)	(m)	(m ²)	(m ³)
Pared 1	4,40	3,54	0,17	15,58	2,65
Pared 2	4,40	3,54	0,17	15,58	2,65
Pared 3	7,51	3,54	0,26	26,59	6,91
Pared 4	7,51	3,54	0,26	26,59	6,91
Piso	7,51	4,40	0,27	33,04	8,92
Techo	7,51	4,40	0,27	33,04	8,92
Fenestración					
Puerta 1	1,18	2,05	0,08	2,42	0,19
Ventana 1	3,60	0,76	0,08	2,74	0,22
Ventana 2	3,60	1,95	0,08	7,02	0,56

III.-LEVANTAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DEL AMBIENTE FÍSICO:

Tipo	Descripciones de los materiales de construcción y capas
Cerramiento	
Pared 1	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de soga y mortero int y ext.
Pared 2	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de soga y mortero int y ext.
Pared 3	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de cabeza y mortero int y ext.
Pared 4	Pared de material noble, con ladrillo de concreto macizo aparejo de cabeza y mortero int y ext.
Piso	Losa aligerada, con ladrillo de techo de arcilla, viguetas y recubrimiento.
Techo	Losa aligerada, con ladrillo de techo de arcilla, viguetas y recubrimiento.
Fenestración	
Puerta	Puerta batiente de madera con marco de madera
Ventana 1	Ventana alta con vidrio simple, con marco de madera, sin cortinas.
Ventana 2	Ventana baja con vidrio simple, con marco de madera, con cortinas oscuras.

Nota: Datos obtenidos del estudio preliminar de campo (visita en campo).

Anexo 25: Ficha de observación y recopilación de información: Características climatológicas del ambiente de estudio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ES CUELA ACADÉMICO
PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN
ENERGÍA

ANEXO 25: FICHA DE OBSERVACIÓN Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DEL AMBIENTE DE ESTUDIO

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin

Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

I.- DATOS DE UBICACIÓN DEL AMBIENTE FÍSICO:

1.1. Nombre de la Institución:		Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote			
1.2. Dirección de la Institución:		Zona de Equipamiento Metropolitana Mz C Lt 1, Nuevo Chimbote			
1.3. Nombre del ambiente de estudio:		Jefatura de Unidad Administrativa			
1.4. Ubicación dentro de la Institución:		Pabellón "A" de la institución			
1.5. Coordenadas geográficas:		1.6. Coordenadas UTM:			
Latitud	9° 7' 26"	Sur	Este	X = 773216.2	Zona
Longitud	78° 30' 51"	Oeste	Norte	Y = 8990510.7	17 S

II.- TEMPERATURAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS, HUMEDADES PROMEDIOS MENSUALES:

CONDICIONES CLIMÁTICAS	TEMPERATURAS		HUMEDAD RELATIVA	HUMEDAD ABSOLUTA
	MES	Tmin (°C)	Tmax (°C)	HR (%)
Enero	26,70	16,60	84,22%	0,0186645
Febrero	27,60	17,60	82,00%	0,0191727
Marzo	27,50	17,80	82,68%	0,0192204
Abril	25,6	16,50	85,14%	0,0176529
Mayo	23,00	15,10	87,44%	0,009352
Junio	22,60	13,80	88,54%	0,0086969
Julio	21,90	13,50	88,50%	0,0085225
Agosto	21,40	13,60	88,14%	0,0085436
Setiembre	21,70	13,10	87,52%	0,0082068
Octubre	22,40	13,40	86,59%	0,0082812
Noviembre	23,70	13,90	85,72%	0,0158196
Diciembre	25,10	15,30	85,36%	0,0171671
PROMEDIO ANUAL	24,10	15,02	85,99%	0,01327502

Nota: Tomado y adaptado del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) (2022).

III.- RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL:

MES	Gdm(180°)	Gdm(180°,10°)	Gdm(180°,15°)
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Enero	6,85	6,46	6,22
Febrero	6,78	6,59	6,44
Marzo	6,52	6,56	6,53
Abril	6,23	6,52	6,61
Mayo	5,26	5,69	5,85
Junio	4,49	4,93	5,11
Julio	4,47	4,87	5,03
Agosto	4,98	5,26	5,35
Setiembre	5,45	5,56	5,57
Octubre	6,15	6,05	5,96
Noviembre	6,37	6,08	5,89
Diciembre	6,58	6,18	5,93
Promedio	5,84	5,90	5,87
Desv. Est.	0,87	0,63	0,53

Nota: Tomado y adaptado de la Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2., European Commission (2022).

Anexo 26: Coeficiente global de transferencia de calor para los cerramientos del recinto



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA

ANEXO 26: COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LOS CERRAMIENTOS DEL RECINTO

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin
Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

Los coeficientes globales de transferencia de calor U ($W/m^2\text{C}$) de cada cerramiento, se presentan en las siguientes tablas para el periodo de verano (refrigeración) e invierno (calefacción):

	CAPA	DESCRIPCION	Espesor de capa e (m)	Conductividad térmica k ($W/m^{\circ}C$)	Densidad ρ (kg/m^3)	Calor Específico Cp ($kJ/kg^{\circ}C$)	PERIODO	
							VERANO	INVIERNO
1. PAREDES QUE DAN AL EXTERIOR (PARED 1 Y 2)	1	Resistencia superficial externa					0,0440	0,0300
	2	Mortero Cemento - arena	0,02	1,40	2000,00	1,00	0,0143	0,0143
	3	Ladrillo Concreto simple	0,13	1,51	2300,00	1,00	0,0861	0,0861
	4	Mortero Cemento - arena	0,02	1,40	2000,00	1,00	0,0143	0,0143
	5	Resistencia superficial interna					0,1200	0,1200
	RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL Rt ($m^2\text{C}/W$)							0,2787
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR U ($W/m^2\text{C}$)							3,59	3,78
2. PAREDES A LADO DE AMBIENTES (PARED 3 Y 4)	1	Resistencia superficial externa					0,1200	0,1200
	2	Mortero Cemento - arena	0,01	1,40	2000,00	1,00	0,0071	0,0071
	3	Ladrillo Concreto simple	0,24	1,51	2300,00	1,00	0,1589	0,1589
	4	Mortero Cemento - arena	0,01	1,40	2000,00	1,00	0,0071	0,0071
	5	Resistencia superficial interna					0,1200	0,1200
	RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL Rt ($m^2\text{C}/W$)							0,4132
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR U ($W/m^2\text{C}$)							2,42	2,42
3. SUELO	1	Resistencia superficial externa					0,1100	0,1600
	2	Mortero Cemento - arena	0,01	1,40	2000,00	1,00	0,0071	0,0071
	3	Ladrillo hueco de techo	0,20	0,35	600,00	0,93	0,5714	0,5714
	4	Mortero Cemento - arena	0,01	1,40	2000,00	1,00	0,0071	0,0071
	5	Losa de concreto armado	0,05	1,63	2400,00	1,00	0,0307	0,0307
	6	Resistencia superficial interna					0,1100	0,1600
RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL Rt ($m^2\text{C}/W$)							0,8364	0,9364
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR U ($W/m^2\text{C}$)							1,20	1,07
4. TECHO	1	Resistencia superficial externa					0,0440	0,0300
	2	Mortero Cemento - arena	0,01	1,40	2000,00	1,00	0,0071	0,0071
	3	Ladrillo hueco de techo	0,20	0,35	600,00	0,93	0,5714	0,5714
	4	Mortero Cemento - arena	0,01	1,40	2000,00	1,00	0,0071	0,0071
	5	Losa de concreto armado	0,05	1,63	2400,00	1,00	0,0307	0,0307
	6	Resistencia superficial interna					0,1100	0,1600
RESISTENCIA TÉRMICA TOTAL Rt ($m^2\text{C}/W$)							0,7704	0,8064
COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR U ($W/m^2\text{C}$)							1,30	1,24

Notas y aclaraciones:

- El término cerramientos hace referencia a la envolvente del edificio.
- La resistencia térmica de cada capa R, la resistencia térmica total Rt y el coeficiente global de transferencia de calor U de cada cerramiento se obtuvieron empleando la Ecuación 1, Ecuación 2 y Ecuación 3 respectivamente. Las ecuaciones mencionadas se encuentran en el informe final de tesis.
- La descripción y orden de las capas de cada cerramiento se obtuvieron mediante el estudio preliminar de campo (visita técnica de campo) al ambiente físico, realizado el día (05/10/2022), mientras que las propiedades higrométricas de las capas se obtuvieron del Anexo 1: Lista de características higrométricas de los materiales de construcción.
- Las resistencias superficiales externas e internas para cada cerramiento, se obtuvieron del Anexo 2: Coeficientes/resistencias de película superficial.
- Se evaluaron los valores de Rt y U, para el periodo de verano (refrigeración) e invierno (calefacción), por el cambio de los valores de las resistencias superficiales externas e internas debido a las condiciones climáticas y el cambio en el sentido del flujo de calor.

Anexo 27: Coeficiente global de transferencia de calor para las fenestraciones (puertas, ventanas) y coeficiente de sombra (SC) para las ventanas



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA

ANEXO 27: COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LAS FENESTRACIONES (PUERTAS, VENTANAS) Y COEFICIENTE DE SOMBRA (SC) PARA LAS VENTANAS

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin

Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

Los coeficientes globales de transferencia de calor U ($W/m^2\text{°C}$) de cada fenestración, se presentan en las siguientes tablas:

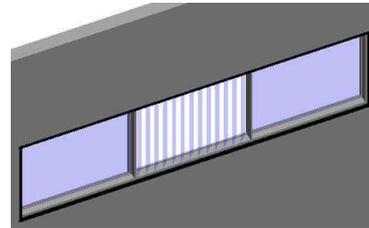
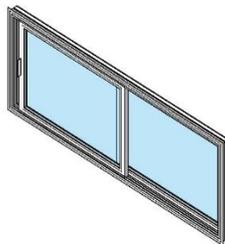
PUERTAS

N° de puerta	DESCRIPCIÓN DE LA PUERTA	Número de puertas	U ($W/m^2\text{°C}$)
P1	Puerta batiente de madera con marco de madera (hoja maciza de madera, cualquier espesor).	1	3,50



VENTANAS

N° de ventana	DESCRIPCIÓN DE LA VENTANA	Número de ventanas	U ($W/m^2\text{°C}$)	SC
V1	Ventana alta con vidrio simple de $e=3.2$ mm, con marco de madera, orientación 30° al Oeste desde el Sur, sin cortinas.	1	5,20	1,00
V2	Ventana baja con vidrio simple de $e=3.2$ mm, con marco de madera, orientación 30° al Este desde el Norte, con cortinas oscuras.	1	5,20	0,25



Notas y aclaraciones:

1. El término fenestración se refiere a las aberturas en la envolvente del edificio, como puertas y ventanas.
2. El valor del coeficiente global de transferencia de calor U para la puerta, se obtuvo del Anexo 3: Transmitancia térmica de puertas en muros.
3. El valor de los coeficientes globales de transferencia de calor U para las ventanas, se obtuvieron del Anexo 4: Factores U para diversos productos de fenestración en $W/(m^2\text{°C})$.
4. El coeficiente de sombra o Shading Coefficient (SC), para cada ventana mencionada, se obtuvo del Anexo 11: Coeficiente de sombra o Shading Coefficient (SC), para la radiación solar a través de vidrio.
5. El calor total ganado para la puerta se calcula de igual forma que los cerramientos o envolvente del edificio por sus características físicas. Por el contrario las ventanas se calculan considerando la carga térmica relacionada a la radiación solar incidente en su superficie y el flujo de calor por conducción a través de la ventana. Para ello es necesario emplear la Ecuación 5 y la Ecuación 6 en conjunto. Las ecuaciones mencionadas se

Anexo 28: Carga de enfriamiento solar (SCL) para las ventanas del ambiente físico en estudio



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA

ANEXO 28: CARGA DE ENFRIAMIENTO SOLAR (SCL) PARA LAS VENTANAS DEL AMBIENTE FÍSICO EN ESTUDIO

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin

Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

V1	Ventana alta orientacion 30° al Oeste desde el Sur
V2	Ventana normal orientacion 30° al Este desde el Norte

La Carga de Enfriamiento Solar para las ventanas del ambiente físico se muestra a continuación, para cada mes del año:

Hora solar	SCL (W/m ²)																							
	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	2	81	2	56	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	56	2	81	6	56
7	22	295	22	248	19	305	15	324	12	311	12	311	12	311	15	324	19	305	22	248	22	295	24	153
8	34	208	34	295	34	399	31	462	28	480	28	484	28	480	31	462	34	399	34	295	34	208	24	173
9	41	175	41	267	41	383	41	469	37	506	37	513	37	506	41	469	41	383	41	267	41	175	41	135
10	44	100	44	188	44	295	44	386	41	459	41	469	41	459	44	386	44	295	44	188	44	100	44	78
11	44	44	44	85	44	175	44	254	44	342	44	380	44	342	44	254	44	175	44	85	44	44	56	44
12	68	44	44	44	44	66	44	144	44	219	44	248	44	219	44	144	44	66	44	44	68	44	87	44
13	175	44	107	44	53	44	44	56	44	97	44	113	44	97	44	56	53	44	107	44	175	44	204	44
14	342	44	252	44	142	44	87	44	41	53	41	72	41	53	87	44	142	44	252	44	342	44	333	44
15	418	41	349	41	252	41	138	41	53	37	53	37	53	37	138	41	252	41	349	41	418	41	440	41
16	465	34	408	34	324	34	208	31	116	28	87	28	116	28	208	31	324	34	408	34	465	34	480	34
17	399	22	355	22	280	19	182	15	85	12	46	12	85	12	182	15	280	19	355	22	399	22	412	24
18	131	2	53	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	53	2	131	2	173	6
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Notas y aclaraciones:

- Las descripción de las ventanas V1 y V2 se encuentra en el Anexo 25: Coeficiente global de transferencia de calor para las fenestraciones (puertas, ventanas) y coeficiente de sombra (SC) para las ventanas.
- El valor del SCL para se obtuvo del Anexo 10: Carga de enfriamiento solar o Solar Cooling Load (SCL) a través del vidrio en W/m²

Anexo 29: Ganancias de calor internas (ocupantes, iluminación, motores, equipos diversos)



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA

ANEXO 29: GANANCIAS DE CALOR INTERNAS (OCUPANTES, ILUMINACION, MOTORES, EQUIPOS DIVERSOS)

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin

Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

Las ganancias de calor internas, se presentan en las siguientes tablas:

OCUPANTES (PERSONAS)

Tipo de actividad	DESCRIPCIÓN	N° de personas	Factor sensible (W/persona)	CLF sensible	Factor latente (W/persona)	Calor sensible (W)	Calor latente (W)	Calor por ocupantes (W)
1	Sentado, trabajo muy ligero	5	70,00	1,00	45,00	350,00	225,00	575,00
CALOR POR OCUPANTES TOTAL (W)								575,00

ILUMINACION

Tipo de luminaria	DESCRIPCIÓN	Número de luminarias	Potencia (W)	Ful (factor de uso)	Fsa (factor de asignación)	CLF iluminación	Calor por iluminación
1	Luminaria LED SL-226 2x24 W	3	24,00	1,00	1,00	1,00	72,00
CALOR POR ILUMINACION TOTAL (W)							72,00

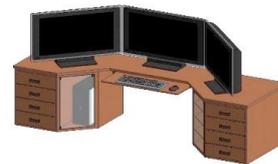
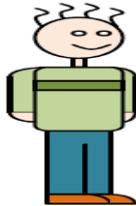
MOTORES

Tipo de motor	DESCRIPCIÓN	Número de motores	Potencia (W)	EM Eficiencia del motor	FUM (factor de uso)	FLM (factor de carga)	CLF motores	Calor por motor (W)
1	Ventilador de pedestal	1	50,00	0,65	0,70	1,00	1,00	53,85
CALOR POR MOTORES TOTAL (W)								53,85

EQUIPOS DIVERSOS

Tipo de equipo	DESCRIPCIÓN	Número de equipos	Potencia de placa W	Pico de ganancia de calor W	CLF equipo diverso	Calor por equipo (W)
1	Computadora de escritorio 3.5 GHz procesador, 8 GB RAM	1	NA	42,00	1,00	42,00
2	Computadora de escritorio 3.2 GHz procesador, 8 GB RAM	2	NA	61,00	1,00	122,00
3	Computadora de escritorio 1.6 GHz procesador, 4 GB RAM	1	384,00	65,00	1,00	65,00
4	Laptop 1.6 GHz procesador, 4 GB RAM	1	NA	59,00	1,00	59,00
5	Monitor LG 24M38H-B (24")	3	22,80	17,00	1,00	51,00
6	Cargador de celular	5	NA	5,00	1,00	25,00
7	Impresora EPSON L606	1	72,00	11,00	1,00	11,00
8	Impresora EPSON LX 300 II	1	23,00	3,00	1,00	3,00
9	Televisor SAMSUNG 49" K6500A Full HD Curvo Smart TV	1	110,00	48,00	1,00	48,00
10	Camara de seguridad DS 2 CV 2 Q2 1 F D I W	1	7,00	1,00	1,00	1,00
11	DVR (Digital Video Recorder) para camara de seguridad	1	600,00	100,00	1,00	100,00
CALOR POR EQUIPOS VARIOS TOTAL (W)						527,00

GANANCIA DE CALOR POR CARGAS INTERNAS TOTALES (W) 1227,85



Notas y aclaraciones:

- Las ganancias de calor por cada tipo de carga interna se calcularon usando las Ecuaciones 9,10,11,12,13 y 14, según el orden establecido. Las ecuaciones mencionadas se encuentran en el informe final de tesis.
- El valor de los factores sensibles y latentes para las cargas por ocupantes (personas), se obtuvieron del Anexo 12: Tasas representativas a las que los seres humanos emiten calor y humedad en diferentes estados de actividad.
- Los factores relacionados a la ganancia de calor en cada tipo de carga interna se consideraron teniendo en cuenta las recomendaciones de ASHRAE.
- El valor pico de la ganancia de calor para los equipos diversos se obtuvieron de las siguientes tablas, según sea conveniente:
 - Anexo 13: Ganancia de calor recomendada para computadoras de escritorio típicas.
 - Anexo 14: Ganancia de calor recomendada para computadoras portátiles y estaciones de conexión para computadoras portátiles.
 - Anexo 15: Ganancia de calor recomendada para monitores típicos.
 - Anexo 16: Ganancia de calor recomendada para impresoras típicas.
 - Anexo 17: Ganancia de calor recomendada para equipos diversos.

Anexo 30: Carga térmica para cada mes del año



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA ANEXO 30: CARGA TÉRMICA PARA CADA MES DEL AÑO

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin

Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

La carga térmica para cada mes, se presenta a continuación:

Hora solar	POTENCIA TÉRMICA A LO LARGO DEL DÍA (W)											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2095,01	2486,09	2456,62	1709,96	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1154,40	1434,18
2	1890,39	2281,48	2252,01	1505,34	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	949,78	1229,56
3	1685,78	2076,86	2047,39	1300,73	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	745,17	1024,94
4	1531,89	1922,98	1893,50	1146,84	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	591,28	871,06
5	1420,90	1811,98	1782,51	1035,85	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	480,29	760,07
6	1457,53	1804,74	1680,50	924,86	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	516,92	763,77
7	1776,83	2085,43	2147,79	1423,52	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	836,22	872,26
8	2297,56	2841,33	2994,38	2350,07	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1356,95	1547,95
9	2302,84	2855,38	3029,49	2433,76	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1362,23	1571,81
10	2273,05	2818,57	2976,88	2389,92	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1332,43	1573,60
11	2343,13	2806,17	2934,65	2326,63	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1402,52	1715,13
12	2576,02	2901,44	2910,57	2300,80	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1635,40	1967,17
13	3197,71	3402,75	3225,53	2475,30	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	2257,10	2616,22
14	3801,82	3946,66	3616,23	2719,08	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	2861,20	3116,36
15	4214,60	4416,90	4122,04	3063,47	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	3273,99	3613,96
16	4484,79	4719,92	4460,63	3391,32	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	3544,18	3865,00
17	3692,16	3962,86	3722,92	2701,11	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	2751,54	3070,40
18	3004,10	3181,77	3012,76	2257,12	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	2063,49	2465,20
19	2666,23	3057,32	3027,84	2281,18	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1725,62	2005,40
20	2639,56	3030,65	3001,17	2254,51	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1698,95	1978,73
21	2583,33	2974,42	2944,95	2198,28	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1642,72	1922,50
22	2416,11	2807,20	2777,73	2031,06	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1475,50	1755,28
23	2299,63	2690,71	2661,24	1914,57	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1359,01	1638,79
24	2175,30	2566,38	2536,91	1790,25	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	1234,69	1514,47
Pot (W)	4484,79	4719,92	4460,63	3391,32	2807,44	3228,65	3322,97	3286,93	3442,92	3331,66	3544,18	3865,00
Pot (BTU/h)	15302,74	16105,04	15220,29	11571,67	9579,39	11016,61	11338,43	11215,46	11747,71	11368,08	12093,24	13187,92

La capacidad necesaria del Equipo de Aire Acondicionado debe ser de (BTU/h): **18000,00**

Anexo 31: Análisis recurso solar



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



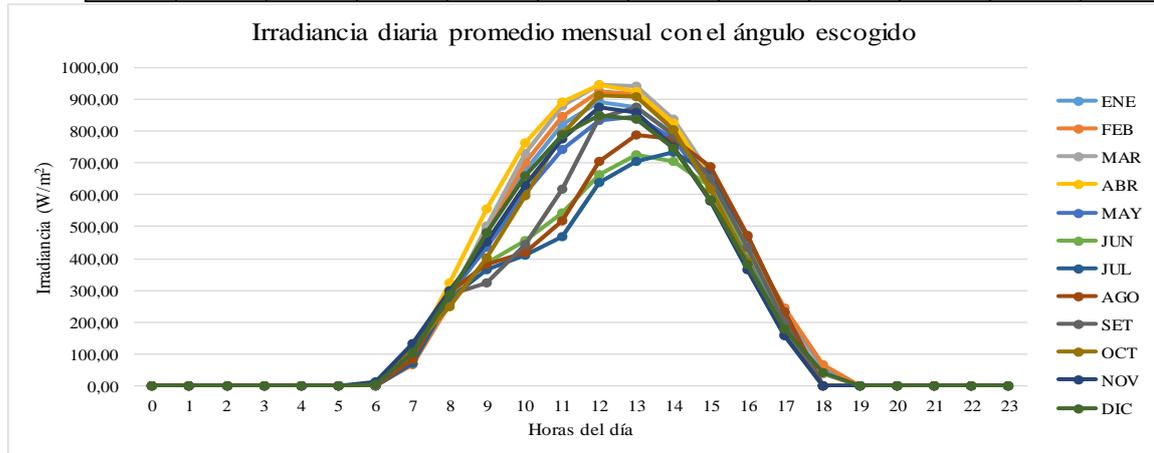
ES CUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO SISTEMA FOTOVOLTAICO ANEXO 31: ANÁLISIS RECURSO SOLAR

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin
Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

A continuación se presentan los valores de IRRADIANCIA para cada hora del día:

Irradiación diaria promedio mensual sobre un plano inclinado con el ángulo escogido												
MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
HORA	(W/m²)											
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,85	12,34	4,73
7	81,17	67,22	70,04	101,22	99,21	82,96	70,42	82,49	111,07	120,98	131,83	105,64
8	271,00	258,45	271,08	323,33	287,34	290,82	274,85	295,19	284,84	250,58	297,16	284,64
9	489,05	484,77	501,59	554,08	434,01	387,33	365,72	381,20	321,44	400,13	452,78	481,53
10	676,94	698,79	727,68	761,18	603,08	457,97	409,68	419,97	443,70	596,23	629,74	657,63
11	820,08	845,29	876,89	889,02	740,71	544,24	468,09	517,46	615,80	791,54	776,00	785,68
12	892,30	923,78	945,41	945,33	834,81	661,19	639,85	704,58	842,76	910,59	876,17	848,38
13	874,99	915,11	939,48	923,91	846,81	725,23	703,32	789,19	874,34	907,25	856,79	835,10
14	790,87	819,06	835,49	826,36	774,54	705,98	731,70	773,68	788,54	803,07	751,55	745,16
15	629,66	661,59	662,90	647,53	626,64	626,33	665,50	686,20	649,95	618,02	581,55	586,03
16	416,97	452,76	441,07	437,96	419,56	426,16	467,24	471,94	434,75	388,73	363,60	379,98
17	216,02	242,71	216,28	203,88	186,19	198,79	231,65	230,75	198,39	163,30	157,00	178,71
18	59,68	66,46	37,82	1,06	0,00	0,00	0,70	1,34	1,02	0,80	1,50	40,25
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Gdm(180,15): Irradiación diaria sobre el plano inclinado un ángulo 15° y orientado un ángulo azimutal de superficie 180° en (kWh/m². día)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
	6,22	6,44	6,53	6,61	5,85	5,11	5,03	5,35	5,57	5,95	5,88	5,93



Notas y aclaraciones:

1. El valor de la irradiación se obtuvo calculando el área bajo la curva que dibuja la irradiación para cada mes.
2. La información se obtuvo de la Web de datos meteorológicos PVGIS versión 5.2., (datos diarios), con las siguientes parámetros:

Latitude (decimal degrees):-9.124
Longitude (decimal degrees):-78.514

Radiation database:PVGIS-NSRDB
PVGIS (c) European Union, 2001-2022

Anexo 32: Número y configuración de los paneles fotovoltaicos



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ES CUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO SISTEMA FOTOVOLTAICO

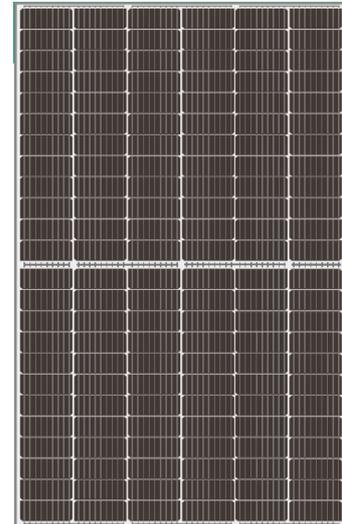
ANEXO 32: NÚMERO Y CONFIGURACIÓN DE LOS PANELES FOTOVOLTAICOS

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin
Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

Las características del panel solar escogido son:

MARCA	ECO GREEN ENERGY	
MODELO	HELIOS PLUS 445-455W	
Potencia pico	450	W
Tolerancia de Pot	0~+5W	W
η de conversión	20,58	%
V*mpp	40,96	V
I*mpp	10,99	A
V*oc	49,28	V
I*sc	11,57	A
TNOCT	41	°C
Coef. Temp. Pmax	-0,35%	%/°C
Coef. Temp. Voc	-0,30%	%/°C
Coef. Temp. Isc	0,05%	%/°C

MARCA	ECO GREEN ENERGY	
MODELO	HELIOS PLUS 445-455W	
Tipo de panel	PERC	
Tipo de celda	Monocristalina	
Dimensión celda	166x83mm	
Número de celdas	144	
Dimensiones	2102x1040x35 mm	
Peso (kg)	24,5	
Espesor del vidrio	3,2 mm vidrio templado	
Rango de op de T	desde -40 °C a 85 °C	
Voltaje máx sist.	1500 VDC	
Máximo fusible (A)	25	



La cantidad de módulos fotovoltaicos es N_{PFV} :

N_{PFV}	7,00	paneles
N_{PFV}	9,00	paneles

P_g	3,15	kWp	SI CUMPLE
P_g	4,05	kWp	NO CUMPLE

La cantidad total final de módulos fotovoltaicos es de **8,00 paneles**
 De igual forma la potencia del arreglo fotovoltaico es **3,60 kWp**

Número de módulos en serie N_s :

Determinar el número máximo en serie

T_a	-10,00	°C
G	200,00	W/m ²
T_c	-4,75	°C
ΔV	8,93%	
V_{ocM}	53,68	V

Parámetros del inversor escogido

V_{MAXINV}	500,00	V
$V_{mpp,max}$	500,00	V
$V_{mpp,min}$	80,00	V

N_{SMAX}	9,00
N_{SMPP}^{max}	13,00
N_{SMPP}^{min}	3,00

N_s 8,00 SI CUMPLE

Determinar el rango de paneles en serie

T_a	25,00	°C
G	1000,00	W/m ²
T_c	51,25	°C
ΔV	-7,88%	
V_{ocM}	45,40	V

V_{mppM}	37,73	V
------------	-------	---

Número de módulos en paralelo N_p :

Parámetros del inversor escogido

I_{MAXINV}	13,50	A
--------------	-------	---

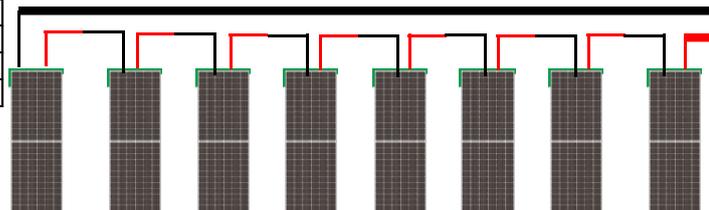
N_{PMAX}	1,00
------------	------

N_p 1,00 SI CUMPLE

Parámetros eléctricos del arreglo fotovoltaico conformado:

V^*_{mppG}	327,68	V
I^*_{mppG}	10,99	A
V^*_{ocG}	394,24	V
I^*_{scG}	11,57	A

P_g	3,60	kWp
SI CUMPLE		



Notas y aclaraciones:

1. Para obtener el número de paneles, y su configuración en serie y paralelo se usaron las Ecuaciones 33, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45 y 46.
2. Para obtener los parámetros eléctricos con respecto a nuevas condiciones climatológicas se emplearon las Ecuaciones 47, 48, 49, 50, 51 y 52.
3. Las ecuaciones mencionadas se encuentran en el informe final de tesis.

Anexo 33: Número y configuración del inversor



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ES CUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO SISTEMA FOTOVOLTAICO

ANEXO 33: NÚMERO Y CONFIGURACIÓN DEL INVERSOR

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin

Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

Las características del inversor escogido son:

MARCA	GROWATT	
MODELO	MIN3000TL-X	
DATOS DE ENTRADA		
$I_{MAX,INV}$	13,5	A
$I_{MAX,INV SC}$	16	A
$V_{MAX,INV}$	500	V
$V_{MIN,INV}$	80	V
$V_{MIN,ARRANQUE}$	100	V
$V_{mpp,min}$	80	V
$V_{mpp,max}$	500	V
Núm. Seguid. MPP	2	
P_{DCMAX}	4,20	kWp

MARCA	GROWATT	
MODELO	MIN3000TL-X	
DATOS DE SALIDA		
P_{ACinv}	3,00	kW
Máxima Pot Salida	3,00	kVA
I_{invSal}	13,6	A
Frecuencia	60	Hz
Acoplamiento a red	220 - 230 - 240 V	
Cof. de distorsión	$\leq 3,00$	%
Factor de potencia	0,8 - 0,8	ind/cap
Eficiencia inversor	98,20%	
Eficiencia MPP	99,90%	



El factor de dimensionamiento SR_{AC} :

SR_{AC}	1,20	SI CUMPLE
-----------	------	-----------

Rango de voltajes de ingreso al seguidor MPP del inversor $V_{mpp,min} - V_{mpp,max}$

G	1000,00	W/m^2
T_c	70,00	$^{\circ}C$
ΔV	-13,50%	
V_{ocM}	42,63	V
V_{ocGmin}	341,02	V

G	1000,00	W/m^2
T_c	-10,00	$^{\circ}C$
ΔV	10,50%	
V_{ocM}	54,45	V
V_{ocGmax}	435,64	V

$V_{mpp,min} \leq V_{mppGmin}$	SI CUMPLE
--------------------------------	-----------

$V_{mpp,max} \geq V_{mppGmax}$	SI CUMPLE
--------------------------------	-----------

$V_{mppGmin}$	283,44	V
---------------	--------	---

$V_{mppGmax}$	362,09	V
---------------	--------	---

Tensión máxima $V_{MAX,INV}$:

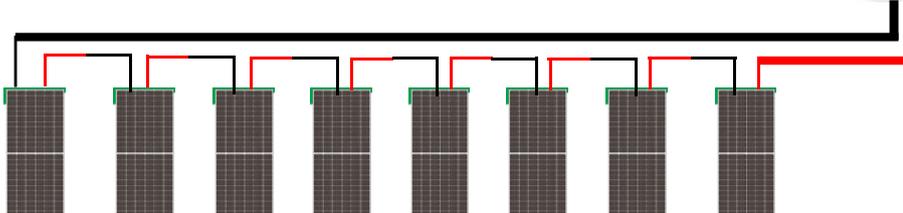
G	1000,00	W/m^2
T_c	-10,00	$^{\circ}C$
ΔV	10,50%	
V_{ocM}	54,45	V
V_{ocGmax}	435,64	V

$V_{MAX,INV} \geq V_{ocGmax}$	SI CUMPLE
-------------------------------	-----------

Corriente máxima $I_{MAX,INV}$:

G	1000,00	W/m^2
T_c	70,00	$^{\circ}C$
ΔI	2,25%	
I_{scM}	11,83	A
I_{scGmax}	11,83	A

$I_{MAX,INV SC} \geq I_{scGmax}$	SI CUMPLE
----------------------------------	-----------



Notas y aclaraciones:

1. Para obtener el valor del factor de dimensionamiento del inversor, se usó la Ecuación 53.
2. Para obtener los parámetros eléctricos con respecto a nuevas condiciones climatológicas se emplearon las Ecuaciones 47, 48, 49, 50, 51 y 52.
3. Para determinar los parámetros que aseguran el buen funcionamiento del inversor se usaron las Ecuaciones 55, 56, 57 y 58.
4. Las ecuaciones mencionadas se encuentran en el informe final de tesis.

Anexo 34: Cableado del sistema fotovoltaico



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

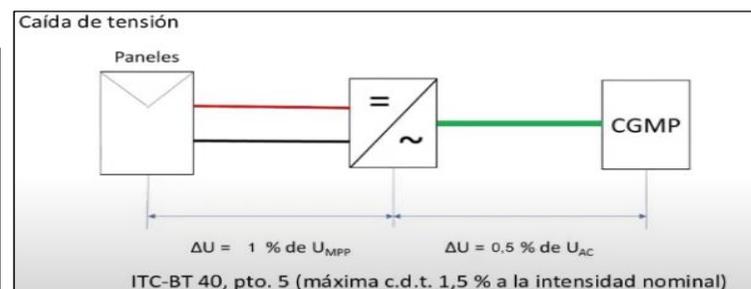
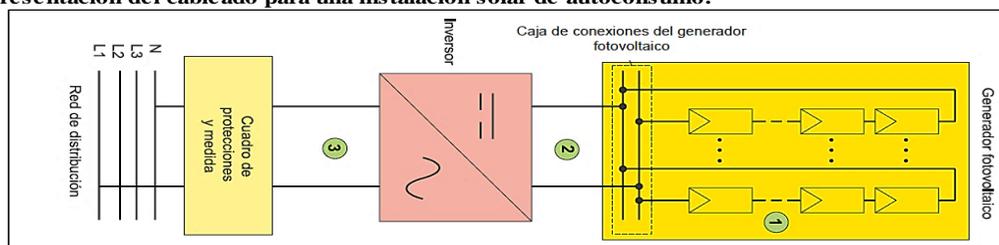


ES CUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO SISTEMA FOTOVOLTAICO ANEXO 34: CABLEADO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin
Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

Representación del cableado para una instalación solar de autoconsumo:



Por criterio de máxima corriente admisible:

COMPONENTE 1	COMPONENTE 2	Metodo de Instalación	In (A)	FACTORES DE CORRECCIÓN			Ib (A)	Iz (A)	Tipo de conductor	Sf (mm ²)
				Fctemp	Fcagrup	Fcte rreno				
Arreglo Fotovoltaico	Inversor	B1	14,46	0,96	1,00	1,00	15,07	33,00	ZZ-F / H1Z2Z2-K	2,50
Inversor	Tablero TD	B1	17,00	0,96	1,00	1,00	17,71	24,00	NH-80	2,50
Tablero TD	Equipo Aire Acondicionado	B1	17,00	0,96	1,00	1,00	17,71	24,00	NH-80	2,50

Por criterio de caída de tensión:

				γ(Cu(90 °C))	45	sm/mm ²				
COMPONENTE 1	COMPONENTE 2	Longitud (m)	In (A)	Vn (V)	Máxima caída de Tensión Admisible	FP	S (mm ²)	Tipo de conductor	Sf (mm ²)	
Arreglo Fotovoltaico	Inversor	20,00	14,46	394,24	1,00%	1,00	3,26	ZZ-F / H1Z2Z2-K	6,00	
Inversor	Tablero TD	8,00	17,00	220,00	0,50%	0,85	4,67	NH-80	4,00	
Tablero TD	Equipo Aire Acondicionado	2,00	17,00	220,00	0,50%	0,85	1,17	NH-80	4,00	

El valor de la Corriente admisible del cable (Iz), debe ser superior a Ib:

TRAMOS	Conductor	Sf (mm ²)	Iz (A)	Ib (A)	
TRAMO 1	ZZ-F / H1Z2Z2-K	6,00	57,00	15,07	SI CUMPLE
TRAMO 2	NH-80	4,00	31,00	17,71	SI CUMPLE
TRAMO 3	NH-80	4,00	31,00	17,71	SI CUMPLE

Notas y aclaraciones:

- Para determinar la sección del conductor por los dos criterios se empleo el método recomendado por el CNE Utilización y las Ecuaciones 59, 60 y 61.
- Las ecuaciones mencionadas se encuentran en el informe final de tesis.

Anexo 35: Elección de equipos de protección y maniobra



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO SISTEMA FOTOVOLTAICO

ANEXO 35: ELECCIÓN DE EQUIPOS DE PROTECCION Y MANIOBRA

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.

Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin

Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

Los equipos de protección y maniobra deben cumplir las siguientes características:

Fusibles por cada cadena del arreglo fotovoltaico

$I_{\text{fus}} \geq$	14,46	A
$V_{\text{nfus}} \geq$	394,24	VDC

I_{fus}	15	A
V_{nfus}	1000	VDC

I_b	I_{fus}	I_z	SI CUMPLE
14,46	15	57,00	

$1,6^*I_{\text{fus}}$	$1,45^*I_z$	SI CUMPLE
24	82,65	

Interruptor automático por cada cadena del arreglo fotovoltaico

$I_{\text{nITM}} \geq$	14,46	A
$V_{\text{nITM}} \geq$	394,24	VDC

I_{nITM}	16	A
V_{nITM}	440	VDC

I_b	I_{nITM}	I_z	SI CUMPLE
15,07	16	57,00	

Protección contra sobrevoltajes

$V_{\text{nPSV}} \geq$	473,09	VDC
------------------------	--------	-----

V_{nPSV}	500	VDC
-------------------------------------	------------	------------

SI CUMPLE

Protección del inversor

Interruptor automático

$I_{\text{nITMinv}} \geq$	17,00	A
$V_{\text{nITMinv}} \geq$	220,00	V

I_{nITMinv}	20	A
V_{nITMinv}	220	V

I_b	I_{nITMinv}	I_z	SI CUMPLE
17,71	20	57,00	

Interruptor diferencial

$I_{\text{nIDinv}} \geq$	20,00	A
$V_{\text{nIDinv}} \geq$	220	V
$I_{\text{D sensibilidad}}$	30	mA

I_{nIDinv}	25	A
V_{nIDinv}	220	V
$I_{\text{D sensibilidad}}$	30	mA

I_b	I_{nIDinv}	I_z	SI CUMPLE
17,71	25	57,00	

Notas y aclaraciones:

1. Para dimensionar los equipos de protección y maniobra se usaron las Ecuaciones 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72 y 73.
2. Las ecuaciones mencionadas se encuentran en el informe final de tesis.

Anexo 36: Energía generada por el sistema y producción final



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ES CUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO INDICADORES

ANEXO 36: ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA Y PRODUCCIÓN FINAL

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chir

Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin

Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

Los principales datos del sistema se muestran a continuación:

La cantidad total final de módulos fotovoltaicos es de:	8,00	paneles	Gstc	1,00	kW/m²
La potencia pico de cada panel fotovoltaico es:	0,450	kWp			
De igual forma la potencia del arreglo fotovoltaico es:	3,60	kWp			

La producción de energía mensual y anual es:

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
MESES	Em (kWh/mes)																			
ENE	378,05	375,74	373,45	371,17	368,91	366,66	364,42	362,20	359,99	357,76	355,90	353,94	351,99	350,06	348,13	346,22	344,31	342,42	340,54	338,66
FEB	353,33	351,18	349,04	346,91	344,79	342,69	340,60	338,52	336,45	334,37	332,63	330,80	328,98	327,17	325,37	323,58	321,80	320,03	318,27	316,52
MAR	411,25	408,75	406,25	403,77	401,31	398,86	396,43	394,01	391,61	389,18	387,16	385,03	382,91	380,80	378,71	376,63	374,55	372,49	370,45	368,41
ABR	365,17	362,94	360,72	358,52	356,34	354,16	352,00	349,85	347,72	345,56	343,77	341,88	340,00	338,13	336,27	334,42	332,58	330,75	328,93	327,12
MAY	378,97	376,66	374,36	372,08	369,81	367,55	365,31	363,08	360,87	358,63	356,76	354,80	352,85	350,91	348,98	347,06	345,15	343,25	341,37	339,49
JUN	320,58	318,62	316,68	314,74	312,82	310,92	309,02	307,14	305,26	303,37	301,79	300,13	298,48	296,84	295,21	293,58	291,97	290,36	288,77	287,18
JUL	301,91	300,07	298,24	296,42	294,61	292,81	291,02	289,25	287,48	285,70	284,22	282,65	281,10	279,55	278,02	276,49	274,97	273,45	271,95	270,45
AGO	350,73	348,59	346,46	344,35	342,25	340,16	338,09	336,03	333,98	331,91	330,18	328,36	326,56	324,76	322,98	321,20	319,43	317,68	315,93	314,19
SET	329,81	327,79	325,79	323,81	321,83	319,87	317,92	315,98	314,05	312,10	310,48	308,77	307,08	305,39	303,71	302,04	300,38	298,72	297,08	295,45
OCT	367,24	365,00	362,77	360,56	358,36	356,18	354,00	351,84	349,70	347,53	345,72	343,82	341,93	340,05	338,18	336,32	334,47	332,63	330,80	328,98
NOV	362,27	360,06	357,86	355,68	353,51	351,35	349,21	347,08	344,96	342,82	341,04	339,16	337,30	335,44	333,60	331,76	329,94	328,13	326,32	324,53
DIC	347,81	345,69	343,58	341,48	339,40	337,33	335,27	333,23	331,20	329,14	327,43	325,63	323,84	322,06	320,29	318,53	316,77	315,03	313,30	311,58
Ea (kWh/año)	4267,11	4241,08	4215,21	4189,50	4163,94	4138,54	4113,30	4088,21	4063,27	4038,08	4017,08	3994,99	3973,01	3951,16	3929,43	3907,82	3886,33	3864,95	3843,69	3822,55

La producción final del sistema para cada año:

AÑO	YF (kWh/kWp)																			
	1185,31	1178,08	1170,89	1163,75	1156,65	1149,6	1142,58	1135,61	1128,69	1121,69	1115,86	1109,72	1103,61	1097,54	1091,51	1085,51	1079,53	1073,6	1067,69	1061,82

Notas y aclaraciones:

1. Para obtener la energía producida mensual y anual se usaron las Ecuaciones 78, 79 y 80.
2. Las ecuaciones mencionadas se encuentran en el informe final de tesis.

Anexo 37: Presupuesto suministro de materiales



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL
DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO INDICADORES

ANEXO 37: PRESUPUESTO SUMINISTRO DE MATERIALES

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin
Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

METRADO

I. SUMINISTRO DE MATERIALES

	Unidad	Cantidad	P. Unitario	S/ Subtotal
01.00.00 EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN				
01.01.00 AIRE ACONDICIONADO 18000 BTU/h, FUNCIÓN FRÍO/CALOR	Und.	1,00	3077,64	3077,64
02.00.00 EQUIPOS DE SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO				
02.01.00 PANEL FOTOVOLTAICO DE 450 Wp, MONOCRISTALINO PERC ECOGREEN HELIOS PLUS	Und.	8,00	733,00	5864,00
02.02.00 INVERSOR FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED DE 3,00 kW 1 Ø GROWATT MIN 3000TL-X	Und.	1,00	2276,89	2276,89
03.00.00 EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA				
03.01.00 FUSIBLE CILÍNDRICO ZJ Beny 15A 1000 VDC 10x38 mm	Und.	2,00	7,69	15,38
03.02.00 PORTAFUSIBLE ZJ Beny 10x38 mm (HASTA 15 A) 1000 VDC	Und.	2,00	32,83	65,66
03.03.00 DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES 3 POLOS / 500 VDC / 40 kA	Und.	1,00	286,92	286,92
03.04.00 INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2 POLOS 16 A / 440 VDC / 10 kA REF C60H-DC A9N61531	Und.	1,00	244,63	244,63
03.05.00 INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO 2 POLOS 20 A / 220 VAC / 10 kA	Und.	2,00	46,00	92,00
03.06.00 INTERRUPTOR DIFERENCIAL 2 POLOS 25 A / 220 VAC / 30 mA	Und.	1,00	129,90	129,90
03.07.00 VATÍMETRO MONOFÁSICO GROWATT SPM-E	Und.	1,00	443,41	443,41
04.00.00 ESTRUCTURAS DE SOPORTE Y ACCESORIOS				
04.01.00 ESTRUCTURA PARA 4 PANELES 40 mm 15° INCLINADA KH FALCAT	Und.	2,00	733,06	1466,12
04.02.00 PERNO DE ANCLAJE F ³ G ² 3/8" x 3" Ø	Und.	32,00	5,48	175,20
05.00.00 CABLES Y CONDUCTORES DE COBRE				
05.01.00 CABLE UNIFILAR PV SOLAR ZZ-F / H1Z2Z2-K 6 mm2 Ø DE 1,5KV ROJO	m	10,00	9,89	98,90
05.02.00 CABLE UNIFILAR PV SOLAR ZZ-F / H1Z2Z2-K 6 mm2 Ø DE 1,5KV NEGRO	m	10,00	9,89	98,90
05.03.00 CABLE UNIFILAR NH-80 4 mm2 Ø 450 / 750 V COLOR NEGRO INDECO O SIMILAR	m	8,00	2,94	23,52
05.04.00 CABLE UNIFILAR NH-80 4 mm2 Ø 450 / 750 V COLOR BLANCO INDECO O SIMILAR	m	8,00	2,94	23,52
06.00.00 TABLERO DE DISTRIBUCIÓN				
06.01.00 TABLERO PARA SOBREPONER/ADOSABLE 12 POLOS	Und.	1,00	78,90	78,90
06.02.00 TABLERO PARA SOBREPONER/ADOSABLE 08 POLOS	Und.	1,00	33,90	33,90
07.00.00 TUBERÍAS DE PROTECCIÓN Y ACCESORIOS				
07.01.00 TUBO PVC SAP 3/4" Ø x 3,00 m	Und.	4,00	10,60	42,40
07.02.00 CAJA DE PASE PVC PESADO P/ ADOSAR 100x100x70 mm	Und.	5,00	8,90	44,50
07.03.00 CANALETA CON ADHESIVO 20x12mm	Und.	1,00	9,90	9,90
07.04.00 ABRAZADERA DE 3/4" Ø CON 2 OREJAS DE 2 mm	Und.	8,00	1,00	8,00
07.05.00 TIRAFON HEX. F ³ G ² 5/16 x 2" C/ ANILLO PLANO	Und.	16,00	1,13	18,00
07.06.00 TARUGO PVC 1/2" PARA TIRAFON 5/16" Ø x 50 unidades	Bolsa	1,00	5,90	5,90
08.00.00 ACCESORIOS PARA CONEXIÓN				
08.01.00 JUEGO DE CONECTORES MC4 PANELES SOLARES TIPO MACHO Y HEMBRA	Jgo.	2,00	19,98	39,96
08.02.00 CINTA VULCANIZANTE N° 23 3M	Und.	1,00	54,90	54,90
08.03.00 CINTA AISLANTE N° 1700 3M COLOR NEGRO	Und.	1,00	5,90	5,90
08.04.00 CINTA AISLANTE N° 33+ 3M	Und.	1,00	32,90	32,90
09.00.00 POZO DE PUESTA A TIERRA				
09.01.00 VARILLA DE COBRE 5/8" Ø x 2,40 m	Und.	1,00	316,90	316,90
09.02.00 CONECTOR TIPO AB 5/8" Ø BRONCE COBREADO	Und.	1,00	9,50	9,50
09.03.00 CEMENTO CONDUCTIVO THOR CEM x 25 kg (PARA-RA YOS)	Bolsa	2,00	98,74	197,48
09.04.00 THOR GEL x 5 kg (PARA-RA YOS)	Caja	2,00	115,34	230,68
09.05.00 CAJA DE REGISTRO PVC C/ ROTULO THOR GEL	Und.	1,00	34,51	34,51
09.06.00 CONDUCTOR TIPO CPT SIN HALOGENO (BICOLOR A/V) 4 mm2 INDECO O SIMILAR	m	20,00	1,72	34,40
09.07.00 TERMINAL A COMPRESION Cu/Es P/ CABLE 4 mm2 5/16" Ø OJAL	Und.	5,00	1,13	5,65
09.08.00 PERNO HEXAGONAL 5/16" Ø x 1 1/2" C/TUERCA Y ARANDELA PLANA	Und.	5,00	1,55	7,75
09.09.00 TUBO PVC SAP 1" Ø x 3 m	Und.	4,00	14,70	58,80
09.10.00 CURVA PVC SAP 1" Ø x 90°	Und.	1,00	2,03	2,03
09.11.00 CONECTOR PVC SAP A CAJA 1" Ø	Und.	1,00	0,63	0,63
09.12.00 CEMENTO PORTLAND TIPO MS x 42,5 kg	Bolsa	1,00	29,40	29,40
09.13.00 TIERRA DE CULTIVO	m ³	3,00	50,00	150,00
09.14.00 ARENA GRUESA ZARANDEADA	Carret.	2,00	10,00	20,00
09.15.00 PIEDRA CHANCADA 1/2" Ø	Carret.	2,00	10,00	20,00

TOTAL S/ 15875,48

Anexo 38: Presupuesto montaje electromecánico



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA



ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CALCULO INDICADORES

ANEXO 38: PRESUPUESTO MONTAJE ELECTROMECHANICO

Nombre de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
Autor: Bachiller Acero Roncal Kevin
Asesor: Dr. Arangurí Cayetano Denis Javier

METRADO

I. MONTAJE ELECTROMECHANICO

	Unidad	Cantidad	S/ P. Unitario	S/ Subtotal
01.00.00 TRABAJOS PRELIMINARES				
01.01.00 TRAZADO Y REPLANTEO EN OBRA (PUNTO DE INSTALACION)	Glob.	1,00	200,00	200,00
02.00.00 INSTALACIÓN DEL EQUIPO DE CLIMATIZACIÓN				
02.01.00 INSTALACION DE AIRE ACONDICIONADO 18000 BTU/h, FUNCIÓN FRÍO/CALOR INCLUYE INSTALACIÓN DE LA UNIDAD INTERIOR Y UNIDAD EXTERIOR. INSTALACIÓN ELECTRICA E INSTALACIÓN DE TUBERIA DE REFRIGERANTE	Glob.	1,00	800,00	800,00
03.00.00 INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SOPORTE				
03.01.00 ARMADO DE ESTRUCTURAS METALICAS PARA SOPORTE DE LOS PANELES Y ANCLAJE DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE SOBRE TECHO	Glob.	1,00	250,00	250,00
04.00.00 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO				
04.01.00 INSTALACIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS DE 450 Wp INCLUYE CONEXIONADO EN SERIE Y ANCLAJE A LAS ESTRUCTURAS SOPORTE	Und.	8,00	70,00	560,00
04.02.00 INSTALACION DEL INVERSOR FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED DE 3,00 kW 1 Ø GROW ATT MIN 3000TL-X, INCLUYE CONFIGURACION Y ANCLAJE A PARED	Glob.	1,00	250,00	250,00
05.00.00 ENTUBADO PARA PROTECCIÓN DEL CABLEADO				
05.01.00 INSTALACIÓN DE TUBERIA DE PVC SAP 3/4" Ø x 3,00 m, INCLUYE INSTALACIÓN DE CAJAS DE PASE Y ANCLAJE DE LA TUBERIA A TECHO Y PARED SEGÚN RECORRIDO	Glob.	1,00	100,00	100,00
06.00.00 INSTALACIÓN DE TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN CON EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA				
06.01.00 MONTAJE DEL TABLERO PARA SOBREPONER/ADOSABLE 08 POLOS EN EL LADO DE CORRIENTE CONTINUA INCLUYE LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA CORRESPONDIENTES (FUSIBLES, INTERRUPTOR, DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES)	Glob.	1,00	100,00	100,00
06.02.00 MONTAJE DEL TABLERO PARA SOBREPONER/ADOSABLE 12 POLOS EN EL LADO DE CORRIENTE ALTERNA INCLUYE INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN Y MANIOBRA CORRESPONDIENTES (INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS Y DIFERENCIAL, Y VATIMETRO MONOFÁSICO GROW ATT SPM)	Glob.	1,00	100,00	100,00
07.00.00 CABLEADO Y CONEXIONADO				
07.01.00 CABLEADO NUEVO CIRCUITO DE CORRIENTE CONTINUA CON CABLE UNIFILAR PV SOLAR ZZ-F / H1Z2Z2-K 6 mm2 Ø DE 1,5KV ROJO Y NEGRO DESDE ARREGLO FOTOVOLTAICO A INVERSOR	Glob.	1,00	120,00	120,00
07.02.00 CABLEADO NUEVO CIRCUITO DE CORRIENTE ALTERNA CON CABLE UNIFILAR NH-80 6 mm2 Ø 450 / 750 V COLOR ROJO Y NEGRO DESDE INVERSOR A TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	Glob.	1,00	120,00	120,00
07.03.00 HABILITACIÓN DE NUEVO CIRCUITO DE CONEXIÓN DESDE LA RED CON CABLE UNIFILAR NH-80 6 mm2 Ø 450 / 750 V COLOR ROJO Y NEGRO HASTA TABLERO DE DISTRIBUCIÓN	Glob.	1,00	120,00	120,00
08.00.00 CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PUESTA A TIERRA				
08.01.00 EXCA VACION DE POZO 1.0x1.0x3.0 m TERRENO NATURAL (ARENOSO)	Glob.	1,00	250,00	250,00
08.02.00 CONSTRUCCIÓN DEL POZO DE PUESTA A TIERRA INCLUYE: TAMIZADO DE TIERRA DE CULTIVO CON TAMIZ DE 1/2" Y PREPARACION DE RELLENO CON SALES HIGROSCOPICAS (THOR GEL) PREPARACION DE POZO A TIERRA TIPO VERTICAL C/ VARILLA DE COBRE Ø 5/8" LONG. 2.40 m. C/ CEMENTO CONDUCTIVO THOR CEM, THOR GEL, RELLENO Y COMPACTADO, MEZCLA INSTALACION DE CAJA DE REGISTRO PVC C/ TAPA P/ CONTROL, FIJADO CON CONCRETO, LOSA PERIMETRAL DE TAPA 1x1 m ENTUBADO DESDE POZO A TIERRA HASTA SISTEMA A PROTEGER, ENTUBADO C/ TUBO PVC SAP Ø 1" CABLEADO C/ CONDUCTOR DE ATERRAMIEN TO TIPO CPT Ó NH-80 6 mm2 (A/V) LIBRE DE HALOGENO, CONEXIONADO EN VARILLA DE COBRE Y EN ESTRUCTURAS SOPORTE, EQUIPOS Y A TABLEROS. MEDICION RESISTENCIA DE POZO A TIERRA Y CERTIFICADO CON EQUIPO TELUROMETRO CON CALIBARCION VIGENTE ELABORACION DE PROTOCOLO DE MEDICION DE POZO A TIERRA, EMISION DE CERTIFICADO DE MEDICION DE RESISTENCIA DE POZO A TIERRA FIRMADO POR PROFESIONAL INGENIERO MECANICO - ELECTRICISTA HABILITADO	Glob.	1,00	700,00	700,00
09.00.00 PRUEBAS ELÉCTRICAS				
09.01.00 PRUEBA DE PUESTA EN SERVICIO	Glob.	1,00	400,00	400,00

TOTAL S/ 4070,00

Anexo 39: Ficha técnica del equipo de aire acondicionado

ESPECIFICACIONES				SPLIT PARED FRIO / CALOR		
Estándar Plus						
Inversor DUAL						
Potente enfriamiento y calefacción con las funciones más esenciales						
Modelo				VM122H9	VM182H8	VM242H8
Capacidad	Enfriamiento	Min / Ratio / Máx	KW	0.4 / 3.5 / 4.03	0.90 / 5.00 / 5.525	0.90 / 6.60 / 7.42
		Min / Ratio / Máx	Btu/h	1,365 / 11,942 / 13,751	3,071 / 17,072 / 18,852	3,071 / 22,520 / 25,318
	Calefacción	Min / Ratio / Máx	KW	0.5 / 3.8 / 4.03	0.90 / 5.80 / 6.438	0.90 / 7.50 / 8.64
		Min / Ratio / Máx	Btu/h	1,706 / 12,966 / 13,751	3,071 / 19,804 / 21,967	3,071 / 25,591 / 29,481
Potencia de Entrada	Enfriamiento		W	200 / 1,115 / 1,400	210 / 1,587 / 1,800	240 / 2,275 / 2,500
	Calefacción		W	195 / 1,000 / 1,200	210 / 1,611 / 2,000	240 / 2,308 / 2,750
Amperaje	Enfriamiento	Ratio	A	5,3	6.90	10.10
	Calefacción	Ratio	A	4,9	7.10	10.40
Alimentación Eléctrica (Fase/Voltaje/Frecuencia)			Ø, V, Hz	1 / 220 / 60	1 / 220 / 60	1 / 220 / 60
Etiqueta de Eficiencia Energética	Enfriamiento/Calefacción			A / A	A / A	A / B
	SEER (W/w)			6.6 / -	6.5 / 4.0	6.20 / 3.90
	SEER (Btu/h.w)			22.52	22.18	21.16
Rango de Operación	Interior	Enfriamiento	°CDB	18 - 32	-15 - 48	-15 - 48
	Exterior	Enfriamiento	°CDB	18 - 48	-10 - 18	-10 - 18
Retiro de Humedad			l / h	0.66	1.80	2.50
Nivel de presión de sonido	Evaporador	Enfriamiento	dB(A)	42 / 34 / 26 / 22	47 / 44 / 39 / 34 / 31	50 / 47 / 42 / 34 / 31
		Calefacción	dB(A)	42 / 34 / 26	48 / 44 / 39 / 34	50 / 47 / 42 / 34
	Condensador	Enfriamiento	dB(A)	50	53	56
		Calefacción	dB(A)	50	55	57
Refrigerante	Tipo		-	R410a	R410a	R410a
	Precargado hasta 7.5 m		g	850	1200	1350
	Carga Adicional		g/m	20	20	30
Compresor	Tipo		-	Twin Rotary	Twin Rotary	Twin Rotary
	Modelo		-	GST102MAA	GKT141MBA	GKT176MFA
	Marca		-	LG Electronics	LG Electronics	LG Electronics
	Tipo de Motor		-	BLDC	BLDC	BLDC
	Tipo de Aceite		-	PVE (FVC68D) / IDEMITSU	PVE (FVC68D) / IDEMITSU	PVE (FVC68D) / IDEMITSU
	Carga de Aceite		CC	280	470	470
Ventilador (Evaporador)	Tipo Ventilador		-	Ventilador flujo cruzado	Ventilador flujo cruzado	Ventilador flujo cruzado
	Salida Motor		W	30	30	60
Ventilador (Condensador)	Tipo		-	Propeller Fan	Ventilador de propulsión	Ventilador de propulsión
	Tipo de Motor		-	BLDC	BLDC	BLDC
Salida Motor		W	43	43	85	
Cable de Alimentación			No. x mm ²	3 x 1.0	3 x 1.5	3 x 2.5
Cable de Poder y Control			No. x mm ²	4 x 0.75	4 x 1.0	4 x 1.0
Tuberías	Líquido		mm	Ø 6.35	Ø 6.35	Ø 6.35
	Gas		mm	Ø 9.52	Ø 12.7	Ø 15.88
Drenaje			O.D / I.D	mm	21.5 / 16.0	21.5 / 16.0
Dimensiones Neto	Unidad Interior	(W x H x D)	mm	837 x 308 x 189	998 x 345 x 212	998 x 345 x 210
	Unidad Exterior	(W x H x D)	mm	717 x 495 x 230	770 x 545 x 288	870 x 655 x 320
Peso Neto	Unidad Interior	Neto	Kg	8,40	11.6	12.5
	Unidad Exterior	Neto	Kg	26,10	36.7	46
Distancia entre unidad interior y exterior	Longitud de tubería	Min / Standard / Max	m	3 / 7.5 / 15	3 / 7.5 / 20	3 / 7.5 / 30
		Máx diferencia de altura	m	7	10.0	15.0

Nota. Tomado de DUALCOOL, Aire Acondicionado Inverter 18000 BTU, Función Frío/Calor, por Lucky Goldstar [LG], 2023, LG. (<https://www.lg.com/pe/aire-acondicionado-residencial/lg-VM182H8-dualcool-inverter>).

Anexo 40: Ficha técnica del panel fotovoltaico



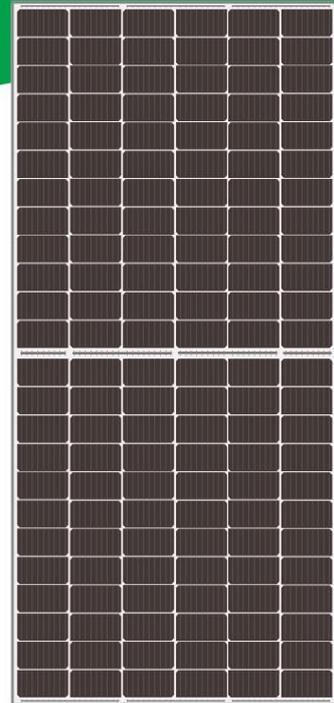
HELIOS PLUS

by Eco Green Energy

445-455W

M6 / 166 mm Cell - 144 cells

Founded in 2008, Eco Green Energy is a french brand solar PV manufacturer and distributing now its PV module in more than 60 countries over the world. Helios Plus solar modules are made only with grade A cells for highest power generation, lowest LCOE, and ensured more than 25 years lifespan.



KEY FEATURES

-  PERC Cells Technology
-  Lower LCOE and BOS
-  Anti PID/ Low LID protection
-  Less Hot Spot Shading effects
-  Lower temperature coefficient

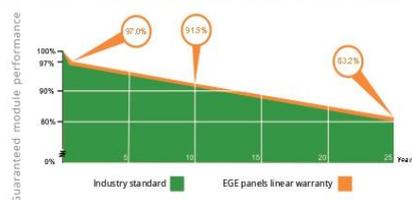
- 144-Cell**
MONOCRYSTALLINE MODULE
- 20.81%**
MAXIMUM EFFICIENCY
- 0~+5W**
POSITIVE POWER TOLERANCE
- GRADE A**
CELLS GUARANTEED

 French Quality Module



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12-Year Product Warranty · 25-Year Linear Power Warranty



Eco Green Energy Group Ltd. 2018. All rights reserved.
Add: 299 Xing Cheng Road, Chong Chuan District, Nantong, Jiangsu, China
Tel: +86 513 66690088 / E-mail: info@eco-greenenergy.com

COMPREHENSIVE CERTIFICATES

IEC 61215/ IEC 61730 / IEC 61701/ UL 61730
ISO 9001 : Quality Management Systems



Facebook: www.facebook.com/EGE.Nantong
LinkedIn: www.linkedin.com/company/eco-green-energy/
Website: www.eco-greenenergy.com



ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	445 W	450 W	455 W
Power tolerance	0-+5 W	0-+5 W	0-+5 W
Module efficiency	20.36%	20.58%	20.81%
Maximum power voltage (Vmp)	40.84 V	40.96 V	41.06 V
Maximum power current (Imp)	10.90 A	10.99 A	11.08 A
Open circuit voltage (Voc)	49.14 V	49.28 V	49.41 V
Short circuit current (Isc)	11.48 A	11.57 A	11.66 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NMOT*

Power output (Pmax)	331.80 W	335.53 W	339.26 W
Maximum power voltage (Vmp)	38.29 V	38.40 V	38.49 V
Maximum power current (Imp)	8.65 A	8.73 A	8.80 A
Open circuit voltage (Voc)	45.57 V	45.70 V	45.82 V
Short circuit current (Isc)	9.33 A	9.41 A	9.48 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambient temperature: 20°C
• AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (166x83mm)
Number of cells	144
Dimensions	2102x1040x35mm
Weight	24.5 kg
Glass	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68 rated (3 by pass diodes)
Cable	4.0 mm ² , 300 mm (+) / 300 mm (-) ; Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NMOT	41 °C ±3 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.35%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.30%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.05%/°C

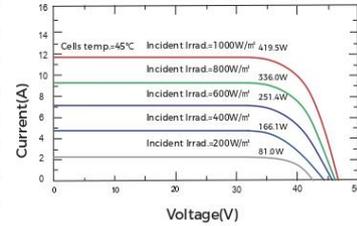
MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-40 °C -+85 °C
Maximum system voltage	1500V/DC(IEC)
Max series fuse rating	25 A

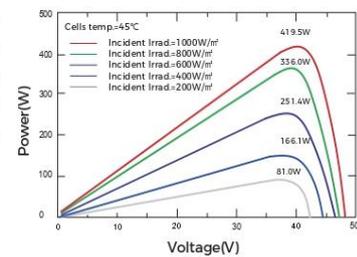
PACKAGING (2102x1040x35mm)

Type	Pcs	Weight
Per Pallet	31 pcs	800 kg
40ft HQ Container	682 pcs (22pallets)	17.60 t

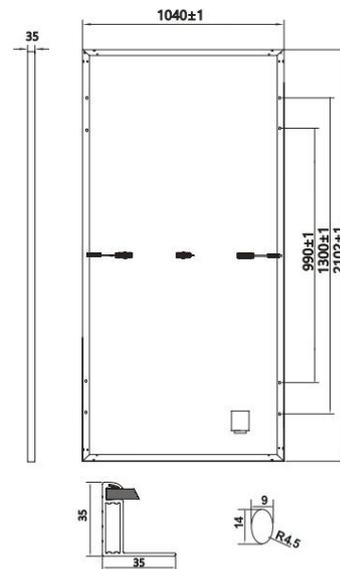
PV MODULE : EGE-450W-144M(M6)



PV MODULE : EGE-450W-144M(M6)



Dimension of PV Module (mm)



Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice.
Refer to our website for further information or contact one of our sales staff.
www.eco-greenenergy.com

Nota. Tomado de Panel Solar 450W 24V Monocrystalino PERC ECO GREEN, por Panel Solar Peru, 2023, Panel Solar Peru. (<https://www.panelsolarperu.com/productos/476-panel-solar-450w-24v-monocrystalino-perc-eco-green.html>).

Anexo 41: Ficha técnica del inversor de conexión a red

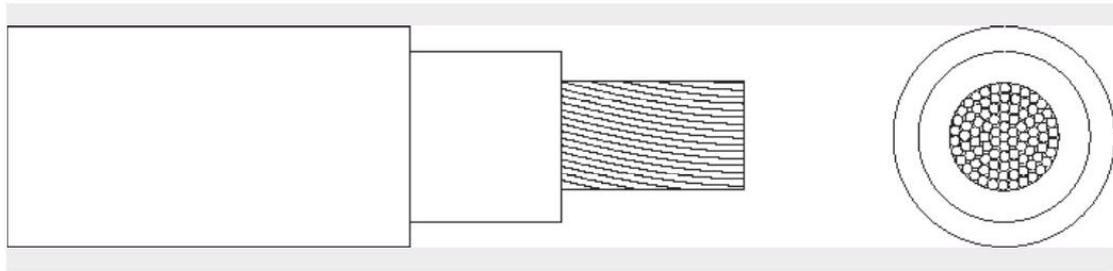
Ficha de datos	MIN 2500TL-X	MIN 3000TL-X	MIN 3600TL-X	MIN 4200TL-X	MIN 4600TL-X	MIN 5000TL-X	MIN 6000TL-X
Datos de entrada (CD)							
Máxima potencia FV recomendada	3500W	4200W	5040W	5880W	6440W	7000W	8100W
Máximo voltaje CD	500V						
Voltaje de arranque	100V						
Rango de voltaje de MPPT / Voltaje nominal	80V-500V /360V						
Máxima corriente por MPPT	13.5A/13.5A						
Corriente de corto circuito por MPPT	16A/16A						
Número de MPPTs / Cadenas por MPPT	2/1						
Salida (CA)							
Potencia nominal CA	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Potencia aparente máxima	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Corriente máxima de salida	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
Voltaje nominal CA (Rango*)	Predeterminado: 200V fase dividida, opcional: 208V & 240V monofásico, 183-228@208V 211-264@240V						
Frecuencia de red CA (Rango*)	50Hz/60Hz(45-55Hz/55-65Hz)						
Factor de potencia nominal /ajustable	>.99 / +0.8 ... -0.8						
Distorsión armónica total	<3%						
Tipo de conexión CA	Monofásico						
Eficiencia							
Máxima eficiencia	98.2%	98.2%	98.2%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
Eficiencia europea	97.1%	97.1%	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%	97.5%
Eficiencia del MPPT	99.9%						
Dispositivos de protección							
Protección de polaridad inversa CD	Sí						
Interruptor CD	Sí						
Protección contra sobretensión CA/CD	Clase III / Clase II						
Protección de corto circuito CA	Sí						
Protección contra sobretensión AC	Sí						
Monitoreo de falla a tierra	Sí						
Monitoreo de red	Sí						
Protección anti-isla	Sí						
Monitoreo de corriente residual	Sí						
AFCI	Sí						
Datos generales							
Dimensiones	375/350/160mm						
Peso	10.8Kg						
Rango de temperatura de operación	-25°C ... +60°C						
Altitud	4000m						
Autoconsumo (noche)	<1W						
Topología	Sin transformador						
Enfriamiento	Convección natural						
Grado de protección	IP65						
Humedad relativa	100%						
Conexión DC	H4/MC4 (opcional)						
Conexión AC	Conector						
Pantalla	OLED+LED						
Comunicación: Rs485 / USB / WIFI / GPRS / RF/LAN	S/S/Opc/Opc/Opc/Opc						
Garantía: 5 años / 10 años	S/Opc						
CE, IEC62109, G98, G99, VDE0126-1-1, AS4777, AS/NZS 3100, VDE-AR-N4105, CQC, IEC61683, IEC60068, IEC61727, IEC62116, INMETRO, UL1741, IEEE1547							

* El rango de voltaje y frecuencia de CA puede variar dependiendo del estándar de la red del país.
Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.

Nota. Tomado de Inversor Red Growatt MIN 3000TL-X, por AutoSolar, 2023, AutoSolar. (<https://autosolar.pe/inversores-interconexion-monofasicos/inversor-red-growatt-min-3000tl-x>).

Anexo 42: Ficha técnica del conductor para el tramo en corriente continua

TOPSOLAR PV ZZ-F / H1Z2Z2-K



DIMENSIONES

Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (Kg/km)	Aire libre (A)	Int. Sobre Superficie (A)	Int. Adyacente a Superficie (A)	Caída tensión (V/A · km)
1 x 2,5	4,8	42	41	39	33	23,0
1 x 4	5,3	57	55	52	44	14,3
1 x 6	5,9	76	70	67	57	9,49
1 x 10	7,0	120	98	93	79	5,46
1 x 16	8,2	179	132	125	107	3,47
1 x 25	10,8	294	176	167	142	2,23
1 x 35	11,9	390	218	207	176	1,58

Nota. Tomado de TOPSOLAR H1Z2Z2-K, por TopCable, 2023 TopCable. (<https://www.topcable.com/low-voltage-cables/solar-cables/topsolar-pv-zz-f-h1z2z2-k/>).

Anexo 43: Ficha técnica del conductor para el tramo en corriente alterna



TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80

CALIBRE CONDUCTOR	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO	AMPERAJE (*)	
							AIRE	DUCTO
mm ²		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
1.5	7	0.52	1.50	0.7	2.9	20	18	14
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	31	30	24
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	46	35	31
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	65	50	39
10	7	1.33	3.99	1.0	6.0	110	74	51
16	7	1.69	4.67	1.0	6.7	167	99	68
25	7	2.13	5.88	1.2	8.3	262	132	88
35	7	2.51	6.92	1.2	9.3	356	165	110
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	480	204	138
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	678	253	165
95	19	2.51	11.55	1.6	14.8	942	303	198
120	37	2.02	13.00	1.6	16.2	1174	352	231
150	37	2.24	14.41	1.8	18.0	1443	413	264
185	37	2.51	16.16	2.0	20.2	1809	473	303
240	37	2.87	18.51	2.2	22.9	2368	528	352
300	37	3.22	20.73	2.4	25.5	2963	633	391

(*) TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.

NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO.

Nota. Tomado de FREETOX NH-80, por Promelsa, 2023 Promelsa.
(<https://www.promelsa.com.pe/media/PDF/1000405-01.pdf>).

Anexo 44: Ficha técnica del fusible

PARÁMETROS TÉCNICOS

MODELO	ZTPV 25			
Imagen				
Tamaño (mm)	10x38			
Tensión nominal Ue (V)	DC1000			
Corriente nominal In (A)	1 2 3 4 5 6 8 10 12 15 16 20 25 30 32			
Capacidad de ruptura nominal (33)	33			
Clase de operación	gPV			
Temperatura de trabajo	-50~105			
Altitud (m)	≤ 2000			
Peso (g)	10			
Estándar	IEC60269.6			
Detalles del material				
Nombre de la pieza	Tapa	Cuerpo	Elemento fusible	Agente extintor de arcos
Material	Cobre rojo	Óxido de aluminio	Plata	Silicio

Nota. Tomado de Fusible 10x38 15A 1000Vdc ZJ Beny, por AutoSolar, 2023, AutoSolar. (<https://autosolar.pe/portafusibles/fusible-10x38-15a-1000vdc-zj-beny>).

Anexo 45: Ficha técnica del interruptor automático del arreglo fotovoltaico (DC)

Hoja de datos del producto A9N61531 Características



Principal

Gama	Acti 9
Nombre del producto	Acti 9 C60H-DC
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre corto del dispositivo	C60H-DC
Aplicación del dispositivo	Distribución
Número de polos	2P
Número de polos protegidos	2
[In] Corriente nominal	16 A en 25 °C
Tipo de red	CC
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C
Capacidad de corte	10 KA Icu en 440 V CC acorde a EN 60947-2 10 KA Icu en 440 V CC acorde a IEC 60947-2 6 KA Icu en 500 V CC acorde a EN 60947-2 6 KA Icu en 500 V CC acorde a IEC 60947-2 20 KA Icu en 220 V CC acorde a GB 14048.2 20 KA Icu en 220 V CC acorde a IEC 60947-2 20 KA Icu en 250 V CC acorde a GB 14048.2 20 KA Icu en 250 V CC acorde a IEC 60947-2
Categoría de empleo	Categoría A acorde a EN 60947-2 Categoría A acorde a IEC 60947-2
Poder de seccionamiento	Sí acorde a IEC 60947-2 Sí acorde a EN 60947-2

Complementario

Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] Tensión nominal de empleo	500 V CC
[Ics] poder de corte en servicio	15 KA 75 % acorde a EN 60947-2 - 220 V CC 15 KA 75 % acorde a IEC 60947-2 - 220 V CC 15 KA 75 % acorde a EN 60947-2 - 250 V CC 15 KA 75 % acorde a IEC 60947-2 - 250 V CC 4,5 KA 75 % acorde a EN 60947-2 - 500 V CC 4,5 KA 75 % acorde a IEC 60947-2 - 500 V CC 7,5 KA 75 % acorde a EN 60947-2 - 440 V CC 7,5 KA 75 % acorde a IEC 60947-2 - 440 V CC
[Ui] Tensión nominal de aislamiento	500 V CC acorde a IEC 60947-2 500 V CC acorde a EN 60947-2
[Uimp] Resistencia a picos de tensión	6 KV acorde a EN 60947-2 6 kV acorde a IEC 60947-2
Indicador de posición del contacto	Sí
Tipo de control	Maneta
Señalizaciones en local	Indicación de encendido/apagado
Tipo de montaje	Fijo
Soporte de montaje	Carril DIN simétrico de 35 mm
Compatibilidad de bloque de distribución y embarrado tipo peine	Arriba o abajo, estado 1 Estándar
Pasos de 9 mm	4
Peso del producto	0,256 kg
Color	Blanco

La información suministrada en esta documentación contiene descripciones generales y/o características técnicas de los productos incluidos y sus prestaciones. Esta documentación no pretende ser un sustituto de, y no se va a usar para determinar la idoneidad y la fiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuario. Es responsabilidad de los usuarios o integradores realizar el análisis de riesgos adecuada y complementaria; evaluar y testear los productos en relación con la aplicación específica pertinente o uso del mismo. NI Schneider Electric Industries SAS ni ninguna de sus filiales o subsidiarias serán responsables por el mal uso de la información contenida en el presente documento.

Jan 29, 2020

Libra Is Cn | Schneider Electric

1

Nota. Tomado de Interruptor termomagnético C60H-DC 2X16 AMP. Schneider, A9N61531, SCHNEIDER-ELECTRIC, por Sein Electricidad, 2023, Sein Electricidad. (<https://sein.com.pe/interruptor-termomagnetico-c60h-dc-2x16-amp-schneider-a9n61531-schneider-electric.html>).

Anexo 46: Ficha técnica del dispositivo de protección contra sobretensiones (DC)

SPD // Serie BF
BF3-40/500

EQUIPOS
TECNOLÓGICOS MD

MÓDULOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS.

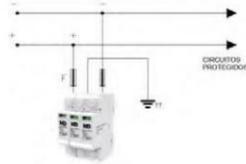
Protectores de sobretensiones Tipo 2 para instalaciones en corriente continua de hasta 500 V_{cc}.

Protegen los equipos eléctricos y electrónicos contra sobretensiones transitorias de origen atmosférico y de maniobra.

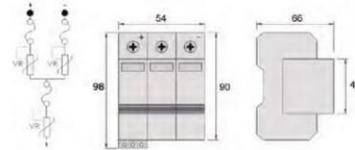
- Protección Clase II de acuerdo con la norma IEC 61643-1 • Protección Tipo 2 de acuerdo con la norma EN 61643-11
- Fácil supervisión gracias al dispositivo de desconexión.
- Diseño en dos partes consistentes en una base y un módulo de protección enchufable.
- Indicación de fallo mediante indicador rojo en ventana.
- Respuesta rápida.
- Terminal de alarma remota opcional.



SPD



Conexión del equipo



Esquema y dimensiones del BF3-40

MODELO EQUIPO	BF3-40/500
Tipo de instalación	Derivación / DC Positivo-Negativo-T
Tensión nominal / Frecuencia	500 V _{cc} / Corriente Continua
Esquemas de puesta a tierra	-
Desconexión térmica	Interna verde-normal rojo-fallo
Contacto alarma remota	Opcional; Cod BF3-40/500-S
Comportamiento frente a sobretensiones	
Tipo de protección (EN 61643-11 / IEC 61643-1)	Clase II / Tipo 2
Tensión máxima operación continua (U _c) DC	520 V _{cc}
Corriente nominal de descarga (8/20) I _n	20 kA
Máxima corriente de descarga (8/20) I _{max}	40 kA
Corriente de impulso de rayo (10/350) I _{imp}	-
Tensión de cebado DC	-
Nivel de protección U _p [Positivo - Negativo]	1,8 kV
Nivel de protección U _p [Positivo-T / Negativo-T]	1,8 kV
Tiempo de respuesta t _a	25 ns

Nota. Tomado de Protección sobretensiones 3P 500V 40kA MD, por AutoSolar, 2023, AutoSolar. (<https://autosolar.pe/accesorios-de-inversores/proteccion-sobretensiones-3p-500v-40ka-md>).

Anexo 47: Ficha técnica del interruptor automático para protección inversor (AC)

b ticino																															
Interruptor termomagnético BT DIN	Número de parte: FN820YC20																														
	Contenido: <ol style="list-style-type: none">1. Descripción general del producto2. Características principales3. Características técnicas4. Normas Técnicas Peruanas5. Certificaciones6. Uso y recomendaciones7. Garantía de fábrica8. Otros																														
1. Descripción general del producto: <ul style="list-style-type: none">▪ BT DIN - Interruptores termomagnéticos de 1A a 63A - Curvas, C, B y D.▪ Admiten la conexión con peines unipolares y peines multipolares.▪ Poder de corte: 6000 – IEC 60898-1 - 400V y 10kA – IEC 60947-2 – 400V.▪ Un portaetiquetas incorporado.▪ Posicionamiento o extracción fácil del producto del riel DIN. Compatible con destornillador plano o estrella.	3. Características técnicas: <table border="1"><thead><tr><th>Características</th><th>Valores</th></tr></thead><tbody><tr><td>Tipo de montaje</td><td>Riel DIN</td></tr><tr><td>Número de polos</td><td>2P</td></tr><tr><td>Intensidad nominal</td><td>20A</td></tr><tr><td>Capacidad de corto circuito</td><td>10 000A</td></tr><tr><td>Tensión de aislamiento</td><td>500V</td></tr><tr><td>Tensión nominal</td><td>220V</td></tr><tr><td>Bornes de conexión</td><td>Para cables</td></tr><tr><td>Tipo de curva</td><td>C</td></tr><tr><td>Calibre intensidad</td><td>1 a 63 A a 30°C</td></tr><tr><td>Número de módulos</td><td>2</td></tr><tr><td>Portaetiquetas</td><td>Si</td></tr><tr><td>Temperatura mínima</td><td>-25°C</td></tr><tr><td>Temperatura máxima</td><td>70°C</td></tr><tr><td>Frecuencia nominal</td><td>50/60 Hz</td></tr></tbody></table>	Características	Valores	Tipo de montaje	Riel DIN	Número de polos	2P	Intensidad nominal	20A	Capacidad de corto circuito	10 000A	Tensión de aislamiento	500V	Tensión nominal	220V	Bornes de conexión	Para cables	Tipo de curva	C	Calibre intensidad	1 a 63 A a 30°C	Número de módulos	2	Portaetiquetas	Si	Temperatura mínima	-25°C	Temperatura máxima	70°C	Frecuencia nominal	50/60 Hz
Características	Valores																														
Tipo de montaje	Riel DIN																														
Número de polos	2P																														
Intensidad nominal	20A																														
Capacidad de corto circuito	10 000A																														
Tensión de aislamiento	500V																														
Tensión nominal	220V																														
Bornes de conexión	Para cables																														
Tipo de curva	C																														
Calibre intensidad	1 a 63 A a 30°C																														
Número de módulos	2																														
Portaetiquetas	Si																														
Temperatura mínima	-25°C																														
Temperatura máxima	70°C																														
Frecuencia nominal	50/60 Hz																														
2. Características principales: <table border="1"><thead><tr><th>Características</th><th>Valores</th></tr></thead><tbody><tr><td>Marca</td><td>Bticino</td></tr><tr><td>Modelo</td><td>BT DIN</td></tr><tr><td>País de fabricación</td><td>Italia</td></tr><tr><td>Unidad de despacho</td><td>5 Unidades</td></tr><tr><td>Embalaje</td><td>Caja</td></tr><tr><td>Material Interruptor</td><td>Plástico</td></tr></tbody></table>	Características	Valores	Marca	Bticino	Modelo	BT DIN	País de fabricación	Italia	Unidad de despacho	5 Unidades	Embalaje	Caja	Material Interruptor	Plástico																	
Características	Valores																														
Marca	Bticino																														
Modelo	BT DIN																														
País de fabricación	Italia																														
Unidad de despacho	5 Unidades																														
Embalaje	Caja																														
Material Interruptor	Plástico																														

Nota. Tomado de Interruptor termomagnético de 2 X 20 A. 10 KA. /220V. riel, FN820YC20, BTICINO, por Sein Electricidad, 2023, Sein Electricidad. (<https://sein.com.pe/interruptor-termom-de-2-x-20-a-10ka-220v-riel-fn820yc20-bticino.html>).

Anexo 48: Ficha técnica del interruptor diferencial para protección inversor (AC)

Ficha técnica del producto

Especificaciones



Interruptor diferencial Easy9 2P 25A tipo AC 30mA

EZ9R36225

Principal

Gama de producto	Easy9
Tipo de producto o componente	Disyuntor de corriente residual (RCCB)
Nombre corto del dispositivo	Easy9 RCCB
Poles	2P
Posición de neutro	Izquierda
Corriente nominal (In)	25 A
Tipo de red	CA
Sensibilidad ante fugas a tierra	30 mA
Retardo de la protección contra fugas a tierra	Instantáneo
Clase de protección contra fugas a tierra	Tipo AC
Poder de corte y de cierre nominal	500 A
Intensidad de cortocircuito condicional	Easy9 MCB, estado 1 6000 A 25 A

Complementario

Ubicación del dispositivo en el sistema	Salida
Frecuencia de red	50/60 Hz
[Ue] tensión asignada de empleo	230 V CA 50/60 Hz
Tecnología de disparo corriente residual	Independiente de la tensión
[Ui] tensión asignada de aislamiento	440 V CA
[Uimp] Tensión asignada de resistencia a los choques	4 kV
Corriente de sobretensión	250 A
Indicador de posición del contacto	Sí
Tipo de control	Maneta
Tipo de montaje	Ajustable en clip

Descargo de responsabilidad: Esta documentación no ha sido diseñada como reemplazo, ni se debe utilizar para determinar la idoneidad o la confiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuarios.

Nota. Tomado de Interruptor diferencial EASY9 de 2x25 A, 30mA, EZ9R36225, SCHNEIDER-ELECTRIC, por Sein Electricidad, 2023, Sein Electricidad. (<https://sein.com.pe/interruptor-diferencial-easy9-de-2x25-amp-30ma-ez9r36225-schneider-electric.html>).

Anexo 49: Ficha técnica del medidor bidireccional

Datasheet	SPM-E	TPM-E
General Data		
Dimension (W/D/H)	36/99/63mm	72/94.5/65 mm
Weight	223g	398g
Mounting type	DIN rail 35mm	
Operating temperature range	-25°C to +55°C	
Storage temperature range	-40°C to +70°C	
Operating humidity	0 to 90%, non-condensing	
Environment protection rating	IP51	
Electrical Data		
Power grid type	1P2W	3P4W
Input voltage	184–276VAC (L-N)	320–520VAC (L-L)
Frequency	50/60Hz (45–56)Hz	
Normal current/Max. current	10A/100A	
Measurement Range		
Voltage Accuracy	0.5%	
Current Accuracy	0.5%	
Power Accuracy	1%	
Frequency Accuracy	0.2%	
Communication		
Interface	RS485	
Baud rate	9600	
Communication protocol	Modbus RTU	
Accessories	RS485 Cable (15m)	
Certification	CE	

Nota. Tomado de Vatímetro Monofásico Growatt SPM, por AutoSolar, 2023, AutoSolar. (<https://autosolar.pe/vatimetro/vatimetro-monofasico-growatt-spm>).

Anexo 50: Ficha técnica del portafusible

BR-30 PV DC Fuse Holder

ZBENY



- 1 Brand
- 2 Type
- 3 Rated Current
- 4 Rated Voltage
- 5 Fuse Size
- 6 Electrical Diagram
- 7 Status Indicator

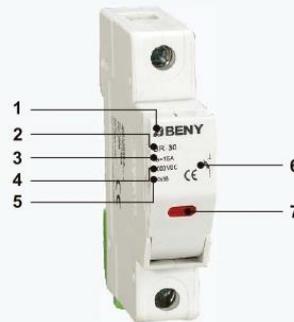
- Photovoltaic Applications
- Max Breaking Capacity up to 20KA, Effective Protection
- The Innovation Replacing Fuse Link Touch-safe
- Led Indicator, Reminding Fuse Link Replacement
- Be Suit for 10x38mm Fuse Size
- Comply with :IEC6094-3



Application

ZBENY PV DC BR-30 Fuse Holder was designed and manufactured, complying with the standard IEC60947-3. The Rated Current up to 30A, rated voltage up to 1000V DC. It applied for PV DC combiner box, inverter etc, with the main function of over-current protection and effective disconnection.

Appearance Introduction



Type Instruction



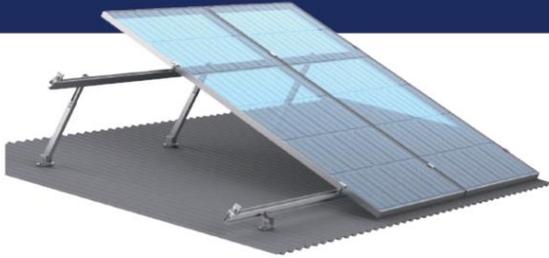
Parameter

PV DC BR-30 Fuse Holder		
Pole		1P
According to		IEC 60947-3
Electrical Characteristics		
Rated Working Voltage	Ue	1000V DC
Rated Current	In	1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 8A, 10A, 12A, 15A, 20A, 25A, 30A
Breaking Capacity		20KA
Max Power Dissipation		3W
Control and Indication		
Operating State/Fault Indication		Indicator Light OFF/Indicator Light ON
Connection and Installation		
Wire		2.5mm ² ~25mm ²
Terminal Screws		M5
Torque	Nm	2.5
Degree of Protection		IP20
Installation Environment		
Fuse Size		10x38 mm
Operating Temperature Range	TU	-40°C ~ +85°C
For Mounting On		TH35-7.5/DIN35
Pollution Degree		3
Relative Humidity		+20°C≤95%, +40°C≤50%
Weight		0.07kg Per pole
Installation Class		III

Nota. Tomado de Portafusible 10x38 15A 1000Vdc 1P ZJ Beny, por AutoSolar, 2023, AutoSolar. (<https://autosolar.pe/portafusibles/portafusible-10x38-15a-1000vdc-1p-zj-beny>).

Anexo 51: Ficha técnica de la estructura soporte para los paneles fotovoltaicos

Ficha técnica:
AD Solution



Especificaciones

Materiales: aluminio anodizado 6005 T5
Acero inoxidable 304

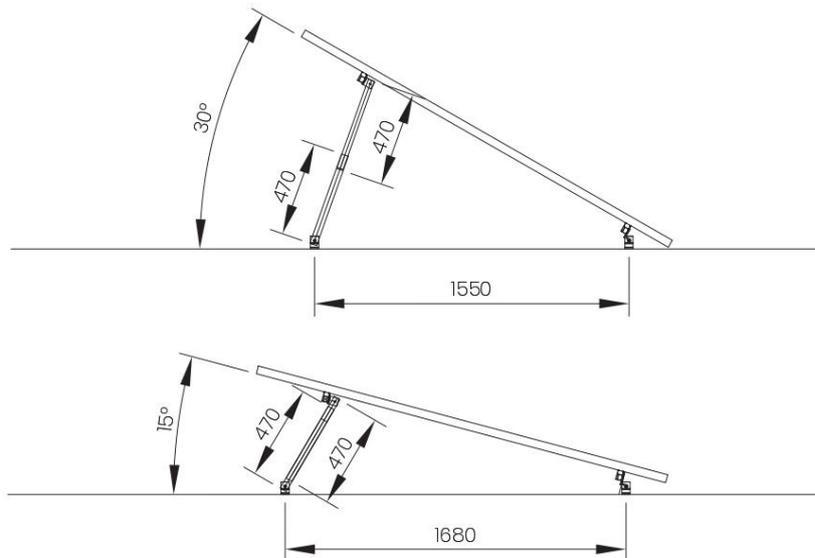
Velocidad del viento: hasta 45 m/s

Carga de nieve: hasta 50 cm

Accesorios

144 células Cantidad/ paneles	 Patas delanteras	 Patas traseras ajustables	 Rail	 Abrazadera intermedia	 Abrazadera final	
2 paneles	2	2	2	2	4	
3 paneles	3	3	2	4	4	
72 células Cantidad/ paneles	 Patas delanteras	 Patas traseras ajustables	 Rail	 Kit de empalme de riel	 Abrazadera intermedia	 Abrazadera final
2 paneles	2	2	4	2	2	4
3 paneles	3	3	6	4	4	4

Desglose y medidas



Nota. Tomado de Estructura Inclinada 15° 4 Paneles Falcat, por AutoSolar, 2023, AutoSolar. (<https://autosolar.pe/soportes-suelo/estructura-inclinada-15o-4-paneles-falcat>).

Anexo 52: Autorización para aplicar tesis en la EESPPCH



**ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR
PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE**
Cultivando excelencia, transformamos el futuro



FORMULARIO ÚNICO DE TRÁMITE

SUMILLA: SOLICITO AUTORIZACIÓN PARA
APLICAR TESIS PARA OBTENER TÍTULO PROFESIONAL

SRA. DIRECTORA DE LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE.
S.D.

APellidos y nombres del solicitante:

ACERO RONCAL KEVIN

D.N.I. N° 72761797 ESPECIALIDAD Y CICLO: INGENIERIA EN ENERGIA

PROMOCIÓN: _____ / _____
(Inicio / Término)

DOMICILIO DEL USUARIO:

URBANIZACIÓN LOS HEROES - HZ 22-14 NVD CHIMBOTE

TELÉFONO: 977847892 CELULAR: _____

FUNDAMENTACIÓN DEL PEDIDO:

SOLICITO AUTORIZACIÓN PARA APLICAR TESIS TITULADA "ESTUDIO DEL POTENCIAL DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ALIMENTADO POR ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE", DONDE UTILIZARE LAS INSTALACIONES DE LA JEFATURA DE UNIDAD ADMINISTRATIVA, PARA LA OBTENCIÓN TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGIA

ANEXOS:

- ESQUEMA DE PROYECTO



Mg. Alain Pierre Pérez Roncal
JEFE DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA
E.E.S.P.P. CHIMBOTE

FIRMA:

Nuevo Chimbote, 14 de JUNIO del 2022

(043)-314528

Zona de equipamiento
Metropolitano M-C Lt-1
Nuevo Chimbote

pedagogicochimbote@
hotmail.com

www.pedagogico
chimbote.edu.pe



Anexo 53: Evidencias fotográficas del estudio preliminar de campo (Visita de campo)



Trabajadores de la Unidad de Jefatura Administrativa parte A



Trabajadores de la Unidad de Jefatura Administrativa parte B



Realizando mediciones dentro del ambiente físico en estudio



Realizando mediciones de las puertas y ventanas del ambiente físico en estudio

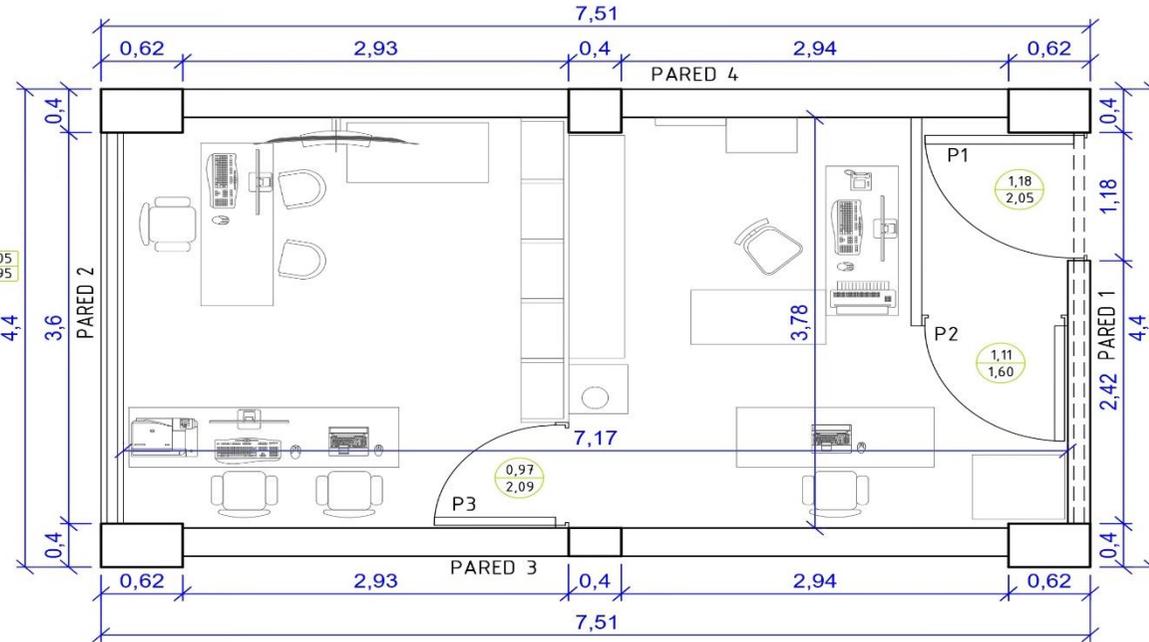
Anexo 54: Plano de planta de la Jefatura de Unidad Administrativa de la EESPPCH

PLANO DE PLANTA DE LA JEFATURA DE UNIDAD ADMINISTRATIVA

ESCALA 1/50

1.1. Nombre de la Institución:	Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote
1.2. Dirección de la Institución:	Zona de Equipamiento Metropolitana Mz C Lt 1, Nuevo Chimbote
1.3. Nombre del ambiente de estudio:	Jefatura de Unidad Administrativa
1.4. Ubicación dentro de la Institución:	Pabellón "A" de la institución

CUADRO DE VENTANAS				
N°	ANCHO	ALTO	ALFEIZAR	DESCRIPCIÓN
V1	3,60 m	0,76 m	2,05 m	VENTANA ALTA
V2	3,60 m	1,95 m	1,05 m	VENTANA BAJA



CUADRO DE PUERTAS			
N°	ANCHO	ALTO	DESCRIPCIÓN
P1	1,18 m	2,05 m	PUERTA DE MADERA
P2	1,11 m	1,60 m	PUERTA DE MADERA
P3	0,97 m	2,09 m	PUERTA DE MADERA



TÍTULO DEL PLANO:
LEVANTAMIENTO DEL PLANO DE PLANTA DE LA JEFATURA DE UNIDAD ADMINISTRATIVA DE LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE

TESIS:
ESTUDIO DEL POTENCIAL DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE

TESISTA Y DIBUJADO:
BACHILLER KEVIN ACERO RONCAL

ASESOR Y REVISIÓN:
Dr. DENIS JAVIER ARANGURI CAYETANO

ESCALA:
INDICADA

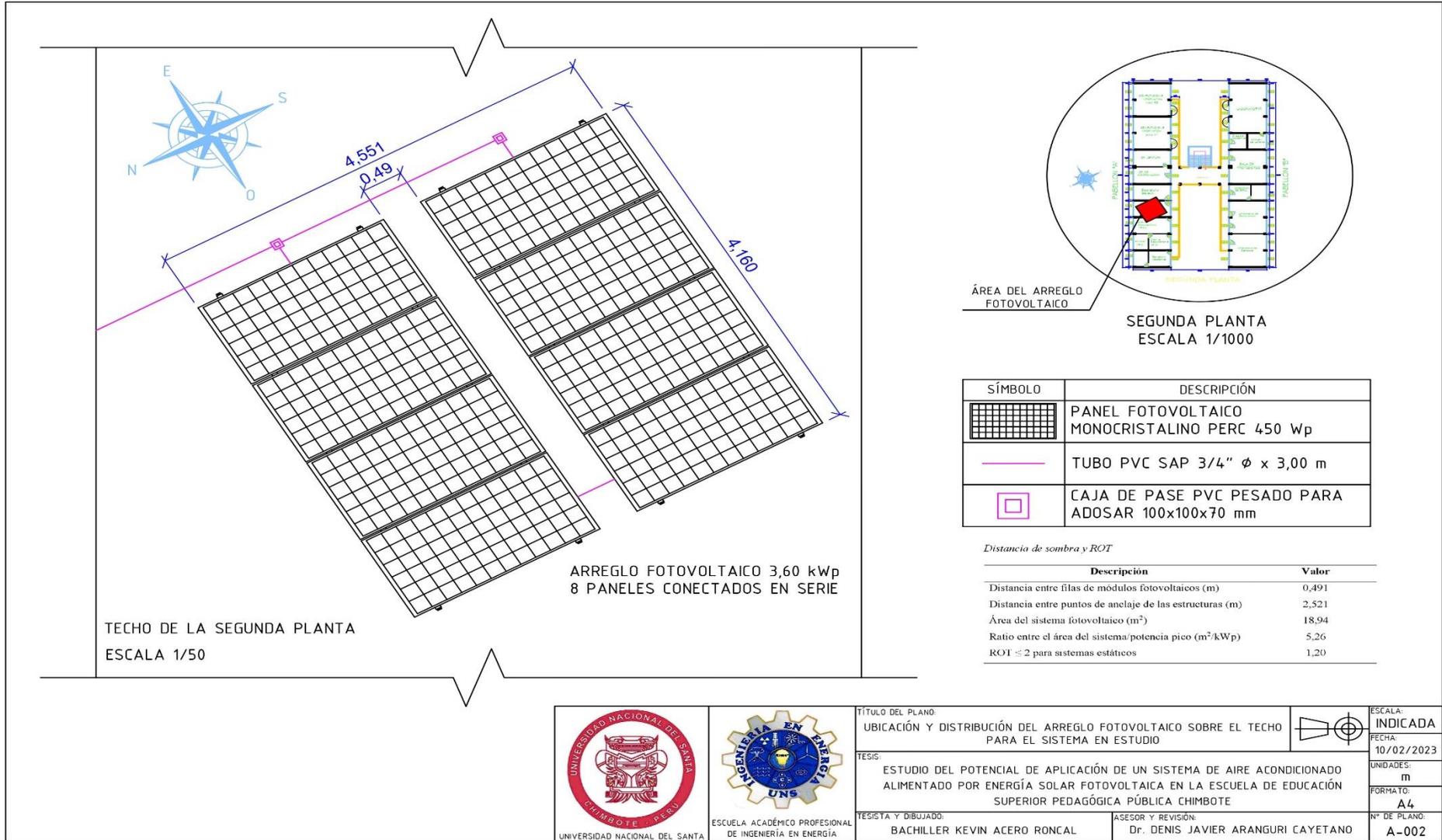
FECHA:
10/02/2023

UNIDADES:
m

FORMATO:
A4

N° DE PLANO:
A-001

Anexo 55: Plano de ubicación y distribución del arreglo fotovoltaico



TÍTULO DEL PLANO:
UBICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO SOBRE EL TECHO PARA EL SISTEMA EN ESTUDIO

TESIS:
ESTUDIO DEL POTENCIAL DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE

TESISTA Y DIBUJADO:
BACHILLER KEVIN ACERO RONCAL

ASESOR Y REVISIÓN:
Dr. DENIS JAVIER ARANGURI CAYETANO

ESCALA:
INDICADA

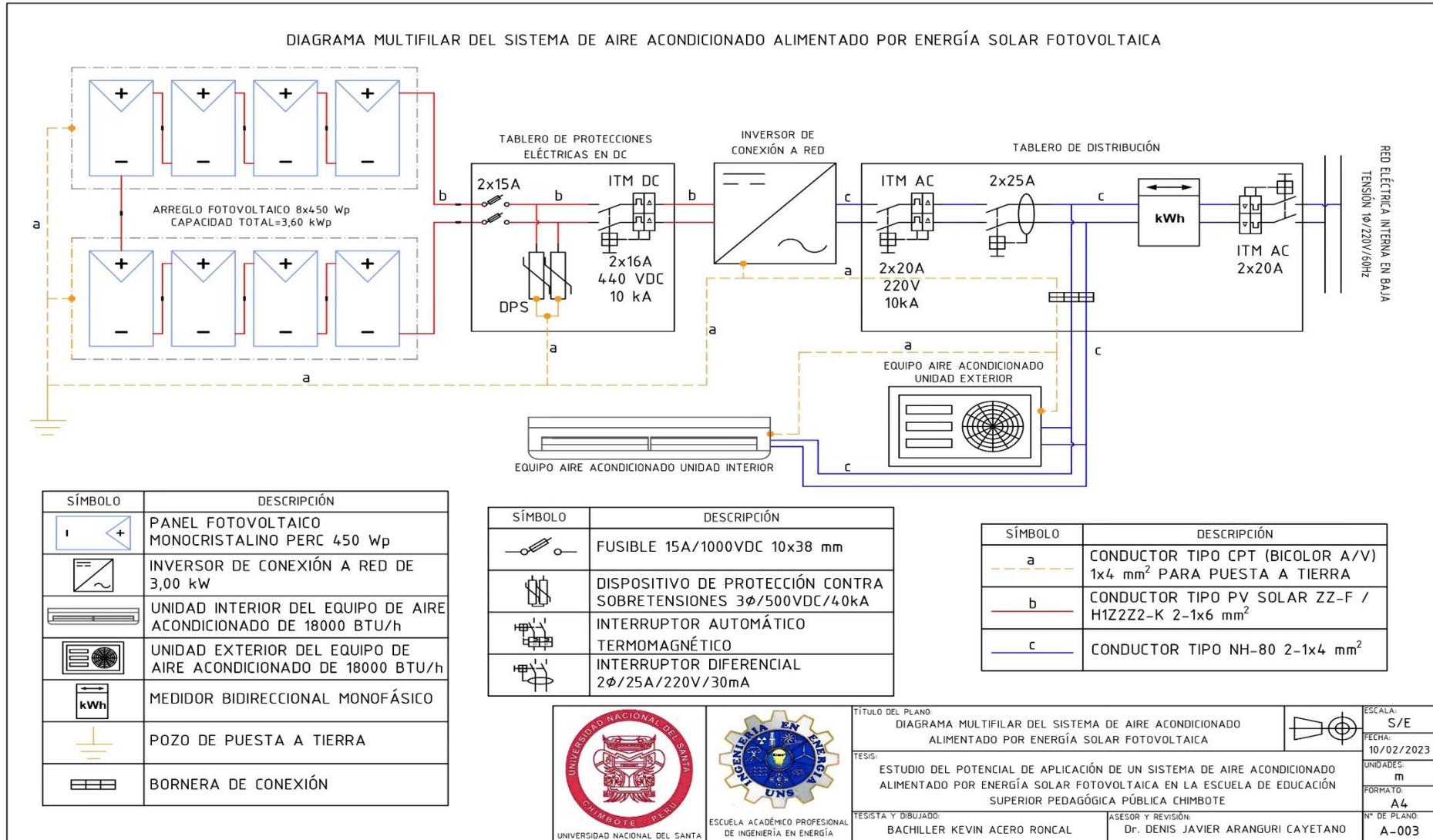
FECHA:
10/02/2023

UNIDADES:
m

FORMATO:
A4

Nº DE PLANO:
A-002

Anexo 56: Diagrama multifilar del sistema en estudio





Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería en Energía

Informe del Asesor Informe Final de Tesis para obtener el título profesional

- 1) Apellidos/Nombres: ACERO RONCAL KEVIN
- 2) Título de la tesis: Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote.
- 3) Evaluación del Contenido: El presente Informe Final de Tesis ha sido revisado y desarrollado en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa (Resolución N° 580-2022-CU-R-UNS), concluyéndose que el tesista ha elaborado el presente informe dentro de las líneas de investigación que promueve la E.P.I.E.
- 4) Observaciones: Ninguna
- 5) Certificación de Aprobación: En calidad de asesor certifico la aprobación de la tesis para título.

Fecha: Nuevo Chimbote, mayo del 2023

Dr. Denis Javier Aranguri Cayetano
Asesor



DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA

Yo, **KEVIN ACERO RONCAL**, Bachiller de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional:	Ingeniería en Energía					
Departamento Académico:	Energía, Física y Mecánica					
Escuela de Postgrado:	Maestría			Doctorado		
Programa:						
De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación es un trabajo inédito , intitulado:						
“ESTUDIO DEL POTENCIAL DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE”						
Presentado en 267 folios, para la obtención del Grado académico:						()
Título profesional:	(X)	Investigación anual:			()	
<ul style="list-style-type: none">– He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.– Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.– Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.– De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.						
Nuevo Chimbote, mayo del 2023						
Firma:						
Nombres y Apellidos: KEVIN ACERO RONCAL						
DNI: 72761797						



ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, **DENIS JAVIER ARANGURÍ CAYETANO**, asesor del trabajo de investigación de la

Facultad:	Ciencias		Educación		Ingeniería	X
Escuela Profesional:	Ingeniería en Energía					
Departamento Académico:	Energía, Física y Mecánica					
Escuela de Postgrado:	Maestría			Doctorado		

Programa:

De la Universidad Nacional del Santa. Asesor / Unidad de Investigación revisora del trabajo de investigación intitulado:

“ESTUDIO DEL POTENCIAL DE APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO ALIMENTADO POR ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA ESCUELA DE EDUCACIÓN SUPERIOR PEDAGÓGICA PÚBLICA CHIMBOTE”

Del estudiante / docente: **KEVIN ACERO RONCAL**

De la Escuela / Departamento Académico: **Ingeniería en Energía**

Constato que la investigación presentada por el bachiller es un trabajo propio, el cual se trabajó en conjunto con mi persona asesorando en las observaciones que se obtuvieron durante su proceso. Quién suscribe la presente, declaro el haber analizado dicha tesis y concluyo que lo presentado a la Escuela de Ingeniería en Energía no se conforma como plagio. A mi claro saber y entender, la investigación cumple con las normas de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, mayo del 2023

Firma:

Nombres y Apellidos: **DENIS JAVIER ARANGURÍ CAYETANO**

DNI: **42009679**

Estudio del potencial de aplicación de un sistema de aire acondicionado alimentado por energía solar fotovoltaica en la Escuela de Educación Superior Pedagógica Pública Chimbote

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	search.scielo.org Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

9	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
10	dspace.umh.es Fuente de Internet	<1 %
11	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	espace.etsmtl.ca Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
16	oscarperpinan.github.io Fuente de Internet	<1 %
17	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
19	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
20	vsip.info	

Fuente de Internet

<1 %

21

repositorio.utp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

22

Calixto Rodríguez Manuela. "Aspectos energéticos y económicos en sistemas de bombeo fotovoltaico", TESIUNAM, 2002

Publicación

<1 %

23

autosolar.pe

Fuente de Internet

<1 %

24

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

25

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

26

Submitted to Universidad Señor de Sipan

Trabajo del estudiante

<1 %

27

diposit.ub.edu

Fuente de Internet

<1 %

28

riunet.upv.es

Fuente de Internet

<1 %

29

doku.pub

Fuente de Internet

<1 %

30

slideplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

31

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

32

Domínguez Inzunza Luis Alberto. "Desarrollo y evaluación de un sistema de enfriamiento solar tipo horizontal operando con la mezcla nitrato de litio-amoniaco", TESIUNAM, 2017

Publicación

<1 %

33

Flores Espinoza Alicia Yaneth, Bernal Ramirez Israel. "Diseño y ensamble de un sistema fotovoltaico para suministrar energia electrica a una PC", TESIUNAM, 2006

Publicación

<1 %

34

Ángel Ruiz Edson Osvaldo. "Análisis del rendimiento energético de una central fotovoltaica de 27 kw conectada a la red", TESIUNAM, 2017

Publicación

<1 %

35

exporenovables.com.ar

Fuente de Internet

<1 %

36

Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

37

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

38

1library.co

Fuente de Internet

<1 %

39

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1 %

40

APS Ingenieros S.A.C. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del DAP de su Planta Industrial-IGA0005358", R.D. N°683-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020

Publicación

<1 %

41

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

<1 %

42

cdn.www.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

43

Sánchez Bonilla Juan Manuel. "Propuesta de una instalación solar fotovoltaica para una casa habitación", TESIUNAM, 2019

Publicación

<1 %

44

repositorio.unac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

45

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

46

Submitted to Escuela Politecnica Nacional

Trabajo del estudiante

<1 %

47

dokumen.pub

Fuente de Internet

<1 %

48

anes.org.mx

Fuente de Internet

<1 %

49

repository.uniminuto.edu

Fuente de Internet

<1 %

50

Submitted to Universidad Internacional de la Rioja

Trabajo del estudiante

<1 %

51

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

52

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

53

bibdigital.epn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

54

repositorio.usanpedro.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

55

repositorio.uss.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

56

Submitted to Coventry University

Trabajo del estudiante

<1 %

57

Reynoso Sanchez Mario Daniel. "Estrategia de diseño bioclimatico para la restauracion y desarrollo de la Exhacienda de Chinanpas en el estado de Jalisco", TESIUNAM, 1994

Publicación

<1 %

58	Torres Rodríguez Agustín. "Metodología para la sustentabilidad energética en la climatización de edificios con sistemas pasivos, activos e híbridos", TESIUNAM, 2017 Publicación	<1 %
59	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
60	risisbi.uqroo.mx Fuente de Internet	<1 %
61	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
62	www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
63	dspace.unia.es Fuente de Internet	<1 %
64	repositorioinstitucional.uabc.mx Fuente de Internet	<1 %
65	www.tandfonline.com Fuente de Internet	<1 %
66	www.theseus.fi Fuente de Internet	<1 %
67	Velazquez Aguilar Alfredo, López Adame José Oscar. "Fundamentos teoricos y bases de diseño para equipos de acondicionamiento de aire", TESIUNAM, 1979	<1 %

68

Submitted to unajma

Trabajo del estudiante

<1 %

69

webpages.ull.es

Fuente de Internet

<1 %

70

Andrade Perez Eduardo,Rojas Silva Miguel Angel. "Características de un sistema fotovoltaico interconectado a la red electrica", TESIUNAM, 2003

Publicación

<1 %

71

UMBRELLA ECOCONSULTING S.A.C.. "ITS Modificación de Componentes Auxiliares de la Central Hidroeléctrica de Yarucaya-IGA0007220", R.D. N° 008-2017-GRL-GRDE-DREM, 2021

Publicación

<1 %

72

repositorio.comillas.edu

Fuente de Internet

<1 %

73

software.utn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

74

sinia.minam.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

75

Caceres Lucero Hiram Francisco. "Estudio comparativo de un sistema de concreto celular y aislantes termicos en edificaciones", TESIUNAM, 2003

Publicación

<1 %

76 Submitted to Universidad Rey Juan Carlos <1 %
Trabajo del estudiante

77 ejournal.undip.ac.id <1 %
Fuente de Internet

78 Osornio Morales Mabel Anahí, Reyes Iturbide
Alfredo Ricardo. "Diseño y dimensionamiento
de un sistema fotovoltaico interconectado a la
red para la unidad acuícola experimental de la
FES Zaragoza", TESIUNAM, 2015 <1 %
Publicación

79 Submitted to Tecsup <1 %
Trabajo del estudiante

80 Submitted to Universidad Politécnica Estatal
de Carchi <1 %
Trabajo del estudiante

81 repositorio.untels.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

82 Rivaud Gallardo Manuel, Marín Flores Ávila
Alain Daniel, Eslava Gervacio César, Castillo
Hernandez Ángel Uriel. "Análisis de
propuestas de eficiencia energética y energías
alternas en un grupo farmacéutico",
TESIUNAM, 2014 <1 %
Publicación

83 Submitted to UNIV DE LAS AMERICAS <1 %
Trabajo del estudiante

84	buscador.una.edu.ni Fuente de Internet	<1 %
85	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
86	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
87	www.mapa.gob.es Fuente de Internet	<1 %
88	Submitted to Universidad de León Trabajo del estudiante	<1 %
89	Vazquez Flores Mónica. "Diseño comparativo entre un sistema fotovoltaico autónomo, un eólico autónomo y un sistema híbrido para consumo eléctrico de una granja acuícola de la UNAM", TESIUNAM, 2014 Publicación	<1 %
90	dehesa.unex.es:8080 Fuente de Internet	<1 %
91	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
92	iiste.org Fuente de Internet	<1 %
93	www.lg.com Fuente de Internet	<1 %

Submitted to Heriot-Watt University

94

Trabajo del estudiante

<1 %

95

Rosales Martínez Alejandro. "Propuesta de optimización de la arquitectura de corpus electrónicos del grupo de ingeniería lingüística", TESIUNAM, 2014

Publicación

<1 %

96

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

<1 %

97

bdigital.uncu.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

98

dspace.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

99

scholars.ttu.edu

Fuente de Internet

<1 %

100

Jian Du, Jianqin Zheng, Yongtu Liang, Qi Liao, Bohong Wang, Xu Sun, Haoran Zhang, Maher Azaza, Jinyue Yan. "A theory-guided deep-learning method for predicting power generation of multi-region photovoltaic plants", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2023

Publicación

<1 %

101

Sánchez Gudiño Rubén. "Opciones tecnológicas para el aprovechamiento del

<1 %

sargazo en el caribe mexicano", TESIUNAM, 2022

Publicación

102	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
103	hu.wikipedia.org Fuente de Internet	<1 %
104	investigacion.unirioja.es Fuente de Internet	<1 %
105	repository.upi.edu Fuente de Internet	<1 %
106	revistas.ulima.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
107	"Estudios regionales: análisis y propuestas de desarrollo económico y social", Universidad del Pacifico, 2021 Publicación	<1 %
108	Gaytan García Mauricio, Laurenes Díaz Frank Alberto. "Diagnóstico energético en el inmueble de la coordinación de construcción, conservación y equipamiento del IMSS", TESIUNAM, 2004 Publicación	<1 %
109	Ortega Cruz José Luis. "Optimización energética de un sistema de climatización para un centro de datos", TESIUNAM, 2015 Publicación	<1 %

110	empoderamiento.info Fuente de Internet	<1 %
111	nergiza.com Fuente de Internet	<1 %
112	nlist.inflibnet.ac.in Fuente de Internet	<1 %
113	www.prevencionintegral.com Fuente de Internet	<1 %
114	www.revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
115	Submitted to Aalto Yliopisto Trabajo del estudiante	<1 %
116	Submitted to Queensland University of Technology Trabajo del estudiante	<1 %
117	documents.mx Fuente de Internet	<1 %
118	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
119	www.springerprofessional.de Fuente de Internet	<1 %
120	Flores Gil Hector. "Metodología de cálculo de balance térmico de edificios de uso no residencial.", TESIUNAM, 2011 Publicación	<1 %

121	Submitted to Mount Kenya University Trabajo del estudiante	<1 %
122	Submitted to Universidad de Piura Trabajo del estudiante	<1 %
123	Submitted to University of Greenwich Trabajo del estudiante	<1 %
124	de.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
125	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
126	vbn.aau.dk Fuente de Internet	<1 %
127	"Diseño de una planta de poligeneración solar con colectores lineales fresnel para generación de electricidad, frío y calor para procesos industriales y agua desalinizada", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016 Publicación	<1 %
128	Mejia Domínguez David. "Diseño y evaluación del control solar en la arquitectura : caso de estudio La Paz, B.C.S.", TESIUNAM, 2002 Publicación	<1 %
129	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %

130	Submitted to consultoriadeserviciosformativos Trabajo del estudiante	<1 %
131	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
132	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
133	ikee.lib.auth.gr Fuente de Internet	<1 %
134	premiumlevella.com Fuente de Internet	<1 %
135	repositorio.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
136	repository.tudelft.nl Fuente de Internet	<1 %
137	www.semanticscholar.org Fuente de Internet	<1 %
138	Israel Octavio Martinez Galvan. "Estudio experimental de optimización de una bomba de calor agua-agua empleando propano como fluido de trabajo", Universitat Politecnica de Valencia, 2008 Publicación	<1 %
139	bibliotecadigital.ciren.cl Fuente de Internet	<1 %

140	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
141	home.worldonline.es Fuente de Internet	<1 %
142	khg.kname.edu.ua Fuente de Internet	<1 %
143	link.springer.com Fuente de Internet	<1 %
144	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
145	www.panelsolarperu.com Fuente de Internet	<1 %
146	Olechnowicz Fridman Elias. "Análisis por computadora de sistemas solares para calentamiento de fluidos", TESIUNAM, 1995 Publicación	<1 %
147	Ortiz Guerrero Jazmín. "Estudio técnico-económico en la incorporación de fuentes de generación distribuida a la red eléctrica", TESIUNAM, 2010 Publicación	<1 %
148	acikerisim.bingol.edu.tr:8080 Fuente de Internet	<1 %
149	docslide.us Fuente de Internet	<1 %

150	ijariie.com Fuente de Internet	<1 %
151	maple-energy.com Fuente de Internet	<1 %
152	ouci.dntb.gov.ua Fuente de Internet	<1 %
153	www.green-cooling-initiative.org Fuente de Internet	<1 %
154	www.nrel.gov Fuente de Internet	<1 %
155	www.press-report.co.ve Fuente de Internet	<1 %
156	www.rti.org Fuente de Internet	<1 %
157	García Zafra Edwuin Alfonso. "Análisis de factibilidad de la instalación de bombas de calor geotérmicas en México", TESIUNAM, 2018 Publicación	<1 %
158	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1 %
159	Submitted to University of Northumbria at Newcastle Trabajo del estudiante	<1 %

160	V. Kapoor, D. Dsilva Winfred Rufuss, S. Arulvel, Takeshi Akinaga, P.A. Davies. "Nanoparticles-enhanced energy storage materials in solar thermal desalination", Elsevier BV, 2023 Publicación	<1 %
161	docobook.com Fuente de Internet	<1 %
162	e-archivo.uc3m.es Fuente de Internet	<1 %
163	es.unionpedia.org Fuente de Internet	<1 %
164	noesis.uis.edu.co Fuente de Internet	<1 %
165	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
166	rsilvera-utp-fim-refrigeracion.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
167	www.asambleamadrid.es Fuente de Internet	<1 %
168	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	<1 %
169	Alvarado Abundis Pablo Jaffet. "Proyecto de comercialización de celdas solares fotovoltaicas y generadores eólicos : 2012-2021", TESIUNAM, 2011	<1 %

170 Submitted to City University of Hong Kong <1 %
Trabajo del estudiante

171 M. Mortadi, A. El Fadar. "Performance, <1 %
economic and environmental assessment of
solar cooling systems under various climates",
Energy Conversion and Management, 2022
Publicación

172 Martínez Ávila Saúl. "Aprovechamiento <1 %
energético de los residuos de biomasa del
proceso de elaboración de mezcal mediante
el uso de la cogeneración", TESIUNAM, 2022
Publicación

173 Pérez Linares Luis David. "Sistema de aire <1 %
acondicionado para una subestación eléctrica
de ayudas visuales", TESIUNAM, 2012
Publicación

174 Submitted to Universidad Politécnica de <1 %
Madrid
Trabajo del estudiante

175 akademiabaru.com <1 %
Fuente de Internet

176 bde.es <1 %
Fuente de Internet

177 documentop.com <1 %
Fuente de Internet

178	dspace.udla.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
179	informatica.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
180	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
181	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
182	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	<1 %
183	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
184	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	<1 %
185	www.avdel.textron.com Fuente de Internet	<1 %
186	www.conama11.vsf.es Fuente de Internet	<1 %
187	www.pinterest.com.mx Fuente de Internet	<1 %
188	zaguan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
189	B. E. Tarazona-Romero, A. Campos-Celador, O. Lengerke-Perez, N. Y. Castillo-Leon, A. D.	<1 %

Rincon-Quintero. "Chapter 30 Appropriate Technology for Solar Thermal Desalination by Concentration Applied the Humidification-Dehumidification Method", Springer Science and Business Media LLC, 2023

Publicación

190 Bautista Pérez Fernando Jaime, Benítez López Yadira. "Análisis de factibilidad de usar celdas fotovoltaicas en un inmueble", TESIUNAM, 2017

Publicación

191 Bärwald Jan. "Potencial de los sistemas fotovoltaicos flotantes en los depósitos de jales de las unidades mineras en el estado de Zacatecas", TESIUNAM, 2020

Publicación

192 Domínguez Yañez Ezequiel. "Aplicación de sistemas fotovoltaicos como esquemas de generación distribuida", TESIUNAM, 2013

Publicación

193 Flores Flores Laura Xochitl, Velázquez Mandujano Mayra Montserrat, Téllez Santos Julio César. "Factibilidad en la implementación de ecotecnias en Santa Rosa Xochiac : caso 2", TESIUNAM, 2014

Publicación

194 Submitted to Fundación Universitaria del Area Andina

195 Submitted to The Robert Gordon University <1 %
Trabajo del estudiante

196 Trujillo Berumen Orlando Abner, Becerril
Olguín Luis Germán. "Análisis del sistema de
aire acondicionado de precisión de agua
helada para equipos de cómputo y
telecomunicaciones en centros de datos
(sites)", TESIUNAM, 2013 <1 %
Publicación

197 Vargas Pineda Leonardo Román. "Como
seleccionar un equipo de aire acondicionado
para casas de interés social", TESIUNAM, 2011 <1 %
Publicación

198 Zaranda Pacheco Sergio Ulises. "Análisis de la
carga térmica al Edificio Administrativo del
CIMA", TESIUNAM, 2011 <1 %
Publicación

199 dspace.univ-eloued.dz <1 %
Fuente de Internet

200 repositorio.uide.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

201 repositorio.unae.edu.ec <1 %
Fuente de Internet

202 repository.unab.edu.co <1 %
Fuente de Internet

203	Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
204	Submitted to Universidad de Jaén Trabajo del estudiante	<1 %
205	Submitted to University of Wollongong Trabajo del estudiante	<1 %
206	Vitor Hugo A. Aguiar, J. Dionisio S. Barros. "Optimization of PV and Wind Micro Production for Smart Grid", IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2019 Publicación	<1 %
207	penerbit.brin.go.id Fuente de Internet	<1 %
208	www.energieleveren.nl Fuente de Internet	<1 %
209	Submitted to 84752 Trabajo del estudiante	<1 %
210	Aguilar López Daniel. "Modelado semi-transitorio del sistema de calentamiento de agua para la alberca olímpica universitaria", TESIUNAM, 2021 Publicación	<1 %
211	Matthew T. Boyd. "Comparative Performance and Model Agreement of Three Common	<1 %

Photovoltaic Array Configurations", Journal of Solar Energy Engineering, 2017

Publicación

-
- | | | |
|-----|---|------|
| 212 | Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas
Trabajo del estudiante | <1 % |
| 213 | repository.mines.edu
Fuente de Internet | <1 % |
| 214 | repository.upnvj.ac.id
Fuente de Internet | <1 % |
| 215 | umpir.ump.edu.my
Fuente de Internet | <1 % |
| 216 | www.osinergmin.gob.pe
Fuente de Internet | <1 % |
| 217 | Ángel Valentín Mercedes García.
"Metodología de análisis para la mejora de los indicadores de sostenibilidad en las redes de distribución presurizadas mediante el uso de sistemas híbridos", Universitat Politecnica de Valencia, 2023
Publicación | <1 % |
| 218 | Huseyin Gunhan Ozcan, Szabolcs Varga, Huseyin Gunerhan, Arif Hepbasli. "Numerical simulation and parametric study of various operational factors affecting a PV-battery-air conditioner system under prevailing European | <1 % |

weather conditions", Sustainable Cities and Society, 2021

Publicación

-
- | | | |
|-----|---|------|
| 219 | Macías Martínez Diana Azucena.
"Administración de la calidad del agua en la Isla Clarión", TESIUNAM, 2016
Publicación | <1 % |
| 220 | Rongdan Diao, Linzhu Sun, Fang Yang, Bo Lin.
"Performance of building energy supply systems using renewable energy",
International Journal of Energy Research, 2020
Publicación | <1 % |
| 221 | Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola
Trabajo del estudiante | <1 % |
| 222 | WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "PMA del Proyecto Conversión a Ciclo Combinado de la Central Termoeléctrica Chilca 1-IGA0001399", R.D. N° 123-2010-MEM/AAE, 2021
Publicación | <1 % |
| 223 | editorial.inudi.edu.pe
Fuente de Internet | <1 % |
| 224 | scholars.cityu.edu.hk
Fuente de Internet | <1 % |
| 225 | tesis.usat.edu.pe
Fuente de Internet | <1 % |
-

226	7diesactualitat.com Fuente de Internet	<1 %
227	González Espinosa Eduardo Sebastián. "Análisis de ciclo de vida para una bomba de calor en México", TESIUNAM, 2019 Publicación	<1 %
228	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1 %
229	Submitted to University of Westminster Trabajo del estudiante	<1 %
230	electrica.mx Fuente de Internet	<1 %
231	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
232	repositorioslatinoamericanos.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
233	www.generac.com.ar Fuente de Internet	<1 %
234	www.ocpla.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
235	www.tecsup.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
236	www.twirpx.com Fuente de Internet	<1 %

- 237 "Aumento de eficiencia de centrales termoeléctricas y nucleares usando energía oceano térmica", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2012
Publicación <1 %
-
- 238 "Explosion and Buildings — A Review of Affected Buildings and General Criteria, Data, and Management", Explosion-Resistant Buildings, 2006
Publicación <1 %
-
- 239 Chujie Lu, Junhua Gu, Weizhuo Lu. "An improved attention-based deep learning approach for robust cooling load prediction: public building cases under diverse occupancy schedules", Sustainable Cities and Society, 2023
Publicación <1 %
-
- 240 Dayana Naiyerling Galvís-Villamizar, Oscar Manuel Duque-Suárez, July Andrea Gómez-Camperos. "Photovoltaic solar energy in Colombia", International Journal of System Assurance Engineering and Management, 2022
Publicación <1 %
-
- 241 Domínguez Evaristo Gilberto Salvador. "Recuperación de aceites pesados por inyección cíclica de vapor", TESIUNAM, 2009
Publicación <1 %
-

242	Jiménez García José Camilo. "Evaluación experimental de un sistema vertical de aire acondicionado por absorción operando con la mezcla nitrato de litio-amoniaco", TESIUNAM, 2014 Publicación	<1 %
243	Rosete Sánchez Eros Vladimir. "Simulación y dimensionamiento de un sistema de enfriamiento radiativo para un espacio en un clima cálido sub-húmedo", TESIUNAM, 2021 Publicación	<1 %
244	Saucedo Velázquez Juliana Isabel. "Evaluación del potencial de utilización de sistemas de enfriamiento por absorción de una etapa y avanzados operando en el campo geotérmico de Cerritos Colorados, Jalisco, México", TESIUNAM, 2023 Publicación	<1 %
245	acuresearchbank.acu.edu.au Fuente de Internet	<1 %
246	addi.ehu.es Fuente de Internet	<1 %
247	aswan.pe Fuente de Internet	<1 %
248	corpouraba.gov.co Fuente de Internet	<1 %

cybertesis.uni.edu.pe

249	Fuente de Internet	<1 %
250	eagronet0101- paramodelosconejos.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
251	ftp.eeq.com.ec Fuente de Internet	<1 %
252	ideas.repec.org Fuente de Internet	<1 %
253	julib.fz-juelich.de Fuente de Internet	<1 %
254	rabida.uhu.es Fuente de Internet	<1 %
255	repositorio.gestiondelriesgo.gov.co Fuente de Internet	<1 %
256	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %
257	visorsig.oefa.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
258	www.mercadoelectriconet.com.ar Fuente de Internet	<1 %
259	www.regionlalibertad.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

260 "Evaluando el grado de idoneidad organizacional de las empresas constructoras chilenas para la aplicación de la dirección de proyectos", Pontificia Universidad Católica de Chile, 2019

Publicación

<1 %

261 Alex Felice, Lucija Rakocevic, Leen Peeters, Maarten Messagie, Thierry Coosemans, Luis Ramirez Camargo. "Renewable energy communities: Do they have a business case in Flanders?", Applied Energy, 2022

Publicación

<1 %

262 Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral

Trabajo del estudiante

<1 %

263 FCA CONSULTORES AMBIENTALES S.A.C.. "Modificación de la DIA del Proyecto Denominado Planta Avocado Packing Company - Empacado de Frutas-IGA0016380", R.D.G. N° 876-2021-MIDAGRI-DVDAFIR-DGAAA, 2022

Publicación

<1 %

264 Juárez Reyes Krutzkaya. "Estudio de la especie anoda cristata (l.) schldl. (malvaceae) como fuente potencial de agentes útiles para el tratamiento de la diabetes mellitus y sus complicaciones", TESIUNAM, 2016

Publicación

<1 %

265 Kai Edwin Whiting, Luis Gabriel Carmona A., Pablo Castellot Pérez. "Aplicación de la energía solar fotovoltaica interconectada a la red eléctrica. Caso de estudio Thierhaupten-Alemania-", Revista Ontare, 2015

Publicación

<1 %

266 Marín García David. "Diseño y creación de interfaces gráficas en LabVIEW, para la caracterización de sensores y el monitoreo experimental del SIBEO", TESIUNAM, 2011

Publicación

<1 %

267 Medina Barrera Elizabeth, Valdez Monroy Erika Gabriela, Sánchez Flores Adrián Said, Olmos Godinez José Antonio. "Propuesta y análisis de un sistema fotovoltaico de un autoabastecimiento eléctrico", TESIUNAM, 2014

Publicación

<1 %

268 Zhen Liu, Daniel J. Preston. "Enhanced Condensation for Improved Energy Efficiency", Joule, 2019

Publicación

<1 %

269 documents1.worldbank.org

Fuente de Internet

<1 %

270 es.galvanizingline.com

Fuente de Internet

<1 %

271 files.coxenergyamerica.com

Fuente de Internet

<1 %

272

indianepalsrilanka.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

273

libros.umariana.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

274

repositorio.uees.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

275

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

276

research.csiro.au

Fuente de Internet

<1 %

277

www.boletinturistico.com

Fuente de Internet

<1 %

278

www.car.gov.co

Fuente de Internet

<1 %

279

www.elcorunio.com.ar

Fuente de Internet

<1 %

280

www.fluke.com

Fuente de Internet

<1 %

281

www.idl.org.pe

Fuente de Internet

<1 %

282

www.mundohvacr.com.mx

Fuente de Internet

<1 %

283	www.pinterest.es Fuente de Internet	<1 %
284	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
285	www.sefin.gob.hn Fuente de Internet	<1 %
286	www.virtualpro.co Fuente de Internet	<1 %
287	Domínguez Inzunza Luis Alberto. "Montaje, puesta en operación y evaluación preliminar de un sistema de aire acondicionado solar tipo horizontal operando con la mezcla nitrato de litio - amoniaco", TESIUNAM, 2013 Publicación	<1 %
288	González Camacho Bertha Alicia. "Contenido y perfil de compuestos bioactivos de los órganos de la planta de los maíces coloridos", TESIUNAM, 2022 Publicación	<1 %
289	León Moreno José Manuel Epifanio, Hellmer Cariño José Allan. "Nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México", TESIUNAM, 2010 Publicación	<1 %
290	Ortega Molina Ana Lilia. "Ahorro de energía eléctrica en viviendas de interés medio uso de	<1 %

sistemas fotovoltaicos en la Ciudad de México", TESIUNAM, 2009

Publicación

291 Ramírez Álvarez Emmanuel. "Casa-habitacion alimentada con energía solar", TESIUNAM, 2010 <1 %
Publicación

292 Tames Espinoza Nicolle. "Superficies térmicamente activas : aplicación de enfriamiento hidrónico para el trópico húmedo", TESIUNAM, 2017 <1 %
Publicación

293 Torres Torres María de los Ángeles. "Propuesta de factibilidad técnica y económica para una desaladora de ósmosis inversa utilizando energía renovable solar fotovoltaica en el municipio de los Cabos en Baja California Sur", TESIUNAM, 2021 <1 %
Publicación

294 Submitted to Universidad Francisco de Vitoria <1 %
Trabajo del estudiante

295 Vergara Sánchez Josefina. "Desinfeccion de agua de consumo humano de comunidades rurales mediante radiacion solar", TESIUNAM, 2005 <1 %
Publicación

296 dadospdf.com <1 %
Fuente de Internet

297	ddd.uab.cat Fuente de Internet	<1 %
298	dspace.aepro.com Fuente de Internet	<1 %
299	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
300	kerwa.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
301	manualzilla.com Fuente de Internet	<1 %
302	mitaketaketake.cocolog-nifty.com Fuente de Internet	<1 %
303	mycovenant.eumayors.eu Fuente de Internet	<1 %
304	nanopdf.com Fuente de Internet	<1 %
305	pt.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
306	repositorio.autonoma.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
307	repositorio.smn.gov.ar Fuente de Internet	<1 %
308	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

309	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
310	repositorio.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
311	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
312	repositorio.usmp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
313	repositorio.ute.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
314	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
315	riull.ull.es Fuente de Internet	<1 %
316	tede2.uepg.br Fuente de Internet	<1 %
317	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	<1 %
318	uthmexpert.uthm.edu.my Fuente de Internet	<1 %
319	vbook.pub Fuente de Internet	<1 %
320	wikieur.com Fuente de Internet	<1 %

321	www.caloryfrio.com Fuente de Internet	<1 %
322	www.cfee.gov.ar Fuente de Internet	<1 %
323	www.dominiohostingpaginaweb.com Fuente de Internet	<1 %
324	www.drhenkbakker.nl Fuente de Internet	<1 %
325	www.juit.ac.in Fuente de Internet	<1 %
326	www.manualslib.com Fuente de Internet	<1 %
327	www.mordorintelligence.com Fuente de Internet	<1 %
328	www.pinterest.com Fuente de Internet	<1 %
329	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
330	www.sfe-solar.com Fuente de Internet	<1 %
331	www.toodledo.com Fuente de Internet	<1 %
332	www.uc3m.es Fuente de Internet	<1 %

333

xdocs.net

Fuente de Internet

<1 %

334

Carreón González Celia María, Hernández Pérez Brenda Patricia, Reyes Rodríguez Celeste. "Proyecto eléctrico de una planta de generación híbrida solar-celda de combustible", TESIUNAM, 2014

Publicación

<1 %

335

Hernández Sánchez Jesús. "Definición y aplicación de modelos promediados dinámicos de sistemas fotovoltaicos para estudios de su integración en sistemas de potencia", TESIUNAM, 2018

Publicación

<1 %

336

Juan Fernando Alvarez Pineda, Carlos Alberto Valencia Hernandez, Andres Felipe Romero Maya, Sebastian Marin Munoz et al. "Analysis of the thermoeconomical behavior on an split type air conditioner due to condenser fouling", 2017 CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON), 2017

Publicación

<1 %

337

Sánchez López Pamela Lucía. "Método de análisis de la calidad del ambiente interior aplicado a un prototipo de celdas de

<1 %

alojamiento en centros penitenciarios", TESIUNAM, 2022

Publicación

338

autosolar.es

Fuente de Internet

<1 %

339

baixardoc.com

Fuente de Internet

<1 %

340

www.mitsubishitech.co.uk

Fuente de Internet

<1 %

341

FC INGENIERIA Y SERVICIOS AMBIENTALES
SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "ITS para la
Redistribución y Ampliación de Infraestructura
sin Incremento de Capacidad de Producción
de la Planta de Curado en Nuevo Chimbote,
Áncash-IGA0001274", R.D. N° 015-2019-
PRODUCE/DGAAMPA, 2020

Publicación

<1 %

342

Pietro Florio, Giuseppe Peronato, A.T.D.
Perera, Anthony Di Blasi, Kin Ho Poon, Jérôme
H. Kämpf. "Designing and assessing solar
energy neighborhoods from visual impact",
Sustainable Cities and Society, 2021

Publicación

<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado