

Universidad del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería



Diseño de un sistema de abastecimiento eléctrico con energía renovable solar y eólica para disminuir la huella de carbono de una edificación, manteniendo el confort durante la operación de aires acondicionados

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Sebastiano Del Carro Higueros para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala
2025

Universidad Del Valle de Guatemala
Facultad de Ingeniería

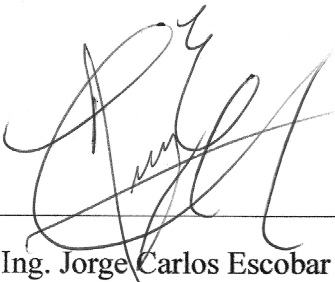


Diseño de un sistema de abastecimiento eléctrico con energía renovable solar y eólica para disminuir la huella de carbono de una edificación, manteniendo el confort durante la operación de aires acondicionados

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por
Sebastiano Del Carro Higueros para optar al grado académico de
Licenciado en Ingeniería Civil Arquitectónica

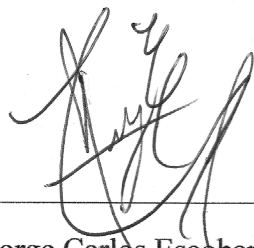
Guatemala
2025

Vo.Bo.:

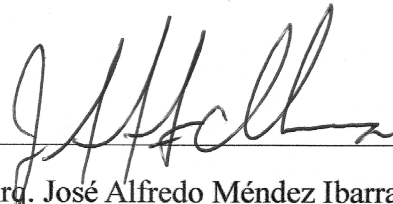
(f) 

Ing. Jorge Carlos Escobar Polanco

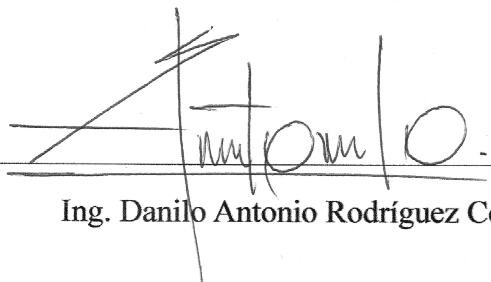
Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. Jorge Carlos Escobar Polanco

(f) 

Arg. José Alfredo Méndez Ibarra

(f) 

Ing. Danilo Antonio Rodríguez Cerón

Fecha de aprobación: Guatemala, 19 de Junio de 2025.

ÍNDICE GENERAL

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	2
III. OBJETIVOS.....	3
A. Objetivo general	3
B. Objetivos específicos.....	3
IV. MARCO TEÓRICO	4
A. Energía renovable.....	4
B. Tipos de generación de energía	5
1. Generación solar	5
2. Generación eólica.....	5
C. Aplicaciones de la metodología	6
1. Definición del problema	6
2. Ventajas de los tipos de generación de energía renovable	6
3. Desventajas de los tipos de generación de energía renovable.....	7
D. Micro generación de energía	7
1. Instalaciones fotovoltaicas	8
2. Instalaciones eólicas.....	12
E. Análisis de marcas líderes	12
1. Paneles solares	12
2. Inversores de red.....	13
3. Aerogeneradores	14
F. Climatización	14
1. Aires acondicionados	15
2. Aire acondicionado VRF	15
3. Torre de enfriamiento.....	17
4. Marcas líderes en Guatemala	18
G. Certificaciones verdes	19

1.	¿Qué son las certificaciones verdes?.....	19
2.	Tipos de certificaciones verdes	19
H.	Leyes y normativas en Guatemala.....	22
1.	Decreto No.52-2003.....	22
2.	Decreto No.96-2000.....	22
3.	Decreto No.93-96.....	23
4.	Acuerdo Gubernativo No.211-2005.....	23
5.	Acuerdo Gubernativo No.299-98.....	23
I.	Información de la edificación.....	24
1.	Uso	24
2.	Área.....	24
3.	Orientación.....	25
4.	Consideraciones de la edificación.....	25
J.	Cálculo del consumo energético de la edificación	28
1.	Variables para calcular el consumo energético	28
2.	Ecuaciones para calcular el consumo energético	28
K.	Cálculo de las horas de sol en la edificación.....	29
L.	Cálculo de la inclinación y orientación preferible para las instalaciones.....	30
M.	Software	30
1.	HelioScope.....	30
2.	Sunny Design.....	30
3.	OpenSolar	31
4.	Autodesk Forma.....	31
V.	METODOLOGÍA	32
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
A.	Cálculos y resultados.....	33
B.	Discusión de los resultados	72
VIII.	CONCLUSIONES.....	78
IX.	RECOMENDACIONES	79
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	80
XI.	ANEXOS.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Distribución de los niveles de oficina.....	24
Tabla 2 Distribución de las plazas de parqueo	24
Tabla 3 Datos muro norte	33
Tabla 4 Ganancia de calor muro norte	33
Tabla 5 Datos del muro este primer nivel.....	34
Tabla 6 Ganancia de calor muro este del primer nivel	34
Tabla 7 Datos del muro oeste primer nivel.....	34
Tabla 8 Ganancia de calor muro oeste del primer nivel	35
Tabla 9 Datos del muro sur primer nivel	35
Tabla 10 Ganancia de calor muro sur del primer nivel.....	35
Tabla 11 Datos ventana muro sur del primer nivel	35
Tabla 12 Factores de transmitancia de la ventana muro sur del primer nivel	36
Tabla 13 Ganancia de calor de la ventana muro sur del primer nivel	36
Tabla 14 Ganancia de calor total del muro sur del primer nivel	36
Tabla 15 Datos de las personas en primer nivel	37
Tabla 16 Calor de las personas en primer nivel.....	37
Tabla 17 Datos del consumo de los equipos instalados en el primer nivel	37
Tabla 18 Calor generado por los equipos instalados en el primer nivel.....	38
Tabla 19 Calor generado por los equipos instalados en el primer nivel.....	38
Tabla 20 Datos de infiltración de ventana en el primer nivel	38
Tabla 21 Calor que entra al primer nivel por infiltración.....	39
Tabla 22 Resumen primer nivel	39
Tabla 23 Datos del muro cortina en el muro norte quinto nivel	40
Tabla 24 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro norte del quinto nivel	40
Tabla 25 Ganancia de calor del muro cortina en el muro norte del quinto nivel.....	40
Tabla 26 Datos del muro este quinto nivel	40
Tabla 27 Ganancia de calor del muro este quinto nivel	41
Tabla 28 Datos del muro oeste en el quinto nivel	41
Tabla 29 Ganancia de calor del muro oeste en quinto nivel	41
Tabla 30 Datos del muro cortina en el muro sur del quinto nivel	42
Tabla 31 Factores de transmitancia del muro cortina del muro sur del quinto nivel.....	42
Tabla 32 Ganancia de calor del muro cortina en el muro sur del quinto nivel.....	42
Tabla 33 Datos de las personas en quinto nivel	42
Tabla 34 Ganancia de calor de las personas en quinto nivel.....	43
Tabla 35 Datos del equipo instalado en el quinto nivel.....	43
Tabla 36 Demanda energética del equipo instalado en quinto nivel	43
Tabla 37 Ganancia de calor del equipo instalado en quinto nivel	43
Tabla 38 Datos de infiltración de ventana en quinto nivel (Sifón).....	44
Tabla 39 Ganancia de calor por infiltración en quinto nivel.....	44
Tabla 40 Resumen quinto nivel.....	44
Tabla 41 Datos del muro cortina en el muro norte de los niveles 06-11.....	45
Tabla 42 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro norte de los niveles 06-11	45

Tabla 43 Ganancia de calor del muro cortina en el muro norte de los niveles 06-11	45
Tabla 44 Datos del muro este en los niveles 06-11	45
Tabla 45 Ganancia de calor del muro este en los niveles 06-11.....	46
Tabla 46 Datos del muro oeste en los niveles 06-11	46
Tabla 47 Ganancia de calor del muro oeste en los niveles 06-11.....	46
Tabla 48 Datos del muro cortina en el muro sur de los niveles 06-11	47
Tabla 49 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro sur de los niveles 06-11	47
Tabla 50 Ganancia de calor del muro cortina en el muro sur de los niveles 06-11.....	47
Tabla 51 Datos de las personas en los niveles 06-11.....	47
Tabla 52 Ganancia de calor de las personas en los niveles 06-11	48
Tabla 53 Datos del equipo instalado en los niveles 06-11.....	48
Tabla 54 Demanda energética de los equipos instalados en los niveles 06-11.....	48
Tabla 55 Ganancia de calor por los equipos instalados en los niveles 06-11	48
Tabla 56 Datos de infiltración de la ventana instalada en los niveles 06-11 (Sifón).....	49
Tabla 57 Ganancia de calor por la infiltración en los niveles 06-11	49
Tabla 58 Resumen de los niveles 06-11.....	49
Tabla 59 Datos del muro cortina en el muro norte del doceavo nivel	50
Tabla 60 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro norte del doceavo nivel	50
Tabla 61 Ganancia de calor del muro cortina en el muro norte del doceavo nivel.....	50
Tabla 62 Datos del muro este en el doceavo nivel	50
Tabla 63 Ganancia de calor del muro este del doceavo nivel.....	51
Tabla 64 Datos del muro oeste del doceavo nivel	51
Tabla 65 Ganancia de calor del muro oeste del doceavo nivel	51
Tabla 66 Datos del muro cortina en el muro sur del doceavo nivel	52
Tabla 67 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro sur del doceavo nivel.....	52
Tabla 68 Ganancia de calor del muro cortina en el muro sur del doceavo nivel.....	52
Tabla 69 Datos de las personas del doceavo nivel.....	52
Tabla 70 Ganancia de calor de las personas en el doceavo nivel	53
Tabla 71 Datos de los equipos instalados en el doceavo nivel	53
Tabla 72 Consumo energético de los equipos instalados en el doceavo nivel.....	53
Tabla 73 Ganancia de calor de los equipos instalados en el doceavo nivel	53
Tabla 74 Datos de infiltración por ventana en el doceavo nivel (Sifón)	54
Tabla 75 Ganancia de calor de infiltración en el doceavo nivel.....	54
Tabla 76 Resumen del doceavo nivel.....	54
Tabla 77 Cantidad de toneladas de refrigeración requeridas por nivel.....	55
Tabla 78 Cantidad de toneladas instaladas por nivel	55
Tabla 79 Consumo energético diario de las condensadoras	56
Tabla 80 Datos del panel solar Jinko Tiger Neo 625-650W	57
Tabla 81 Horas solares pico	57
Tabla 82 Temperatura de operación del panel marca Jinko	57
Tabla 83 Ppmc del panel marca Jinko	58
Tabla 84 Pérdida de potencia por panel marca Jinko	58
Tabla 85 Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire	58
Tabla 86 Número de paneles solares marca Jinko para suplir la demanda energética	58

Tabla 87 Datos del panel solar Panasonic Evervolt HK Black Series 410 W	59
Tabla 88 Horas solares pico	59
Tabla 89 Temperatura de operación del panel marca Panasonic	59
Tabla 90 Ppmc del panel marca Panasonic.....	59
Tabla 91 Pérdida de potencia por panel marca Panasonic	59
Tabla 92 Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire	59
Tabla 93 Cantidad de paneles solares marca Panasonic necesarios para suplir la demanda energética....	59
Tabla 94 Datos del panel solar tipo Maxeon Performance 6 UPP, 530-555W	60
Tabla 95 Horas solares pico	60
Tabla 96 Temperatura de operación del panel marca Maxeon	60
Tabla 97 Ppmc del panel marca Maxeon.....	60
Tabla 98 Pérdida de potencia del panel marca Maxeon.....	60
Tabla 99 Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire	60
Tabla 100 Cantidad de paneles solares marca Maxeon para cubrir la demanda energética	60
Tabla 101 Datos ciudad de Guatemala	61
Tabla 102 Altura y distanciamiento entre paneles solares	61
Tabla 103 Área del sistema de paneles solares	61
Tabla 104 Datos del inversor Huawei SUN200-25KTL-MB0.....	62
Tabla 105 Paneles en serie y paralelo para el inversor marca Huawei.....	62
Tabla 106 Paneles totales que se pueden instalar por inversor marca Huawei	62
Tabla 107 Total de inversores marca Huawei necesarios	63
Tabla 108 Datos del inversor Sungrow SG6KD.....	63
Tabla 109 Paneles en serie y paralelo para el inversor marca Sungrow.....	63
Tabla 110 Paneles totales por cada inversor marca Sungrow	63
Tabla 111 Total de inversores marca Sungrow	63
Tabla 112 Datos del inversor Growatt MAX 75KTL3	63
Tabla 113 Paneles en serie y paralelo para inversor marca Growatt	63
Tabla 114 Paneles totales por cada inversor marca Growatt	63
Tabla 115 Total de inversores marca Growatt	63
Tabla 116 Datos turbina eólica Tesup Atlas 10 kW	64
Tabla 117 Datos del viento en Ciudad de Guatemala.....	64
Tabla 118 Datos del viento en Ciudad de Guatemala según sus rosas.....	64
Tabla 119 Potencia eólica de la turbina marca Tesup.....	65
Tabla 120 Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire	65
Tabla 121 Número de aerogeneradores marca Tesup requeridos para suplir la demanda energética.....	65
Tabla 122 Distancia entre columna para aerogeneradores marca Tesup.....	65
Tabla 123 Distancia entre filas para aerogeneradores marca Tesup	66
Tabla 124 Datos de la turbina eólica Enair 200	66
Tabla 125 Datos del viento en ciudad de Guatemala	66
Tabla 126 Datos del viento en ciudad de Guatemala según sus rosas	66
Tabla 127 Potencia eólica de la turbina marca Enair.....	66
Tabla 128 Número de aerogeneradores marca Tesup requeridos para suplir la demanda energética.....	66
Tabla 129 Número de aerogeneradores marca Enair requeridos para suplir la demanda energética.....	66
Tabla 130 Distancia entre columnas para el aerogenerador marca Enair	67

Tabla 131 Distancia entre filas para el aerogenerador marca Enair	67
Tabla 132 Datos de la turbina eólica Leading Edge v150.....	67
Tabla 133 Datos del viento en ciudad de Guatemala	67
Tabla 134 Datos del viento en ciudad de Guatemala según sus rosas	67
Tabla 135 Potencia eólica de la turbina marca Leading Edge.....	67
Tabla 136 Número de aerogeneradores marca Leading Edge requeridos para suplir la demanda energética	67
Tabla 137 Número de aerogeneradores marca Leading Edge requeridos para suplir la demanda energética	67
Tabla 138 Distancia entre columnas para el aerogenerador marca Leading Edge	67
Tabla 139 Distancia entre filas para el aerogenerador marca Leading Edge	68
Tabla 140 Huella de carbono generada por el consumo energético del sistema de acondicionamiento de aire.....	68
Tabla 141 Número de aerogeneradores marca Leading Edge requeridos para suplir la demanda energética	69
Tabla 142 Cantidad de paneles solares marca Jinko instalados y su potencia	69
Tabla 143 Cantidad de inversores marca Huawei instalados y su potencia	69
Tabla 144 Cantidad de turbinas eólicas marca Tesup instaladas y su potencia.....	69
Tabla 145 Total de potencia generada por el sistema híbrido.....	69
Tabla 146 Costo Inicial del sistema de acondicionamiento de aire VRF marca Lennox	70
Tabla 147 Costo del sistema de generación de energía solar.....	70
Tabla 148 Costo del sistema de generación de energía eólico.....	70
Tabla 149 Costo total del sistema de acondicionamiento de aire y el sistema de generación de energía híbrido	70
Tabla 150 Ahorro diario con base en el costo de la energía consumida	71
Tabla 151 Retorno de inversión real.....	71
Tabla 152 Tiempo de recuperación de la inversión inicial.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Paneles solares.....	5
Ilustración 2 Turbina de viento.....	6
Ilustración 3 Micromotor.....	8
Ilustración 4 Turbina hidroeléctrica.....	8
Ilustración 5 Funcionamiento de una instalación fotovoltaica	9
Ilustración 6 Red eléctrica.....	9
Ilustración 7 Parque de paneles solares	10
Ilustración 8 Inversor de red.....	10
Ilustración 9 Equipo de monitoreo	10
Ilustración 10 Regulador de carga.....	11
Ilustración 11 Baterías solares.....	11
Ilustración 12 Componentes principales de un aerogenerador.....	12
Ilustración 13 Sistema VRF.....	16
Ilustración 14 Torre de enfriamiento de circuito abierto	17
Ilustración 15 Torre de enfriamiento de circuito cerrado	17
Ilustración 16 Vista isométrica Edificio Preda	24
Ilustración 17 Orientación de la edificación.....	25
Ilustración 18 Fachada Sur.....	26
Ilustración 19 Fachada Norte	26
Ilustración 20 Fachada Este.....	27
Ilustración 21 Fachada Oeste	27
Ilustración 22 Espacio en azotea	27
Ilustración 23 Mapa de potencia solar en el departamento de Guatemala	29
Ilustración 24 Coeficientes de transmisión (U) para paredes de mampostería.....	86
Ilustración 25 Infiltración por hendiduras a través de ventanas y puertas	86
Ilustración 26 Ganancia instantánea de calor por transmisión directa	87
Ilustración 27 Ganancia instantánea de calor por convección.....	87
Ilustración 28 Calor absorbido en el vidrio	88
Ilustración 29 Diferenciales totales de temperatura para la ganancia de calor a través de las paredes	88
Ilustración 30 Temperaturas operativas para personas sedentarias	89
Ilustración 31 Factores U para varios productos de ventanería.....	89
Ilustración 32 Discipación total de calor de personas	89
Ilustración 33 Datos del viento en el sitio	90
Ilustración 34 Densidad del viento en el sitio	90
Ilustración 35 Velocidad del viento en el sitio.....	90
Ilustración 36 Temperatura del viento en el sitio	90
Ilustración 37 Rosa de frecuencia de viento.....	91
Ilustración 38 Rosa de velocidad de viento.....	91
Ilustración 39 Rosa de potencia de viento.....	92
Ilustración 40 Densidad del aire.....	92
Ilustración 41 Rugosidad del paisaje.....	93
Ilustración 42 Panel Solar Jinko Tiger Neo 650 W	93
Ilustración 43 Especificaciones Jinko Tiger Neo 625-650 W	94
Ilustración 44 Modelos de paneles solares Panasonic	94

Ilustración 45 Especificaciones eléctricas Panasonic Evervolt HK Black Series 410 W.....	94
Ilustración 46 Panel Solar Maxeon Performance 6	95
Ilustración 47 Especificaciones eléctricas Maxeon Performance 6.....	95
Ilustración 48 Inversor Huawei SUN200-25KTL-MB0.....	95
Ilustración 49 Especificaciones técnicas Huawei SUN200-25KTL-MB0	96
Ilustración 50 Inversor Sungrow SG6KD (Sungrow, n.d.).....	96
Ilustración 51 Especificaciones técnicas Sungrow SG6KD	97
Ilustración 52 Inversor Growatt MAX 75KTL3	97
Ilustración 53 Especificaciones técnicas Growatt MAX 75KTL3	98
Ilustración 54 Turbina eólica Tesup Atlas 10 kW.....	98
Ilustración 55 Especificaciones técnicas Tesup Atlas 10 kW	99
Ilustración 56 Turbina eólica Enair E200.....	99
Ilustración 57 Especificaciones técnicas Enair E200	99
Ilustración 58 Turbina eólica Leading Edge v150.....	100
Ilustración 59 Especificaciones técnicas Leading Edge v150.....	100
Ilustración 60 Condensadora Lennox VEP120N432K2.....	100
Ilustración 61 Especificaciones técnicas Lennox VEP120N432K2.....	101
Ilustración 62 Condensadora Lennox VEP150N432K2.....	101
Ilustración 63 Especificaciones técnicas Lennox VEP150N432K2.....	101
Ilustración 64 Condensadora Lennox VEP210N432K2.....	102
Ilustración 65 Especificaciones técnicas Lennox VEP210N432K2.....	102
Ilustración 66 Niveles de oficina Edificio Preda	103
Ilustración 67 Niveles de oficina Edificio Preda	103
Ilustración 68 Niveles de oficina en Edificio Preda	104
Ilustración 69 Niveles de oficina en Edificio Preda	104
Ilustración 70 Terraza del quinto nivel en Edificio Preda	104
Ilustración 71 Planta de azotea.....	105
Ilustración 72 Planta de distribución	106
Ilustración 73 Render de planta de distribución	107
Ilustración 74 Detalle de los equipos	108
Ilustración 75 Diagrama unifilar	109
Ilustración 76 Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico a la red.....	110
Ilustración 77 Planta de distribución del primer nivel.....	111
Ilustración 78 Planta de distribución de los niveles 06-12	112
Ilustración 79 Planta de distribución del quinto nivel.....	113
Ilustración 80 Distribución de las condensadoras en nivel 05.....	114

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Consumo mensual de energía	28
Ecuación 2 Costo del consumo mensual	28
Ecuación 3 Área del muro	33
Ecuación 4 Cambio de temperatura.....	33
Ecuación 5 Cambio de temperatura efectivo.....	33
Ecuación 6 Ganancia de calor	34
Ecuación 7 Área ventana.....	36
Ecuación 8 Ganancia de calor de la ventana	36
Ecuación 9 Ganancia de calor total con ventana	36
Ecuación 10 Cálculo de usuarios máximos por nivel	37
Ecuación 11 Calor de las personas	37
Ecuación 12 Demanda energética en kW	38
Ecuación 13 Calor generado por el equipo.....	38
Ecuación 14 Aire que se filtra por la endadura de la ventana	38
Ecuación 15 Libras de aire que se filtran en la ventana por hora	39
Ecuación 16 Calor por infiltración	39
Ecuación 17 Cantidad de toneladas de refrigeración	39
Ecuación 18 Toneladas totales por nivel	55
Ecuación 19 Potencia de las condensadoras.....	56
Ecuación 20 Consumo energético diario por condensadora.....	56
Ecuación 21 Temperatura ambiente	57
Ecuación 22 Cálculo de las horas solares pico.....	57
Ecuación 23 Cálculo de la temperatura de operación del panel	57
Ecuación 24 Cálculo Ppmc.....	58
Ecuación 25 Cálculo de la pérdida de potencia por panel.....	58
Ecuación 26 Cálculo del número de paneles necesarios para suplir la demanda energética.....	58
Ecuación 27 Cálculo altura del panel	61
Ecuación 28 Cálculo de distancia entre columnas	61
Ecuación 29 Cálculo de distancia entre filas	61
Ecuación 30 Cálculo del área necesaria por panel solar.....	61
Ecuación 31 Cálculo del área total del sistema de paneles solares	61
Ecuación 32 Posibles paneles instalados en serie.....	62
Ecuación 33 Posibles paneles instalados en paralelo	62
Ecuación 34 Paneles máximos por potencia	62
Ecuación 35 Cantidad de paneles por cada línea del inversor.....	62
Ecuación 36 Cantidad de paneles por inversor.....	62
Ecuación 37 Cantidad de inversores necesarios.....	63
Ecuación 38 Cálculo de la velocidad del viento conocida	64
Ecuación 39 Cálculo de la altura real	64
Ecuación 40 Cálculo de la densidad del viento	64
Ecuación 41 Cálculo del tiempo donde el viento se mantiene constante	64
Ecuación 42 Cálculo de la velocidad del viento real.....	65
Ecuación 43 Cálculo del flujo másico	65
Ecuación 44 Cálculo de la potencia eólica	65

Ecuación 45 Cálculo de la cantidad de turbinas eólicas requeridas para suplir la demanda energética.....	65
Ecuación 46 Cálculo de la distancia entre columnas de los aerogeneradores	66
Ecuación 47 Cálculo de la distancia entre filas de los aerogeneradores	66
Ecuación 48 Consumo anual del sistema de acondicionamiento de aire	68
Ecuación 49 Huella de carbono generada por el consumo energético anual.....	68
Ecuación 50 Potencia generada por el sistema de paneles solares	69
Ecuación 51 Potencia generada por el sistema de turbinas eólicas	69
Ecuación 52 Total de potencia generada por el sistema híbrido.....	69
Ecuación 53 Cálculo del costo total del equipo.....	70
Ecuación 54 Costo total de la inversión	70
Ecuación 55 Ahorro diario al no comprar energía.....	71
Ecuación 56 Tiempo de recuperación en días	71
Ecuación 57 Tiempo de recuperación en años	71

RESUMEN

La energía renovable se define como una fuente de energía basada en la utilización del sol, el viento, el agua, la biomasa vegetal o animal, biogás, biocombustibles y el calor de la corteza de la tierra. Estas fuentes de energía se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, sino recursos que son capaces de renovarse fácilmente. Según la Asociación Internacional de la Energía, la energía solar generó más de 994 TWh alrededor del mundo en el 2021, representando el 60% del crecimiento de las energías renovables, convirtiendo a la energía solar la más popular e importante entre todas las fuentes de generación de energía.

Relacionado con esto, la energía solar fotovoltaica también es de las fuentes más desarrolladas en la actualidad. Según informes de la organización ecologista Greenpeace, esta fuente podría llegar a suministrar la demanda energética necesaria para abastecer a dos terceras partes de la población mundial para el año 2030.

Este tipo de generación de energía solar se basa en la producción de energía mediante el uso de células fotovoltaicas, las cuales utilizan la radiación solar. Los paneles solares conforman una estructura rectangular con una unidad básica de transformación, las cuales van unidas al panel sobre una plancha recubierta de un plástico llamado EVA. Para poder convertir la energía obtenida por la radiación solar en energía eléctrica, estos paneles cuentan con inversores. Este tipo de instalaciones se puede utilizar en techos de edificaciones o espacios amplios, donde, según su tamaño y consumo energético, pueden llegar a abastecer una gran cantidad de la energía requerida por la edificación o establecimiento.

Otra de las fuentes de energía renovable que puede proveer un gran beneficio a las edificaciones es la energía eólica, la cual se basa en la utilización del viento como su fuente principal de producción de energía. Esta fuente de energía utiliza generadores eléctricos, los cuales son capaces de generar energía eléctrica por medio del movimiento de las aspas.

Tomando en cuenta estas dos fuentes de energía renovables, este trabajo busca desarrollar el diseño de un sistema híbrido, implementando los dos tipos de generación de energía renovable para poder abastecer la demanda energética de los sistemas de acondicionamiento de aire de una edificación, sin perder las condiciones de confort para los usuarios y poder disminuir la huella de carbono que ejerce la edificación.

Para poder lograr este diseño, se debe calcular la demanda energética de los sistemas de climatización en base a la potencia que requieren en condensación para mantener una temperatura de confort dentro de los niveles. Así como también se debe realizar un estudio de las condiciones climáticas del sitio para poder determinar el sistema híbrido de generación de energía que se implementará, tomando en cuenta el área disponible, la vida útil y la eficiencia de los equipos que se utilizarán.

Al concluir con el diseño, también se realizará una comparativa de la disminución de la huella de carbono que el edificio emitirá utilizando el sistema de generación de energía híbrido, así como el ahorro económico que se recibe en cuanto a la energía y el tiempo estimado de retorno de inversión.

ABSTRACT

As energy consumption increases globally, the need to implement renewable energy sources to reduce greenhouse gas emissions increases as well. In the construction sector, the carbon footprint generated by the climate control system throughout the buildings' lifetime can become one of the biggest consumers of electricity due to its high demand.

Therefore, implementing a hybrid solar-wind energy system to power the buildings climate control system can help to significantly reduce its greenhouse gas emissions and help with its carbon footprint. This system gives the ability to take advantage of both the sun and the wind that is generated daily.

This study aims to design a renewable energy system that can provide energy to the air conditioning system in a designated building, aiming to reduce the carbon footprint generated by the design without compromising the thermal comfort of its users.

Also, this study aims to perform a comparative analysis of the achievement in terms of carbon footprint reduction as well as the potential return on investment that implementing this system can offer, providing a technical and responsible solution to the global energy consumption challenges.

I. INTRODUCCIÓN

A medida que el consumo energético mundial y la preocupación por los cambios climáticos aumenta, se ha generado una necesidad de implementar fuentes de energía renovable con el fin de poder reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En la construcción, la huella de carbono que se llega a generar en cuanto al consumo eléctrico de una edificación a lo largo de su vida útil significa una gran cantidad de emisiones que se pueden llegar a reducir con la implementación de estas energías renovables.

La climatización dentro de las edificaciones es uno de los mayores consumidores de electricidad debido a la demanda que estos equipos tienen, es por eso, que implementando un sistema de energía híbrido eólico-solar capaz de abastecerlo ayudaría a disminuir la huella de carbono de la edificación y también a disminuir costos a largo plazo. Un sistema eólico-solar aprovecha todas las horas de sol que se tienen durante el día, así como los vientos que se tienen constantemente todo el tiempo.

El presente trabajo busca diseñar un sistema de abastecimiento eléctrico utilizando energía solar y eólica que sea utilizado para suplir la mayor demanda energética posible en cuanto a los requerimientos del sistema de climatización que se vaya a instalar en el edificio, buscando reducir la huella de carbono del mismo sin sacrificar el confort térmico de los usuarios.

Este trabajo también busca realizar una comparativa en cuanto a la reducción de huella de carbono que se obtiene al implementar estos sistemas de abastecimiento de energía y realizar un análisis en cuanto al retorno de inversión que estos pueden llegar a ofrecer. Aportando una solución técnica y responsable hacia el desafío que se tiene sobre el consumo energético mundial.

II. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, el desarrollo de energías sostenibles es imprescindible para combatir el cambio climático y lograr disminuir sus efectos a largo plazo. La Organización Meteorológica indicó que el 2022 fue el quinto o sexto año más cálido registrado, así como también es el octavo año consecutivo en el cual las temperaturas globales subieron más de un grado centígrado por encima de los niveles preindustriales, impulsadas por el aumento de concentraciones de gases de efecto invernadero.

Históricamente, el sistema energético ha estado vinculado a los combustibles fósiles y la generación de la energía eléctrica, dependiendo de sistemas de generación utilizando dichos combustibles. Esto ha suscitado una creciente preocupación en los últimos años respecto al cambio climático y sus impactos ambientales futuros si no se produce un cambio significativo en las prácticas energéticas. En este contexto, la eficiencia energética en los edificios desempeña un papel fundamental debido a su tamaño y al consumo energético asociado, especialmente cuando están en pleno funcionamiento.

La energía solar emerge como una de las alternativas más utilizadas para producir energía gracias a su facilidad de instalación y lo flexibles que llegan a ser en cuanto a su posicionamiento. Este tipo de energía renovable se divide en dos: energía solar fotovoltaica y energía solar térmica, la primera aprovechando la luz del sol y la segunda el calor de este.

De acuerdo con un análisis realizado por la Agencia Internacional de Energía Renovable (IRENA), más del 90% de las soluciones que proporcionan un resultado exitoso en cuanto a las emisiones de CO₂ que se quieren lograr están relacionadas a las energía renovables a través del suministro directo, la electrificación, la eficiencia energética, el hidrógeno verde y la bioenergía combinada con la captura y el almacenamiento de carbono (BECAC).

Las instalaciones de sistemas de generación de energía mediante paneles solares fotovoltaicos en edificios presentan numerosas, como su eficiencia energética y su rentabilidad a largo plazo. Además, son versátiles, ya que pueden llegar a generar hasta el 50% de su capacidad en días nublados y hasta un 20% en día de lluvia intensa.

Es importante destacar que debido al tamaño de los edificios, los sistemas fotovoltaicos se convierten en generadores de energía de pequeña escala, conocidos como sistemas de micro generación. Esto se logra aprovechando el amplio espacio disponible en las cubiertas y fachadas para instalar estos módulos fotovoltaicos.

Existen diversas certificaciones internacionales que evalúan el impacto medioambiental de las construcciones y operaciones de edificios, así como aspectos económicos, de salud y bienestar, con el objetivo de alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y promover la Economía Circular. Entre las certificaciones más importantes se encuentran BREEAM (Código para un entorno construido sostenible), LEED (Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental), WELL (Instituto Internacional de Construcción Saludable), DGNB y VERDE. Estas certificaciones buscan integrar los conceptos de sostenibilidad y mejorar la calidad de vida de los ocupantes de los edificios.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Diseñar un sistema de energía híbrido eólico-solar para abastecer la demanda energética requerida por el sistema de aires acondicionados de una edificación ubicada en la 18 calle 20-21 Zona 10 de la Ciudad de Guatemala. Reduciendo la huella de carbono sin perder el confort de los usuarios.

B. Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de aire acondicionado de la edificación con el objetivo de mantener diferentes condiciones de confort térmico durante las horas de operación, considerando factores inherentes a la edificación que puedan influir en el consumo del sistema para su dimensionamiento adecuado.
- Analizar las implicaciones financieras relacionadas con la implementación del sistema híbrido eólico-solar dimensionado para el sistema de aire acondicionado.
- Calcular la huella de carbono generada por el sistema de aire acondicionado y determinar el porcentaje de reducción al compararla con la huella de carbono resultante del uso convencional de fuentes energéticas.

IV. MARCO TEÓRICO

A. Energía renovable

Las energías renovables son fuentes de energía que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables debido a su capacidad de regenerarse naturalmente o la inmensa cantidad de energía que poseen. Estas también son llamadas energías limpias, y se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, los cuales promueven el calentamiento global y aumentan la huella de carbono, protegiendo la salud humana y al medioambiente.

Estas fuentes de energía se basan en la utilización del sol, el viento, el agua o la biomasa vegetal o animal, biogás, biocombustibles y el calor de la corteza de la tierra, lo cual permite generar un impacto ambiental menor al no emplear recursos finitos, no producir gases de efecto invernadero (GEI) y no producir emisiones contaminantes. (Enel Green Power, n.d.)

Estas energías no ayudan a la contaminación del medio ambiente, sino que también presentan beneficios como un fomento a la industria nacional al crear parques eólicos o plantas hidroeléctricas en zonas donde la electricidad común no tiene acceso. Creando así la posibilidad de diversificar la matriz energética del país y promover el desarrollo de economías regionales impulsado al turismo.

Desde 1990 el movimiento hacia la construcción sostenible y la adopción de prácticas amigables con el medio ambiente ha ganado impulso, ahora con la posibilidad de obtener certificaciones con reconocimientos internacionales para las edificaciones que cumplen con ciertos requisitos, con el fin de lograr alternativas de alta eficiencia energética y ambiental. Entre las diferentes certificaciones, una de las más populares es la certificación LEED, la cual se basa en un sistema de sumatoria de puntos el cual permite alcanzar uno de los cuatro niveles de certificación posibles. Esta certificación tiene cerca de 80,000 proyectos participantes alrededor de 162 países. (Bioconstrucción y Energía Alternativa, 2019)

Otro de los beneficios que las energías renovables aportan es lo económicas que pueden llegar a ser, solo necesitando un costo elevado de inversión para instalar los sistemas y después mantener bajos costos de mantenimiento al momento de empezar a operar. (Gobierno de México, 2018)

En Guatemala, la política energética gubernamental tiene como objetivo diversificar a favor de las energías renovables, ya que la matriz energética del país actualmente depende de los combustibles contaminantes. Según la asociación de Generadores con Energía Renovable, Guatemala solo está aprovechando un 15% del potencial de producción de energía renovable dentro del país, siendo el país capaz de producir suficiente energía para cubrir el 100% de la demanda energética del país. (Ministerio de Energía y Minas, 2005)

B. Tipos de generación de energía

1. Generación solar

La energía solar es la energía renovable que produce su energía mediante el uso del sol, y esta se divide en dos: Energía solar fotovoltaica y Energía solar térmica.

La energía solar fotovoltaica utiliza la luz del sol para generar calor y se puede aplicar desde un nivel doméstico hasta un nivel industrial. Su funcionamiento se basa en la radiación solar como la fuente de producción de energía. Para lograr esto, se utilizan colectores solares, también conocidos como paneles solares, los cuales son capaces de transformar la luz del sol (fotones) en energía eléctrica (electrones). Estos paneles solares contienen células solares fotovoltaicas las cuales realizan un proceso llamado efecto fotoeléctrico, donde estos materiales absorben los fotones y liberan los electrones. (Fundación Aquae, 2021)

La energía solar térmica aprovecha el calor del sol mediante espejos de manera que los rayos del sol se concentran en un receptor que puede llegar a temperaturas de hasta 1000 °C. Luego, este calor es utilizado para calentar un fluido que genera vapor y utilizar este vapor para mover una turbina y producir energía eléctrica. Estos se pueden aprovechar de mejor forma en edificios ya que el vapor es conducido mediante tuberías. (Khan Academy, n.d.)

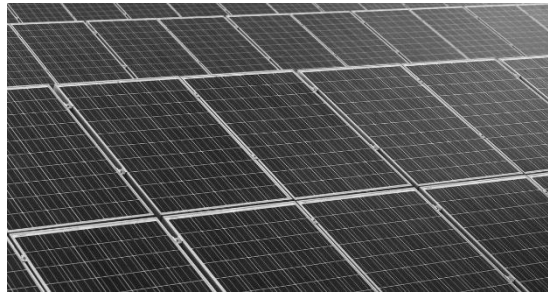


Ilustración 1 Paneles solares

(Cuerva Energía, 2022)

2. Generación eólica

La energía eólica es la energía renovable que se obtiene mediante el viento. Esta se trata de un tipo de energía cinética que se produce mediante las corrientes de aire y se convierte en electricidad mediante un generador eléctrico que recibe energía del movimiento de las aspas. (Factorenergia, 2023)

Esta energía eléctrica se obtiene al convertir el movimiento de las aspas de un aerogenerador, el cual es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento. Este es conformado por la torre, un armario de acoplamiento a la red eléctrica, un mando del rotor y una góndola, la cual lleva un freno, un multiplicador, el generador y el sistema de regulación eléctrica por dentro. (Iberdrola, 2021)



Ilustración 2 Turbina de viento

(Stanley Reed, 2017)

C. Aplicaciones de la metodología

1. Definición del problema

Los problemas relacionados al cambio climático se deben mayormente a la energía que consume mundialmente, pero a la vez, son las energías renovables las que conforman una parte fundamental para su solución. La producción de energía mediante la quema de combustibles fósiles genera una gran cantidad de gases de efecto invernadero, los cuales cubren la tierra y atrapan el calor del sol.

Estos combustibles fósiles, como lo son el carbón, el gas y el petróleo, son los mayores causantes del cambio climático que está ocurriendo globalmente. Según Naciones Unidas, estos son responsables de más del 75% de todas las emisiones de gases globales de efecto invernadero y cerca del 90% de todas las emisiones de dióxido de carbono.

Naciones Unidas confirma que, para evitar los impactos más negativos en el cambio climático, las emisiones se deben reducir casi en un 50% para el año 2030 y alcanzar un 100% para el año 2050. Aunque los combustibles fósiles todavía abarcan más del 80% de la producción de energía eléctrica mundial, Naciones Unidas estima que actualmente, cerca del 29% de la electricidad mundial ya proviene de energías renovables.

Aunque los combustibles fósiles todavía abarcan más del 80% de la producción de energía eléctrica mundial, Naciones Unidas estima que actualmente, cerca del 29% de la electricidad mundial ya proviene de energías renovables. (United Nations, n.d.)

2. Ventajas de los tipos de generación de energía renovable

Una de las ventajas más grandes de las energías renovables es la facilidad que tienen en cuanto a su producción, ya que estas se pueden encontrar en el sol y el viento. A la vez, estas ofrecen una solución ante la dependencia a las importaciones de combustibles fósiles y las posibles fluctuaciones que sus precios puedan llegar a tener.

Las energías renovables también son más baratas al solo necesitar una gran inversión inicial y bajos costos de mantenimiento. Según Naciones Unidas, los costos de la energía solar han caído un 85% entre los años 2010 y 2020, mientras que los costos de la energía eólica han caído entre un 48% y 56% dependiendo de sus ubicaciones.

Es importante mencionar que las energías renovables también son más saludables para la población debido a su baja emisión de gases de efecto invernadero y contaminación. De acuerdo con la Organización Mundial de Salud (OMS), cerca del 99% de las personas respiran un aire que no llega a los límites de calidad adecuados, lo cual pone en riesgo su salud.

Por último, las energías renovables, al depender de la instalación de equipos y sus mantenimientos también puede ayudar a generar más empleos. La IEA estima que la transición hacia cero emisiones netas podría llegar a generar una pérdida de casi 5 millones de empleos relacionados a la producción de combustibles fósiles, pero a su vez, se crearían cerca de 14 millones de empleos nuevos destinados a la producción de estas energías limpias. (United Nations, n.d.)

3. Desventajas de los tipos de generación de energía renovable

Una de las desventajas más grandes que tiene las energías renovables son sus limitaciones geográficas, porque, aunque sean inagotables, estas pueden llegar a ser inaccesibles en algunos países. Un ejemplo podrían ser los países que no cuentan con mares o costas, lo cual no permite utilizar energía renovable marina. Otra de las mayores desventajas es su costo de instalación, ya que el costo de la inversión inicial puede ser muy alto y requiera de muchos años para cubrir la inversión y poder empezar a generar ganancias.

Las energías renovables, al depender del medio ambiente y sus recursos, pueden llegar a ser intermitentes en lugares donde la cantidad de luz, la velocidad del viento o la fuerza de las olas no son constantes. Debido a eso, es difícil poder pronosticar la producción de energía que se puede llegar a generar. También cabe mencionar que no todas las energías renovables son libres de emisiones de CO₂, como lo es la biomasa y los biocombustibles, los cuales pueden llegar a generar grandes efectos de gases de efecto invernadero si no se manejan adecuadamente.

Por último, existe la desventaja que no todos los proveedores de energía eléctrica generada a base de energías renovables son buenos, como lo son esas empresas que buscan diversificar sus inversiones y ofrecen energía a bajos precios, los cuales van de la mano con una baja calidad. (Panelpower, 2023)

D. Micro generación de energía

La micro generación de energía se basa en la utilización de la cogeneración para obtener energía térmica y energía eléctrica, y sus principales sistemas de generación se basan en las microturbinas y los micromotores.

Los micromotores emplean la misma tecnología que se emplea normalmente en automóviles, donde el giro de un eje mueve un generador, y este produce energía eléctrica. Estos micromotores también son capaces de calentar fluidos aprovechando el calor que se disipa a través de los circuitos de refrigeración y los gases de escape. (Twenergy, 2019)



Ilustración 3 Micromotor

(Hsiang Neng, n.d.)

En cambio, las microturbinas de gas son máquinas que emplean la misma tecnología utilizada en las centrales de producción de electricidad, donde los gases calientes producidos por la combustión del gas con el aire hacen girar una turbina, la cual acciona un alternador que genera electricidad. Cabe mencionar que estos gases también se pueden usar para la calefacción.



Ilustración 4 Turbina hidroeléctrica

(Enel Green Power, n.d.)

1. Instalaciones fotovoltaicas

Una instalación solar fotovoltaica es un sistema diseñado para producir energía eléctrica mediante la radiación solar. Estas son utilizadas por personas que quieren aprovechar estos sistemas instalados en hogares y por empresas que quieren abastecer sus compañías con energía verde.

Estas funcionan mediante celdas o paneles solares, los cuales absorben la energía compuesta por la radiación solar para luego poder transformarla en energía eléctrica. Luego, esta energía atraviesa los reguladores, los cuales la conducen a las baterías donde se almacena y es liberada hacia los inversores para ser transformada de una corriente continua a una corriente alterna. (Energy S; 2021)

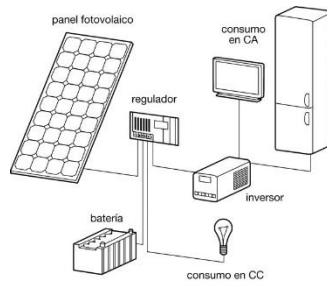


Ilustración 5 Funcionamiento de una instalación fotovoltaica

(Gas, Frio y Calor, 2019)

a. Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica son aquellas instalaciones que están preparadas para ser instaladas en infraestructuras donde existe una conexión a la red eléctrica, donde su objetivo principal es disminuir el consumo energético de la red y reducir los costos de consumo. Estas instalaciones dan la posibilidad de vender energía en el mercado eléctrico cuando no se esté utilizando debido a su conexión con la red.

El uso de estos sistemas puede ser instalado de forma residencial, comercial e industrial, brindando el beneficio del ahorro en costos energéticos y la reducción de emisiones de carbono. Estos sistemas no llevan una mayor inversión después de su instalación, ya que solo se recomienda darles una limpieza a los paneles solares de 3 a 6 veces anuales. (AutoSolar, n.d.)

Estos sistemas están compuestos por los siguientes equipos:

- i. Red eléctrica: Sistema diseñado para distribuir energía eléctrica en diferentes puntos. Esta está formada por redes que conectan los generadores y subestaciones eléctricas con hogares y empresas, permitiendo utilizar electricidad siempre.



Ilustración 6 Red eléctrica

(Endesa, 2015)

- ii. Paneles solares: Dispositivos fotovoltaicos que captan la energía del sol y la convierten en electricidad. Estos están formados por celdas solares, las cuales transforman la luz en energía eléctrica.



Ilustración 7 Parque de paneles solares

(Solfy, 2024)

- iii. Inversor de red: Dispositivos que transforman la corriente continua a una corriente alterna, así como también permite priorizar el uso de la energía renovable creada por los paneles solares en vez de la energía proporcionada por la red.



Ilustración 8 Inversor de red

(Huawei, 2023)

- iv. Equipo de monitoreo: Dispositivo que traza y digitaliza las medidas brindadas por los paneles solares para proporcionarle al usuario la corriente y tensión que se está generando.



Ilustración 9 Equipo de monitoreo

(Factorenergía, 2023)

b. Instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas de la red eléctrica son aquellas instalaciones que permiten el suministro energético en viviendas o naves donde no existe un acceso a la red eléctrica pública, funcionando de manera independiente. Dentro de sus ventajas tenemos la independencia de la red eléctrica y los bajos costos de mantenimiento que son usuales en cualquier tipo de instalación solar.

Dentro de sus desventajas, se tiene un costo elevado de las baterías y la dependencia de las mismas, por lo que cualquier falla o desperfecto que afecte su rendimiento se verá reflejado automáticamente donde se tenga la instalación. (AutoSolar, n.d.)

Estos sistemas están compuestos por los siguientes equipos:

- i. Paneles solares
- ii. Reguladores de carga: Controlan la energía que se inyecta a las baterías para evitar sobrecargas y descargas que puedan dañar los equipos y afectar su rendimiento.



Ilustración 10 Regulador de carga

(Prostar, 2020)

- iii. Baterías: Almacenan la energía que los paneles solares generan durante el día para poder utilizarla cuando no hay producción, garantizando un suministro eléctrico durante las 24 horas del día.



Ilustración 11 Baterías solares

(Monosolar, n.d.)

2. Instalaciones eólicas

Las instalaciones de energía eólica se basan en parques eólicos o grandes instalaciones de aerogeneradores ya sea en la tierra o en el mar, los cuales mediante el rotor son capaces de captar la fuerza del viento y convertirla en energía mecánica, la cual se lleva a estos aerogeneradores y se convierte en energía eléctrica la cual se conecta a la red o a las estructuras. (Iberdrola, 2021)

Estas instalaciones están compuestas principalmente por:

- i. Rotor: Dispositivo compuesto de tres palas y un buje que las une, estas captan la energía del viento y la convierten en energía mecánica mediante su rotación.
- ii. Multiplicadora: Equipo que va unido al motor mediante un eje y cumple la función de elevar la velocidad de giro de 30 rpm a 1500 rpm.
- iii. Generador: Elemento que se encarga de convertir la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica.

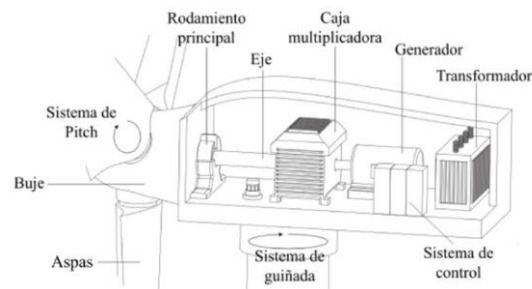


Ilustración 12 Componentes principales de un aerogenerador

(Redalyc, 2021)

E. Análisis de marcas líderes

1. Paneles solares

a. Jinko Solar

Jinko Solar es una de las empresas más reconocidas a nivel mundial en la fabricación de paneles solares y soluciones fotovoltaicas, dentro de las características que la destacan podemos encontrar que sus paneles solares son de alta eficiencia con un gran tiempo de vida esperado, así como la relación precio-calidad que los hace competitivos en el mercado.

Algo importante de esta empresa es que tiene fábricas de producción y centro de distribución por todo el mundo, incluyendo América, lo cual ayuda a que la importación de estos equipos hacia Guatemala no genere una huella de carbono tan grande como si se importaran de Europa.

b. Panasonic

Panasonic se ha posicionado como una de las marcas premium en el mercado solar, fabricando paneles solares que ofrecen una larga vida útil y un excelente desempeño en climas cálidos. Estos

paneles solares ayudan a maximizar la producción de energía en espacios reducidos y ofrecen una garantía de hasta 25 años en cuanto al producto y su rendimiento.

La fabricación de estos paneles tiene altos estándares de calidad, utilizando tecnologías que combinan células monocristalinas con capas de silicio amorfo, ayudando a incrementar la eficiencia de estos paneles solares hasta un 22%.

c. Maxeon Solar Technologies

Maxeon es una empresa que se especializa en la fabricación de paneles solares, siendo estos reconocidos por su alta eficiencia y calidad premium. Dentro de las ventajas que esta marca ofrece a comparación de su competencia es la cantidad de producción de energía a lo largo del tiempo, ya que sus paneles tienen hasta un 8% de degradación entre 25 y 40 años.

Los paneles solares que ofrece Maxeon también utilizan una tecnología donde las células solares no tienen contacto en la parte frontal, ayudando a que algunos modelos lleguen a tener una eficiencia de hasta en 22.8%.

2. Inversores de red

a. Huawei

Huawei es una de las empresas líderes en tecnología y telecomunicaciones, y en el sector de energías renovable se ha establecido como una de las marcas líderes para fabricación de inversores de red para sistemas fotovoltaicos.

Sus inversores se destacan en el mercado por tener una alta eficiencia, por usar inteligencia artificial para la detección de fallas y optimizar el rendimiento, y por ofrecer un diseño que no utiliza transformadores, reduciendo el peso del equipo y aumentando su rendimiento.

b. Sungrow

Sungrow es otra de las marcas líderes en el mercado de inversores de red, siendo uno de los fabricantes principales a nivel global. Sus inversores de red pueden alcanzar hasta un 99% de eficiencia a una excelente relación precio/calidad.

Sus inversores de red también ofrecen opciones híbridas, las cuales se pueden conectar a baterías para almacenar la energía y utilizarla cuando no haya producción. Así como también ofrecen la integración de plataformas de gestión inteligente que permiten el monitoreo remoto del sistema.

c. Growatt

Growatt es un fabricante de inversores de red que se caracteriza por ofrecer inversores de red eficientes y a precios accesibles para cualquier tipo de aplicación. Sus tipos de inversores pueden variar dependiendo si se necesitan monofásicos, trifásicos o híbridos, alcanzando hasta un 99% de eficiencia.

Sus inversores de red tienen un diseño compacto y ligero, lo cual ayuda a que sean de fácil instalación y fácil de mantener. También ofrecen una aplicación para teléfonos y tablets que permite la gestión remota del sistema.

3. Aerogeneradores

a. Tesup

Tesup es una empresa que se especializa en la generación de energía renovable, especializándose en turbinas eólicas domésticas y paneles solares. Su compromiso con la sostenibilidad comienza con sus productos, los cuales están hechos con materiales reciclados.

Sus aerogeneradores incorporan tecnologías avanzadas que les permiten maximizar la eficiencia y el rendimiento gracias a que pueden capturar el viento desde cualquier dirección, teniendo una capacidad de hasta 10 kW en algunos modelos con la capacidad de monitorearlos remotamente desde el teléfono.

b. Enair Ryse Energy

Enair Ryse Energy es una empresa innovadora en el sector de la energía renovable, especializándose en la fabricación de aerogeneradores de pequeña potencia con un alto rendimiento. Sus productos van desde aerogeneradores de micro capacidad hasta mediana capacidad, así como también ofrecen almacenamiento para esta energía.

Sus productos se pueden utilizar con tecnologías independientes, conectadas a la red o aisladas de la misma por medio del uso de las baterías. Su empresa tiene fabricación en Europa, pero sus salas de venta llegan hasta los Estados Unidos, donde apoyan diferentes sectores como la descarbonización de infraestructuras.

c. Leading Edge Power

Leading Edge Power es una empresa especializada en la fabricación de aerogeneradores de pequeña escala, diseñados para su aplicación en entornos exigentes. Sus productos se basan en la calidad e innovación, ofreciendo soluciones energéticas eficientes y confiables para su uso en lugares remotos o con condiciones climáticas exigentes.

F. Climatización

La climatización, en general, es el conjunto de equipos HVAC que permiten obtener las condiciones óptimas de temperatura, humedad y ventilación dentro de un espacio determinado. Esta se realiza para el bienestar de los usuarios dentro del espacio y para la protección del equipo que se compone dentro del espacio.

El proceso de climatización puede ser generado tanto por calefacción como refrigeración, cada una contrarrestando las temperaturas exteriores y condiciones a las que cada espacio se enfrenta.

Una climatización correcta dentro de los espacios ayuda a mantener aire limpio y de mejor calidad para los usuarios, así como también ayuda a evitar la humedad.

Para la elección de un sistema de climatización, es importante tener en cuenta aspectos como la zona climática del lugar que se quiere acondicionar y las necesidades del espacio, tomando en cuenta las actividades que los usuarios realizarán dentro y los equipos que se mantienen en el espacio.

1. Aires acondicionados

El aire acondicionado es un sistema utilizado para refrescar el espacio interior cuando las temperaturas ambientales son muy altas, así como también pueden calentar el espacio si las temperaturas son muy bajas. Su función se basa en sustituir la circulación de aire de un espacio determinado por aire a la temperatura deseada, buscando llegar a la temperatura de confort que buscan los usuarios del espacio acondicionado.

Dentro de los sistemas de aire acondicionado disponibles se encuentra el sistema centralizado, este es un sistema de aire que enfría el aire de todo un edificio con una red de ductos conectados a una unidad de enfriamiento. Estos sistemas son muy eficientes y son capaces de ajustarse para controlar la temperatura y humedad del espacio. (Sarachu, 2023)

Generalmente están compuestos por una unidad interior que se conecta a la unidad de enfriamiento en la azotea y son puestos sobre el cielo falso para permanecer ocultos a la vista. Estas unidades interiores están compuestas por rejillas instaladas en cada habitación, donde un ventilador es el encargado de llevar el aire hacia los conductos y así acondicionar los espacios. (Lowcostclima, 2018)

2. Aire acondicionado VRF

Los sistemas VRF (Volumen de Refrigerante Variable) son sistemas de aire acondicionado desarrollados especialmente para residencias amplias o edificios comerciales. Se basan en un sistema multi-split, donde la unidad externa está conectada a múltiples unidades internas capaces de operar individualmente por ambiente. Su funcionamiento se basa en la expansión térmica, donde el aire del ambiente cambia el calor directamente con el refrigerante debido a las acciones de la evaporadora.

Estos sistemas son altamente ecoeficientes debido a la utilización de un único compresor para abastecer múltiples unidades y su capacidad de mantener uniformes los niveles de refrigeración. Otra ventaja de estos equipos es su precio accesible en comparación a los demás equipos en el mercado. (Climadesign, n.d.)



Ilustración 13 Sistema VRF

(Sistemas VRF, n.d.)

3. Torre de enfriamiento

Los sistemas de torre de enfriamiento son equipos que basan su funcionamiento en el principio del enfriamiento evaporativo, el cual es un proceso que utiliza el agua como refrigerante y se aplica para transmitir el calor a la atmósfera el calor excedente de las máquinas térmicas.

Su funcionamiento se basa los chillers de aire acondicionado, los cuales recogen el agua caliente que se utiliza para la climatización. Después, se ingresa esta agua caliente a la torre, la cual se enfría por medio de evaporación antes de regresar al chiller para repetir su ciclo de climatización. (Caloryfrio, 2018)

Dentro de los tipos de sistemas de torre de enfriamiento se encuentra el circuito abierto y el circuito cerrado, donde el abierto permite el contacto del agua con el aire exterior, y el circuito cerrado utiliza un intercambiador de calor que evita el contacto del aire exterior con el agua para ayudar a mantenerla limpia y reducir el uso de filtros o tratamientos para el agua. (Control y Ventilación, 2020)

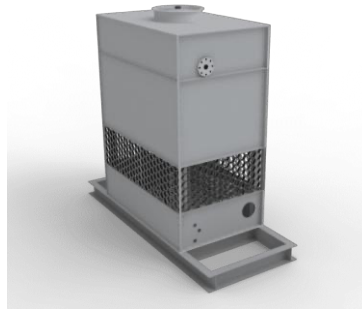


Ilustración 14 Torre de enfriamiento de circuito abierto

(Feiyu Cooling, n.d.)

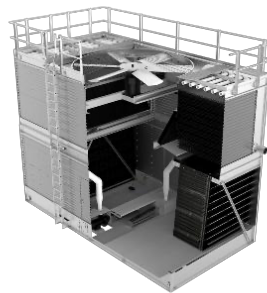


Ilustración 15 Torre de enfriamiento de circuito cerrado

(Baltimore Aircoil Company, n.d.)

4. Marcas líderes en Guatemala

Dentro de las marcas líderes en aires acondicionados que se encuentran en el mercado en Guatemala que ofrecen equipos VRF para el acondicionamiento de edificaciones se pueden encontrar:

a. Lennox

Lennox es una marca reconocida a nivel mundial en el sector de calefacción, ventilación y aire acondicionado, ofreciendo aires acondicionados centrales, mini splits, bombas de calor y sistemas de climatización integrados, destacándose por tener una alta eficiencia energética, tecnología avanzada y confort.

Dentro de sus sistemas aire acondicionado, sus gamas premium pueden alcanzar hasta 28 SEER, lo cual es un Índice de Eficiencia Energética Estacional gracias a su tecnología avanzada que permite tener compresores de velocidad variable, lo cual ayuda a ajustar el rendimiento requerido y optimiza el consumo energético.

b. Samsung

Samsung es una marca reconocida mundialmente, logrando incluirse dentro de la industria del HVAC por medio de sistemas de climatización innovadores y eficientes para aplicaciones residenciales e industriales. Su tecnología avanzada les permite tener altas eficiencias energéticas por medio de la variación de potencia, pero a su vez puede causar que sus mantenimientos sean costosos.

Samsung también se destaca por sus diseños, fabricando diseños estéticos y compactos que permiten adecuarse bien a los interiores donde se instalen, así como también ofrecen una compatibilidad por medio de wifi que les permite tener un monitoreo a tiempo real sobre la instalación.

c. Mitsubishi

Mitsubishi Electric es una de las marcas más reconocidas a nivel mundial en la industria del HVAC, siendo uno de los líderes en desarrollo de sistemas de climatización para el mercado residencial, ofreciendo productos de alta calidad, tecnología avanzada y eficiencia energética.

Dentro de sus equipos de HVAC se puede destacar que ofrecen una operación silenciosa, una filtración y purificación de aire avanzada y una durabilidad que ayuda a requerir de poco mantenimiento y ofrecer una larga vida útil.

G. Certificaciones verdes

1. ¿Qué son las certificaciones verdes?

Los sistemas de certificación son reconocimientos que se otorgan a edificaciones que cumplen con los estándares específicos de la sostenibilidad ambiental, buscando promover prácticas responsables que ayuden a reducir el impacto ambiental y mejorar la salud y el bienestar de los usuarios. Estas certificaciones evalúan diferentes aspectos para otorgar sus respectivos sellos, estos sistemas pueden llegar a evaluar todo el ciclo de vida del edificio, así como centrarse más en sus aspectos de diseño.

Estos sistemas no son obligatorios para la apertura de las edificaciones, pero si son de gran ayuda para asegurar medidas ambientales responsables y mantener un bajo consumo de recursos no renovables.

Dentro de sus beneficios, se encuentra que las certificaciones verdes pueden ayudar a mejorar el posicionamiento de la edificación dentro del mercado y asegura una disminución del uso de recursos naturales para su funcionamiento, provocando reducir la huella de carbono que la edificación emite y mejorando la salud de los usuarios. (Granda 2024)

2. Tipos de certificaciones verdes

a. LEED

La certificación en Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED) es un sistema de certificación de reconocimiento internacional para edificios sustentables creado por el Consejo de Edificación Sustentable de Estados Unidos. Esta certificación procura la eficiencia energética y es consolidada como el sistema de evaluación para edificaciones más amplio del mundo. Entre sus requisitos se pueden encontrar:

- i. Ubicación y transporte: Presta atención a incentivar medios de transportes alternativos.
- ii. Sitios sustentables: Se refiere a los entornos que impactan dentro del entorno exterior.
- iii. Eficiencia del agua: Se basa en el aprovechamiento óptimo del agua.
- iv. Energía y atmósfera: Procura una utilización óptima de la energía, su fuente, y como esta impacta a la comunidad.
- v. Materiales y recursos: Toma en cuenta el origen de los materiales de construcción.
- vi. Calidad de ambiente interior: Se enfoca en el bienestar de los usuarios a través de estrategias.
- vii. Innovación: Se basa en el compromiso constante de la mejora de sus estrategias plantadas.
- viii. Prioridad regional: Tiene la finalidad de eliminar que la huella de carbono debido al transporte de materiales.

b. BREEAM

La certificación BREEAM constituye un procedimiento para la evaluación del rendimiento medioambiental y la certificación de edificios sostenibles extendido a nivel nacional e internacional. Su evaluación se realiza mediante un criterio de créditos que se dividen en nueve grupos diferentes con el fin de premiar las medidas que mejoren el bienestar de los ocupantes y su protección hacia el medio ambiente.

- i. Gestión: Enfoca las guías de funcionamiento y sistema de gestión ambiental.
- ii. Salud y bienestar: Enfoca el confort de los habitantes en áreas como calefacción, iluminación y calidad del aire.
- iii. Energía: Enfoca la minimización de consumos energéticos y la implementación de energías renovables.
- iv. Transporte: Enfoca la ubicación de la parcela, el acceso a transporte público y el acceso a servicios.
- v. Eficiencia en el consumo del agua
- vi. Materiales: Tratamiento de los recursos materiales y el empleo de materiales de bajo impacto ambiental.
- vii. Residuos: Enfoca la reducción de residuos generados en la obra y la explotación del edificio.
- viii. Uso del suelo y ecología: Enfoca la ubicación y tipo de suelo donde se asienta la edificación.
- ix. Contaminación: Enfoca la minimización de la huella de carbono.

(Ovacen, 2021)

c. EDGE

La certificación EDGE es una evaluación para construcciones nuevas o existentes. Creado por la Corporación Financiera Internacional (IFC), esta propone una disminución en la cantidad de recursos utilizados mediante una escala comparativa que toma como base estándares locales.

Esta certificación se divide en tres, cada una con diferentes porcentajes de ahorro que se pueda brindar en las certificaciones, estas son:

- i. Edge certified: 20% de ahorro energético, 20% de ahorro de agua y 20% en energía incorporada a los materiales de la construcción.
- ii. Edge advanced: 40% de ahorro energético, 20% de ahorro de agua y 20% en energía incorporada a los materiales de la construcción.
- iii. Zero carbon: 100% de ahorro energético, 20% de ahorro de agua y 20% en energía incorporada a los materiales de la construcción.

(Bioconstrucción, 2020)

d. WELL

La certificación WELL es una certificación verde reconocida a nivel internacional realizada por la entidad International Well Building Institute (IWBI), donde su iniciativa es crear y diseñar espacios enfocados en el bienestar de las personas y la adaptación de sus espacios para su salud. Sus pautas obligatorias se basan en 10 criterios, los cuales son:

- i. Aire: Asegura mejorar la calidad del aire dentro del edificio.
- ii. Agua: Asegura brindar acceso a agua de alta calidad.
- iii. Alimentación: Asegura brindar un entorno designado a la alimentación saludable.
- iv. Iluminación: Asegura mejorar el confort de los ocupantes.
- v. Movimiento: Asegura fomentar la actividad física y la vida activa.
- vi. Confort térmico: Asegura diseñar un sistema de climatización que beneficie a los usuarios.
- vii. Sonido: Asegura controlar los parámetros acústicos y realizar un diseño correcto.
- viii. Materiales: Asegura utilizar materiales sostenibles.

(Treviño, 2019)

e. CASA

La certificación CASA es una certificación guatemalteca desarrollada por el Guatemala Green Building Council (GGBC) que utiliza los más altos estándares en el sector de la construcción y estándares que son validados en todo el mundo, certificando los proyectos del país y ayudándolos a definirlos como proyectos verdes y sostenibles. Dentro de sus categorías de evaluación tenemos:

- i. Sitio: Selección y manejo adecuado del terreno.
- ii. Agua: Ahorro y uso eficiente del recurso hídrico.
- iii. Energía: Diseño eficiente para la iluminación y los equipos.
- iv. Materiales: Tener una gestión para residuos.
- v. Espacios interiores: Promueve el confort y calidad en los espacios.
- vi. Creatividad: Reconoce la innovación y liderazgo en la sostenibilidad.

Dependiendo el puntaje que la edificación recibe, CASA Guatemala cuenta con 4 tipos de certificación, las cuales son:

- i. Certificado: 20-34 puntos
- ii. 3 estrellas: 35-44 puntos
- iii. 4 estrellas: 45-54 puntos
- iv. 5 estrellas: 55-87 puntos

(CASA Guatemala, 2022)

H. Leyes y normativas en Guatemala

En Guatemala, las leyes y normativas sobre la energía renovable tienen como finalidad el promover el uso de fuentes de energía renovables mediante incentivos fiscales que ayuden a establecer un marco regulatorio para la generación y distribución de energía de este tipo, ayudando así a atraer más inversiones al país. Estas normativas también buscan proteger el medio ambiente, fomentando el desarrollo sostenible y disminuyendo la dependencia hacia los combustibles fósiles.

1. Decreto No.52-2003

El Decreto Número 52-2003 abarca la ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energía renovable en Guatemala considerando la urgencia nacional de electrificar el país mediante la utilización de los recursos naturales y su adaptación necesaria para poder aprovechar al máximo su capacidad.

Esta ley de incentivos tiene como objetivo el poder ayudar a los inversionistas en temas fiscales, exonerando los impuestos de importación, el IVA y el ISR de los equipos, maquinaria y materiales necesarios para realizar el proyecto, promoviendo así la generación de energía mediante el uso de fuentes renovables.

Este decreto también considera que Guatemala cuenta con los recursos naturales suficientes para otorgarle al país una mayor independencia en la compra de combustibles fósiles, y con ello facilitando el suministro de energía eléctrica. También promueve el desarrollo de estos recursos renovables y su aprovechamiento para lograr un equilibrio de las fuentes de energía a mediano y largo plazo, repercutiendo en una mejora en la calidad de vida de la población y de sus ambientes.

(Ministerio de Energía y Minas, 2005)

2. Decreto No.96-2000

El Decreto Número 96-2000 abarca la ley de tarifa social para el suministro de energía eléctrica en Guatemala, considerando que la situación económica del país está agobiando a los estratos más pobres y afectándolos por los incrementos de los costos de producción de energía debido a la dependencia de los productos derivados del petróleo.

Esta ley de la tarifa social tiene como objetivo principal el mejorar el acceso a la electricidad y fomentar la equidad social, objetivos que se logran mediante un subsidio al consumo eléctrico coordinado con las empresas de distribución de energía.

Este decreto también considera que el Estado de Guatemala, como ente impulsor del desarrollo nacional, debe de crear tarifas con carácter social para satisfacer las necesidades sociales y productivas de los habitantes de la república, buscando mejorar el nivel de vida de todos sus habitantes, especialmente, de los más pobres.

(Ministerio de Energía y Minas, 2000)

3. Decreto No.93-96

El Decreto Número 93-96 abarca la ley general de electricidad en Guatemala, considerando que la oferta de energía eléctrica no satisface las necesidades que la mayor parte de la población presenta, volviendo la deficiencia en este sector un obstáculo para el desarrollo del país.

Esta Ley tiene como objetivo el poder incentivar la inversión, tanto pública como privada, en infraestructura para la generación, transmisión y distribución de energía. Para lograrlo, se creó la CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica) y se estableció el AMM (Administrador del Mercado Mayorista).

Este decreto considera también que es de extrema importancia el desmonopolizar el sistema de generación de energía eléctrica para agilizar el crecimiento de la oferta y poder así, satisfacer las necesidades de la población y poder mejorar su nivel de vida, especialmente de los sectores más bajos.

(Ministerio de Energía y Minas, 1996)

4. Acuerdo Gubernativo No.211-2005

El Acuerdo Gubernativo No. 211-2005 considera que el Artículo 7 del Decreto Número 52-2003 del Congreso de la República establece el mandato expreso de emitir el reglamento que permita la calificación y aplicación concreta de las incentivos relacionados, por lo que procede a aprobar la disposición gubernativa correspondiente.

(Ministerio de Energía y Minas, 2005)

5. Acuerdo Gubernativo No.299-98

El Acuerdo Gubernativo No.299-98 abarca el reglamento del administrador del mercado mayorista en Guatemala, considerando que es función del estado el establecer normas que permitan el abastecimiento suficiente y confiable del servicio de energía eléctrica, manteniendo precios accesibles para garantizar un desarrollo social y económico.

(Ministerio de Energía y Minas, 1998)

I. Información de la edificación



Ilustración 16 Vista isométrica Edificio Preda

1. Uso

La edificación se basa en un tipo de obra comercial, donde su uso está diseñado para albergar oficinas y realizar actividades relacionadas a labores administrativos. El propósito del diseño se basa en poder tener espacios funcionales y eficientes donde los usuarios se sientan cómodos y puedan realizar sus labores diarias.

2. Área

La edificación tiene un área de espacio libre de 7,854 m², distribuyéndose en 9 plantas de oficinas, contando el primer nivel, y 369 plazas de parqueo distribuidas en 5 sótanos y 3 niveles de parqueo sobre el suelo. La distribución de las plantas a acondicionar es:

Nivel	Superficie (m ²)
Primer Nivel	868
Nivel 5	784
Niveles 6 al 12	886
Azotea	

Tabla 1 Distribución de los niveles de oficina

Nivel	Plazas de parqueo	Plazas para motocicletas
Sótano 1	46	6
Sótano 2	49	6
Sótano 3	51	7
Sótano 4	51	7
Sótano 5	51	6
Parqueo 2	37	4
Parqueo 3	42	5
Parqueo 4	42	5
Total	369	46

Tabla 2 Distribución de las plazas de parqueo

3. Orientación

El edificio se ubica sobre la 18 calle 20-21 Zona 10, con una orientación frontal hacia el sur.



Ilustración 17 Orientación de la edificación

4. Consideraciones de la edificación

La estructura cuenta con tres distintos tipos de plantas, la primera siendo la del primer nivel, la segunda planta es la del quinto nivel, la cual es más pequeña por la reducción de la huella por altura y también se cuenta con un parque en terraza. La última planta es la planta típica y va de los niveles 6 al 12.

Cada planta cuenta con dos baterías de baños de mujeres y dos baterías de baños de hombres. Cada batería de mujeres del edificio cuenta con 3 inodoros y 2 lavamos, a excepción del primer nivel que cuenta con 3 lavamanos. Las baterías de hombre cuentan con 2 inodoros, 2 mingitorios y 2 lavamanos, a excepción del primer nivel que cuenta con 3 lavamanos.

Para la cantidad de personas que pueden ocupar cada planta se estará utilizando el manual de uso para la norma de reducción de desastres número dos (NRD2), la cual establece que en espacios de oficina el factor de carga de ocupación es de 9.3 metros por persona. Así como también se está buscando una temperatura de confort para los usuarios de 23 °C en la época de verano, donde se utiliza el sistema de aire acondicionado.

La fachada del edificio se conforma por una mezcla de muros de mampostería de block a los costados y el uso de vidrio doble en el frente y el posterior. Cabe mencionar que el vidrio doble se separa en una cara reflectiva, la cual es la que da a la calle, y una transparente en el interior, así como también se cuenta con sifones a lo largo de las fachadas para promover la ventilación cruzada dentro de las plantas.

La azotea del último nivel cuenta con aproximadamente 800 m² de área libre donde es posible instalar los sistemas de aires acondicionados y el sistema de paneles solares para suplir su demanda energética. Estos 800 m² libres no tienen sombra ni instalaciones que puedan intervenir con los sistemas a utilizar.



Ilustración 18 Fachada Sur



Ilustración 19 Fachada Norte



Ilustración 20 Fachada Este



Ilustración 21 Fachada Oeste

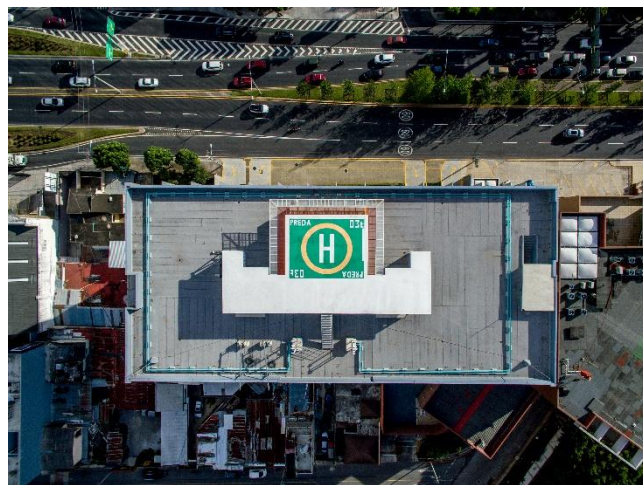


Ilustración 22 Espacio en azotea

J. Cálculo del consumo energético de la edificación

El consumo de la energía de un aire acondicionado se refiere a la cantidad de energía eléctrica que se utiliza para funcionar y mantener un espacio determinado a una temperatura deseada. El consumo de estos sistemas se mide en kilovatios-hora (kWh), y este puede variar dependiendo del tamaño del equipo, las horas de uso, las condiciones climáticas y la eficiencia energética del mismo. (Samara, n.d.)

Es importante mencionar que hay algunas maneras de reducir el consumo de los sistemas de aires acondicionados y aprovechar al máximo su capacidad, algunas de estas maneras son:

- i. Realizar el mantenimiento debido al sistema para mantenerlo limpio y en buen estado.
- ii. Implementar un termostato programable para ajustar las temperaturas del espacio determinado en función de sus horas de ocupación y sus necesidades.
- iii. Aislar de manera correcta los espacios, revisando las fugas de aire en las ventanas y las puertas.
- iv. Implementar cortinas y persianas capaces de bloquear la luz solar para reducir la cantidad de calor que entra al espacio.

1. Variables para calcular el consumo energético

- i. **Potencia (P):** Esta se mide en vatios (W) y se puede encontrar en la etiqueta o manual del equipo.
- ii. **Horas de uso diario (h):** Determina la cantidad de horas que el equipo se utiliza diariamente.
- iii. **Precio de electricidad (c):** Se expresa en quetzales por kilovatio hora (Q/kWh) y se determina en la factura de electricidad.

2. Ecuaciones para calcular el consumo energético

$$\text{Consumo Mensual} = \left(P * \frac{1kW}{1000W} \right) * h * 30 \text{ (días)}$$

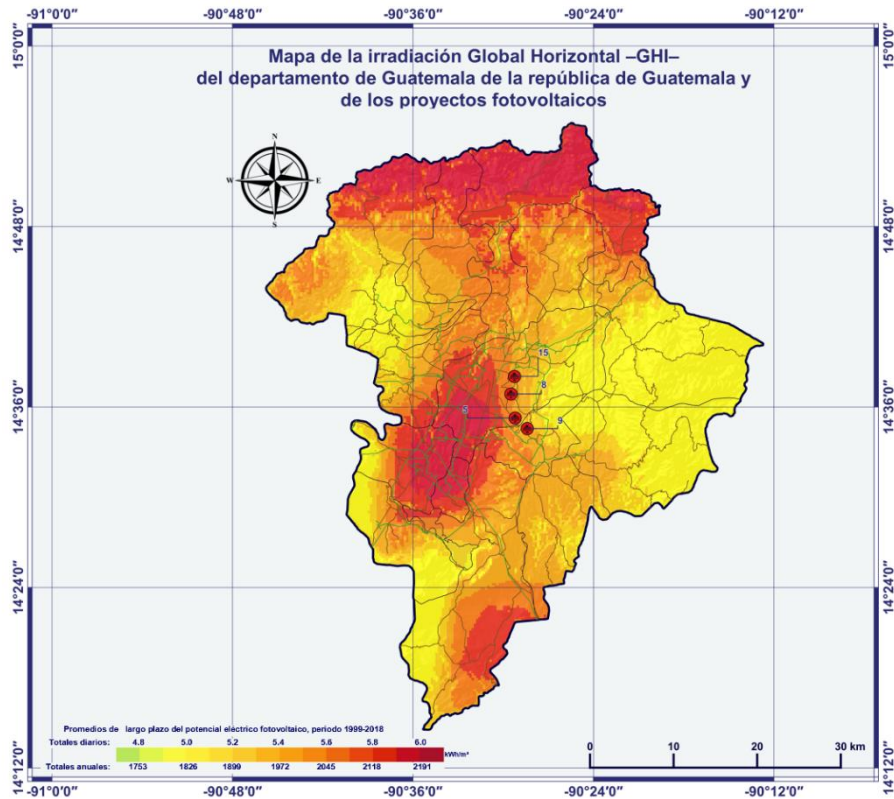
Ecuación 1 Consumo mensual de energía

$$\text{Costo Mensual} = \text{Consumo Mensual} * c$$

Ecuación 2 Costo del consumo mensual

K. Cálculo de las horas de sol en la edificación

Guatemala es un país con un gran potencial solar debido a su posicionamiento geográfico, su valor promedio de radiación solar para todo el país es de 5.3 kWh/m² al día. Estos pueden ser aprovechados con la ayuda del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y su proyecto Solar and Wind Resource Assesment (SWERA), el cual tiene el propósito de minimizar las barreras hacia las energías solares y eólicas y promover el uso de estas. (Ministerio de Energía y Minas, n.d.)



Centrales Fotovoltaicas

No	Proyecto	Potencia MW	Ubicación	
			Departamento	Municipio
5	Paneles solares de generación eléctrica en propiedad residencial de Compañía Guatemalteca de Valores, S.A.	1.92	Guatemala	Guatemala
8	Proyecto Fotovoltaico Sanssouci SA, casa 217, Alameda de Jacarandas 21 -00 zona 16	0.0021	Guatemala	Guatemala
9	Proyecto Domiciliar "Vista del Valle Lote 81"	0.0172	Guatemala	Santa Catarina Pinula
15	Granja Solar La Paz	0.225	Guatemala	Guatemala

Datos del Mapa (rangos mínimos-máximos)			
Variable	Abreviación	Rangos	Unidades
Irradiación global horizontal	GHI	5.03 - 5.86	kWh/m ²
Temperatura del aire	TEMP	15.3 - 22.0	°C
Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos	OPTA	16 - 18	°
Elevación del terreno	ELE	731 - 2060	m

- Centrales Fotovoltaica
- Línea de Transmisión Existente 69kV
- Carreteras

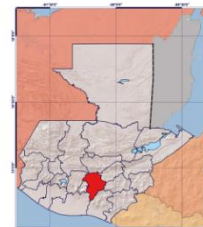


Ilustración 23 Mapa de potencia solar en el departamento de Guatemala

(Ministerio de Energía y Minas, n.d.)

L. Cálculo de la inclinación y orientación preferible para las instalaciones

Para las instalaciones de energía solar renovable, la orientación ideal es las sur (ángulo azimutal 180°). De esta forma, la radiación que reciben los paneles es mayor y su efectividad incrementa, cabe mencionar que el resto de las orientaciones puede llegar a ser igual de rentable y eficiente a excepción de la orientación norte. La inclinación de estas instalaciones debe de ser de 30° aproximadamente para una eficiencia adecuada. (SotySolar, 2023)

M. Software

En cuanto al diseño de un sistema de abastecimiento energético híbrido eólico-solar, existen softwares y herramientas especializadas que ayudan a poder lograr un modelado básico y así poder correr diferentes simulaciones que pueden llegar a ser ventajosos antes de realizar un desarrollo práctico del sistema.

Estas herramientas también funcionan como una referencia metodológica, ayudando a estimar de manera precisa la producción de energía solar en base a la posición del sitio y la inclinación que se le debe dar a los paneles solares.

1. HelioScope

HelioScope es una herramienta de clase mundial capaz de diseñar, analizar y proyectar la energía generada por los sistemas de energía solar instalados, este software también es capaz de diseñar sobre el lugar exacto donde está la instalación y es capaz de calcular su eficiencia en base al movimiento del sol en el punto exacto durante todo el año.

Dentro de las posibilidades a hacer dentro de este software se encuentra:

- i. Diseño 3D de la instalación
- ii. Diagramas unifilares del cableado
- iii. Cobertura meteorológica mundial
- iv. Informes de sombra
- v. Simulaciones financieras

Dentro de sus ventajas, se encuentra la precisión y escalabilidad que ofrece tanto para proyectos residenciales o proyectos comerciales o industriales, también ofrece una facilidad de uso para los equipos que trabajan en conjunto y necesitan tener acceso siempre a la última de versión de los diseños. Por otro lado, este software tiene la desventaja de no ser gratuito, ya que se debe adquirir una suscripción que puede ser justificada por su funcionalidad.

(KeeUI, 2022)

2. Sunny Design

Sunny Design es un software diseñado por SMA Solar Technology, y es una aplicación capaz de visualizar la generación de energía solar y a la vez poder optimizar y controlar los flujos energéticos que se están dando. Facilitando el diseño y la planificación de los sistemas fotovoltaicos.

Dentro de sus posibilidades se encuentran:

- i. Ver la producción y consumo de la energía solar.
- ii. Vista general del consumo de corriente proveniente de la red.
- iii. Ver la huella ecológica.
- iv. Emplear recomendaciones para optimizar el uso de energía.
- v. Reducir el consumo de la red y ahorrar costos de energía.

Este software tiene la ventaja de ser gratuito y flexible en cuanto a la amplia compatibilidad que tiene con los módulos solares, también cuenta con actualizaciones constantes que ayudan a incorporar nuevas tecnologías y normativas al momentos de ser lanzadas.

(SMA Solar, n.d.)

3. OpenSolar

OpenSolar es un software gratuito capaz de realizar diseños en 2D y 3D, calculando automáticamente la inclinación, el acimut y el sombreado del sistema de paneles solares, también brindando la posibilidad de dar detalles de la zona donde se está diseñando, y así poder personalizar el sistema.

Dentro de sus principales características y posibilidades se encuentran:

- i. Ofrece simulaciones para evaluar la producción de energía según la ubicación de la edificación y sus características de sitio.
- ii. Calcula los costos, ahorros y retornos de inversión sobre el sistema solar propuesto.
- iii. Ofrece un soporte para poder ajustarse a las regulaciones y normativas locales que se tengan dentro del país.

Dentro de las ventajas de este software, ofrece la accesibilidad de poder utilizarlo con cualquier tipo de dispositivo que esté conectado al internet, así como una interfaz intuitiva y fácil de usar.

(Opensolar, n.d.)

4. Autodesk Forma

Forma es un software de Autodesk que ofrece herramientas para el diseño conceptual y análisis predictivos para mejorar los resultados de un proyectos. Dentro de este programa basado en la nube se pueden realizar análisis de densidad, de luz solar y el potencial de luz natural, análisis de viento, de microclima y de energía operativa.

Dentro de sus ventajas, se encuentra que este software permite crear volúmenes en 3D que se pueden ubicar en el terreno en tiempo real, haciendo los resultados de los análisis más certeros y dando una información más detallada del análisis del sitio entorno a la edificación que se tiene o que se quiere realizar.

(Editeca, 2023)

V. METODOLOGÍA

En el presente estudio de investigación cuantitativa, se busca diseñar un sistema de energía híbrido eólico-solar capaz de abastecer el consumo energético del sistema de aires acondicionados en una edificación destinada a oficinas, con el objetivo de reducir la huella de carbono del edificio sin comprometer el confort de los usuarios.

La primera etapa de este trabajo implica el dimensionamiento del sistema de aire acondicionado necesario, considerando las características del espacio a climatizar. Estos aspectos incluyen las dimensiones del área en metros cuadrados, la altura del techo, la orientación del espacio, la altitud, la exposición solar, el aislamiento del edificio y la cantidad de ventanas que se tienen por planta.

Dentro de la primera etapa, el dimensionamiento del sistema de aire acondicionado necesario se logra por medio del cálculo la carga térmica del espacio, así como las fuentes de calor internas y externas que inciden en él, como equipos electrónicos, iluminación, ocupantes y electrodomésticos. Con esta información, se elige el tipo de sistema de aire acondicionado centralizado que mejor se adapte a las necesidades del espacio y la carga térmica calculada.

La segunda etapa implica el cálculo de la capacidad de refrigeración requerida por los equipos de condensación de aire acondicionado utilizando fórmulas específicas. Para esta etapa también se utilizarán tablas que ayudan a considerar los aspectos de la edificación, como los tipos de muros, tipo de ventanería y cantidad de usuarios por nivel.

En la tercera fase, se diseña el sistema de distribución de aire dentro de las plantas, garantizando una distribución uniforme del aire y aprovechar al máximo las capacidades del sistema de aire acondicionado seleccionado. Aquí se busca que la distribución del aire permita mantener la misma temperatura de confort dentro de todo el espacio de la planta, minimizando pérdidas.

La cuarta etapa consiste en dimensionar un sistema híbrido eólico-solar para el consumo energético generado por el sistema de aire acondicionado. Se tiene en cuenta la combinación óptima entre paneles solares y turbinas eólicas, considerando la variabilidad de la radiación solar, la velocidad del viento, la superficie disponible para instalar el sistema, y la misma eficiencia de los equipos, también tomando en cuenta la huella de carbono que estos generan puestos en Guatemala y su costo. En esta etapa también se utilizarán softwares específicos que ayudan a tener un predimensionamiento de la capacidad del sistema en el área disponible.

Finalmente, la última fase del estudio implica el uso de factores de emisión estándar para fuentes de generación renovable, calculando la cantidad de emisiones de carbono equivalente asociadas a todas las actividades mencionadas. Se compara la huella de carbono del proyecto con la generación de energía eléctrica a partir de fuentes convencionales, evaluando su impacto ambiental relativo en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y el retorno de inversión que se tendría al momento de instalar un sistema de estos, buscando destacar el impacto positivo que este tipo de proyectos puede llegar a representar.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Cálculos y resultados

Análisis de carga térmica del nivel 01

Muro Norte

Datos Muro Norte N1		
Ancho	187.22	ft
Alto	12.46	ft
Área	2333.54	ft ²
Orientación	Norte	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura Interior	73.4	F
Temperatura Exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 3 Datos muro norte

$$\text{Área} = \text{Ancho} * \text{Alto}$$

Ecuación 3 Área del muro

$$\Delta T = T_{\text{Exterior}} - T_{\text{Interior}}$$

Ecuación 4 Cambio de temperatura

Diferencial de calor				Ganancia de calor (Muro Norte N1)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	-2	7.2	5.2	4853.763	Btu/h
10:00 AM	-2	7.2	5.2	4853.763	Btu/h
12:00 AM	-2	7.2	5.2	4853.763	Btu/h
2:00 PM	0	7.2	7.2	6720.595	Btu/h
4:00 PM	6	7.2	13.2	12321.09	Btu/h
6:00 PM	10	7.2	17.2	16054.76	Btu/h

Tabla 4 Ganancia de calor muro norte

$$\Delta T_{\text{Efectivo}} = \Delta t - \Delta T$$

Ecuación 5 Cambio de temperatura efectivo

$$Q = U * \text{Área} * \Delta T_{\text{Efectivo}}$$

Ecuación 6 Ganancia de calor

Muro este

Datos muro este N1		
Ancho	57.33	ft
Alto	12.46	ft
Área	714.616	ft ²
Orientación	Este	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 5 Datos del muro este primer nivel

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro este N1)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	4	7.2	11.2	3201.48	Btu/h
10:00 AM	4	7.2	11.2	3201.48	Btu/h
12:00 AM	6	7.2	13.2	3773.172	Btu/h
2:00 PM	6	7.2	13.2	3773.172	Btu/h
4:00 PM	6	7.2	13.2	3773.172	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	4344.865	Btu/h

Tabla 6 Ganancia de calor muro este del primer nivel

Muro oeste

Datos muro oeste N1		
Ancho	51.69	ft
Alto	12.46	ft
Área	644.2991	ft ²
Orientación	Oeste	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 7 Datos del muro oeste primer nivel

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro oeste N1)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	6	7.2	13.2	3401.899	Btu/h
10:00 AM	6	7.2	13.2	3401.899	Btu/h
12:00 AM	8	7.2	15.2	3917.338	Btu/h
2:00 PM	10	7.2	17.2	4432.778	Btu/h
4:00 PM	10	7.2	17.2	4432.778	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	3917.338	Btu/h

Tabla 8 Ganancia de calor muro oeste del primer nivel

Muro sur

Datos muro sur N1		
Ancho	187.22	ft
Alto	12.46	ft
Área	1440.933	ft ²
Orientación	Sur	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 9 Datos del muro sur primer nivel

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro sur N1)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	6	7.2	13.2	7608.127	Btu/h
10:00 AM	6	7.2	13.2	7608.127	Btu/h
12:00 AM	8	7.2	15.2	8760.873	Btu/h
2:00 PM	10	7.2	17.2	9913.62	Btu/h
4:00 PM	10	7.2	17.2	9913.62	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	8760.873	Btu/h

Tabla 10 Ganancia de calor muro sur del primer nivel

Ancho ventana	103.02	Ft
Alto ventana	8.66	ft
Área ventana	892.6069	ft ²

Tabla 11 Datos ventana muro sur del primer nivel

$$\text{Área venatna} = \text{Ancho} * \text{Largo}$$

Ecuación 7 Área ventana

Ft (Factor de transmitancia)	1
C1 (Factor aplicable)	1
C2 (Factor aplicable)	0
FS (Fracción de ganancia)	1

Tabla 12 Factores de transmitancia de la ventana muro sur del primer nivel

Hora	q	X	Y	Q Vidrio (muro sur N1)	
8:00 AM	-2	-2	2	-5355.64	Btu/h
10:00 AM	5	5	14	7140.855	Btu/h
12:00 AM	14	14	19	23207.78	Btu/h
2:00 PM	18	18	16	30348.63	Btu/h
4:00 PM	17	17	4	28563.42	Btu/h
6:00 PM	13	13	1	21422.56	Btu/h

Tabla 13 Ganancia de calor de la ventana muro sur del primer nivel

$$Q_{\text{vidrio}} = ((q - 2) * Ft + (X * C1) + (Y * C2) * FS) * \text{Área}_{\text{venatana}}$$

Ecuación 8 Ganancia de calor de la venatana

Ganancia total (Nivel 01)		
Hora	Q	
8:00 AM	2252.486	Btu/h
10:00 AM	14748.98	Btu/h
12:00 AM	31968.65	Btu/h
2:00 PM	40262.25	Btu/h
4:00 PM	38477.04	Btu/h
6:00 PM	30183.44	Btu/h

Tabla 14 Ganancia de calor total del muro sur del primer nivel

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{Muro}} + Q_{\text{vidrio}}$$

Ecuación 9 Ganancia de calor total con ventana

Cálculo de las personas

Datos personas N1		
Actividad	Discipación	
Actividades en oficina	600	Btu/h
Área efectiva del nivel	868.00	mt2
Factor de m2 por persona en oficinas	9.3	
Cantidad de personas	94.0	

Tabla 15 Datos de las personas en primer nivel

$$Cantidad\ de\ personas = \frac{Área_{Efectiva}}{Factor}$$

Ecuación 10 Cálculo de usuarios máximos por nivel

Hora	Personas	Calor Q (Personas N1)	
8:00 AM	94.0	56400	Btu/h
10:00 AM	94.0	56400	Btu/h
12:00 AM	94.0	56400	Btu/h
2:00 PM	94.0	56400	Btu/h
4:00 PM	94.0	56400	Btu/h
6:00 PM	94.0	56400	Btu/h

Tabla 16 Calor de las personas en primer nivel

$$Calor_Q = \#Personas * Actividades_{Oficina}$$

Ecuación 11 Calor de las personas

Calor del equipo

Datos equipo instalado N1		
Tipo	Consumo	
Luminarias	30	kW
Computadoras (94)	26.32	kW
Impresoras (47)	1.97	kW
Refrigeradora (2)	1.6	kW
Televisores de 85" (4)	0.988	kW
Cafetera (2)	3.4	kW

Tabla 17 Datos del consumo de los equipos instalados en el primer nivel

Total	64.282	kW
	219394.5	Btu/h

Tabla 18 Calor generado por los equipos instalados en el primer nivel

$$Total_{kW} = \sum_{Consumo}$$

Ecuación 12 Demanda energética en kW

$$Total_{Btu/h} = \sum_{Consumo} * 3413$$

Ecuación 13 Calor generado por el equipo

Hora	Calor Q (Equipos N1)	
8:00 AM	219394.5	Btu/h
10:00 AM	219394.5	Btu/h
12:00 AM	219394.5	Btu/h
2:00 PM	219394.5	Btu/h
4:00 PM	219394.5	Btu/h
6:00 PM	219394.5	Btu/h

Tabla 19 Calor generado por los equipos instalados en el primer nivel

Infiltración

Velocidad viento	5	mph
Bulbo seco	80.6	F
Bulbo húmedo	73	F
Vol específico	18.46	ft3/lb
Coef. Transf. Calor U	0.4	Btu/(h*ft2*F)
Aire entra	6	ft3/h/ft
Endidura	103.02	ft
Aire total	618.15	ft3/h
Calor	58.83	Btu/h

33.48585	lb/h
----------	------

Tabla 20 Datos de infiltración de ventana en el primer nivel

$$Aire_{Total} = Aire_{Entra} * Endidura$$

Ecuación 14 Aire que se filtra por la endidura de la ventana

$$\text{Conversión aire total} = \text{Aire}_{\text{Total}} * \text{Vol}_{\text{Específico}}$$

Ecuación 15 Libras de aire que se filtran en la ventana por hora

$$\text{Calor} = \text{Conversión aire total} * 0.244 * \Delta T$$

Ecuación 16 Calor por infiltración

Hora	Calor Q (Infiltración N1)	
8:00 AM	58.83	Btu/h
10:00 AM	58.83	Btu/h
12:00 AM	58.83	Btu/h
2:00 PM	58.83	Btu/h
4:00 PM	58.83	Btu/h
6:00 PM	58.83	Btu/h

Tabla 21 Calor que entra al primer nivel por infiltración

Resumen

Hora	Total (N1)	
8:00 AM	289562.92	Btu/h
10:00 AM	302059.42	Btu/h
12:00 AM	320366.22	Btu/h
2:00 PM	331042.09	Btu/h
4:00 PM	334857.37	Btu/h
6:00 PM	330353.69	Btu/h

28	Toneladas
-----------	------------------

Tabla 22 Resumen primer nivel

$$\text{Toneladas} = \frac{\sum \text{Btu/h}}{12,000}$$

Ecuación 17 Cantidad de toneladas de refrigeración

Análisis de carga térmica del nivel 05

Muro norte (muro cortina)

Datos muro norte N5		
Ancho ventana	149.08	ft
Alto Ventana	12.46	ft
Área Ventana	1858.08	ft ²
Orientación	Norte	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F

Tabla 23 Datos del muro cortina en el muro norte quinto nivel

Ft	0.85
C1	0.6
C2	0.1
FS	1

Tabla 24 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro norte del quinto nivel

Hora	q	X	Y	Q Vidrio (muro norte N5)	
8:00 AM	-2	-2	2	-8175.57	Btu/h
10:00 AM	5	5	3	2880.029	Btu/h
12:00 AM	14	14	3	17094.37	Btu/h
2:00 PM	18	18	3	23411.85	Btu/h
4:00 PM	17	17	3	21832.48	Btu/h
6:00 PM	13	13	4	15515	Btu/h

Tabla 25 Ganacia de calor del muro cortina en el muro norte del quinto nivel

Muro este

Datos muro este N5		
Ancho	71.77	ft
Alto	12.46	ft
Área	894.50	ft ²
Orientación	Este	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 26 Datos del muro este quinto nivel

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro este N5)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	4	7.2	11.2	4007.34	Btu/h
10:00 AM	4	7.2	11.2	4007.34	Btu/h
12:00 AM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
2:00 PM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
4:00 PM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	5438.54	Btu/h

Tabla 27 Ganancia de calor del muro este quinto nivel

Muro oeste

Datos muro oeste N5		
Ancho	71.77	ft
Alto	12.46	ft
Área	894.50	ft ²
Orientación	Oeste	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 28 Datos del muro oeste en el quinto nivel

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro oeste N5)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
10:00 AM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
12:00 AM	8	7.2	15.2	5438.54	Btu/h
2:00 PM	10	7.2	17.2	6154.14	Btu/h
4:00 PM	10	7.2	17.2	6154.14	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	5438.54	Btu/h

Tabla 29 Ganancia de calor del muro oeste en quinto nivel

Muro sur (muro cortina)

Datos muro sur N5		
Ancho Ventana	149.08	ft
Alto Ventana	12.46	ft
Área Ventana	1858.08	ft ²
Orientación	Sur	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F

Tabla 30 Datos del muro cortina en el muro sur del quinto nivel

Ft	0.85
C1	0.6
C2	0.1
FS	1

Tabla 31 Factores de transmitancia del muro cortina del muro sur del quinto nivel

Hora	q	X	Y	Q Vidrio (muro sur N5)	
8:00 AM	-2	-2	2	-8175.57	Btu/h
10:00 AM	5	5	14	2880.029	Btu/h
12:00 AM	14	14	19	17094.37	Btu/h
2:00 PM	18	18	16	23411.85	Btu/h
4:00 PM	17	17	4	21832.48	Btu/h
6:00 PM	13	13	1	15515	Btu/h

Tabla 32 Ganancia de calor del muro cortina en el muro sur del quinto nivel

Calor de las personas

Datos personas N5		
Actividad	Discipación	
Actividades en oficina	600	Btu/h

Área efectiva del nivel	782.00	mt ²
Factor de m ² por persona en oficinas	9.3	
Cantidad de personas	85.0	

Tabla 33 Datos de las personas en quinto nivel

Hora	Personas	Calor Q (Personas N5)	
8:00 AM	85.0	51000	Btu/h
10:00 AM	85.0	51000	Btu/h
12:00 AM	85.0	51000	Btu/h
2:00 PM	85.0	51000	Btu/h
4:00 PM	85.0	51000	Btu/h
6:00 PM	85.0	51000	Btu/h

Tabla 34 Ganancia de calor de las personas en quinto nivel

Calor del equipo

Datos equipos N5		
Tipo	Consumo	
Luminarias	26.5	kW
Computadoras (85)	23.8	kW
Impresoras (43)	1.81	kW
Refrigeradora (2)	1.6	kW
Televisores de 85" (4)	0.988	kW
Cafetera (2)	3.4	kW

Tabla 35 Datos del equipo instalado en el quinto nivel

Total	58.094	kW
	198274.822	Btu/h

Tabla 36 Demanda energética del equipo instalado en quinto nivel

Hora	Calor Q (equipo N5)	
8:00 AM	198274.8	Btu/h
10:00 AM	198274.8	Btu/h
12:00 AM	198274.8	Btu/h
2:00 PM	198274.8	Btu/h
4:00 PM	198274.8	Btu/h
6:00 PM	198274.8	Btu/h

Tabla 37 Ganancia de calor del equipo instalado en quinto nivel

Infiltración

Velocidad viento	5	mph	
Bulbo seco	80.6	F	
Bulbo húmedo	73	F	
Vol específico	18.46	ft ³ /lb	
Coef. Transf. Calor U	0.44	Btu/(h*ft ² *F)	
Aire entra	6	ft ³ /h/ft	
Endidura	149.08	ft	
Aire total	894.46	ft ³ /h	
Calor	85.12	Btu/h	

48.453738	lb/h
-----------	------

Tabla 38 Datos de infiltración de ventana en quinto nivel (Sifón)

Hora	Calor Q (infiltración N5)	
8:00 AM	85.12	Btu/h
10:00 AM	85.12	Btu/h
12:00 AM	85.12	Btu/h
2:00 PM	85.12	Btu/h
4:00 PM	85.12	Btu/h
6:00 PM	85.12	Btu/h

Tabla 39 Ganancia de calor por infiltración en quinto nivel

Resumen

Hora	Total (N5)	
8:00 AM	241739.10	Btu/h
10:00 AM	263850.29	Btu/h
12:00 AM	293710.16	Btu/h
2:00 PM	307060.72	Btu/h
4:00 PM	303901.98	Btu/h
6:00 PM	291267.01	Btu/h

26	Toneladas
----	-----------

Tabla 40 Resumen quinto nivel

Análisis de carga térmica niveles 06 al 11

Muro norte (muro cortina)

Datos muro norte N6-N11		
Ancho Ventana	153.67	ft
Alto Ventana	12.46	ft
Área Ventana	1915.32	ft ²
Orientación	Norte	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F

Tabla 41 Datos del muro cortina en el muro norte de los niveles 06-11

Ft	0.85
C1	0.6
C2	0.1
FS	1

Tabla 42 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro norte de los niveles 06-11

Hora	q	X	Y	Q Vidrio (muro norte N6-N11)	
8:00 AM	-2	-2	2	-8427.4	Btu/h
10:00 AM	5	5	3	2968.743	Btu/h
12:00 AM	14	14	3	17620.93	Btu/h
2:00 PM	18	18	3	24133.01	Btu/h
4:00 PM	17	17	3	22504.99	Btu/h
6:00 PM	13	13	4	15992.9	Btu/h

Tabla 43 Ganancia de calor del muro cortina en el muro norte de los niveles 06-11

Muro este

Datos muro este N6-N11		
Ancho	71.77	ft
Alto	12.46	ft
Área	894.50	ft ²
Orientación	Este	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 44 Datos del muro este en los niveles 06-11

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro este N6-N11)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	4	7.2	11.2	4007.34	Btu/h
10:00 AM	4	7.2	11.2	4007.34	Btu/h
12:00 AM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
2:00 PM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
4:00 PM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	5438.54	Btu/h

Tabla 45 Ganancia de calor del muro este en los niveles 06-11

Muro oeste

Datos muro oeste N6-N11		
Ancho	71.77	ft
Alto	12.46	ft
Área	894.50	ft ²
Orientación	Oeste	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 46 Datos del muro oeste en los niveles 06-11

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro oeste N6-N11)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
10:00 AM	6	7.2	13.2	4722.94	Btu/h
12:00 AM	8	7.2	15.2	5438.54	Btu/h
2:00 PM	10	7.2	17.2	6154.14	Btu/h
4:00 PM	10	7.2	17.2	6154.14	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	5438.54	Btu/h

Tabla 47 Ganancia de calor del muro oeste en los niveles 06-11

Muro sur (muro cortina)

Datos muro sur N6-N11		
Ancho ventana	153.67	ft
Alto Ventana	12.46	ft
Área Ventana	1915.32	ft ²
Orientación	Sur	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F

Tabla 48 Datos del muro cortina en el muro sur de los niveles 06-11

Ft	0.85
C1	0.6
C2	0.1
FS	1

Tabla 49 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro sur de los niveles 06-11

Hora	q	X	Y	Q Vidrio (muro sur N6-N11)	
8:00 AM	-2	-2	2	-8427.4	Btu/h
10:00 AM	5	5	14	2968.743	Btu/h
12:00 AM	14	14	19	17620.93	Btu/h
2:00 PM	18	18	16	24133.01	Btu/h
4:00 PM	17	17	4	22504.99	Btu/h
6:00 PM	13	13	1	15992.9	Btu/h

Tabla 50 Ganancia de calor del muro cortina en el muro sur de los niveles 06-11

Calor de las personas

Datos personas N6-N11		
Actividad	Discipación	
Actividades en oficina	600	Btu/h

Área efectiva del nivel	886.00	mt ²
Factor de m ² por persona en oficinas	9.3	
Cantidad de personas	96.0	

Tabla 51 Datos de las personas en los niveles 06-11

Hora	Personas	Calor Q (personas N6-N11)	
8:00 AM	96.0	57600	Btu/h
10:00 AM	96.0	57600	Btu/h
12:00 AM	96.0	57600	Btu/h
2:00 PM	96.0	57600	Btu/h
4:00 PM	96.0	57600	Btu/h
6:00 PM	96.0	57600	Btu/h

Tabla 52 Ganancia de calor de las personas en los niveles 06-11

Calor del equipo

Datos equipo N6-N11		
Tipo	Consumo	
Luminarias	31	kW
Computadoras (96)	26.88	kW
Impresoras (48)	2.02	kW
Refrigeradora (2)	1.6	kW
Televisores de 85" (4)	0.988	kW
Cafetera (2)	3.4	kW

Tabla 53 Datos del equipo instalado en los niveles 06-11

Total	65.884	kW
	224862.092	Btu/h

Tabla 54 Demanda energética de los equipos instalados en los niveles 06-11

Hora	Calor Q (equipos N6-N11)	
8:00 AM	224862.1	Btu/h
10:00 AM	224862.1	Btu/h
12:00 AM	224862.1	Btu/h
2:00 PM	224862.1	Btu/h
4:00 PM	224862.1	Btu/h
6:00 PM	224862.1	Btu/h

Tabla 55 Ganancia de calor por los equipos instalados en los niveles 06-11

Infiltración

Velocidad viento	5	mph
Bulbo seco	80.6	F
Bulbo húmedo	73	F
Vol específico	18.46	ft ³ /lb
Coef. Transf. Calor U	0.44	Btu/(h*ft ² *F)
Aire entra	6	ft ³ /h/ft
Endidura	153.67	ft
Aire total	922.01	ft ³ /h
Calor	87.75	Btu/h

49.946262	lb/h
-----------	------

Tabla 56 Datos de infiltración de la ventana instalada en los niveles 06-11 (Sifón)

Hora	Calor Q Infiltración N6-N11	
8:00 AM	87.75	Btu/h
10:00 AM	87.75	Btu/h
12:00 AM	87.75	Btu/h
2:00 PM	87.75	Btu/h
4:00 PM	87.75	Btu/h
6:00 PM	87.75	Btu/h

Tabla 57 Ganancia de calor por la infiltración en los niveles 06-11

Resumen

Hora	Total (N6-N11)	
8:00 AM	274425.32	Btu/h
10:00 AM	297217.61	Btu/h
12:00 AM	327953.17	Btu/h
2:00 PM	341692.93	Btu/h
4:00 PM	338436.89	Btu/h
6:00 PM	325412.72	Btu/h

29	Toneladas
----	-----------

Tabla 58 Resumen de los niveles 06-11

Análisis de carga térmica del nivel 12

Muro norte (muro cortina)

Datos muro norte N12		
Ancho ventana	153.67	ft
Alto ventana	14.76	ft
Área ventana	2268.14	ft ²
Orientación	Norte	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F

Tabla 59 Datos del muro cortina en el muro norte del doceavo nivel

Ft	0.85
C1	0.6
C2	0.1
FS	1

Tabla 60 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro norte del doceavo nivel

Hora	q	X	Y	Q vidrio (muro norte N12)	
8:00 AM	-2	-2	2	-9979.81	Btu/h
10:00 AM	5	5	3	3515.617	Btu/h
12:00 AM	14	14	3	20866.89	Btu/h
2:00 PM	18	18	3	28578.56	Btu/h
4:00 PM	17	17	3	26650.64	Btu/h
6:00 PM	13	13	4	18938.97	Btu/h

Tabla 61 Ganancia de calor del muro cortina en el muro norte del doceavo nivel

Muro este

Datos muro este N12		
Ancho	71.77	ft
Alto	14.76	ft
Área	1059.27	ft ²
Orientación	Este	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 62 Datos del muro este en el doceavo nivel

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro este N12)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	4	7.2	11.2	4745.54	Btu/h
10:00 AM	4	7.2	11.2	4745.54	Btu/h
12:00 AM	6	7.2	13.2	5592.96	Btu/h
2:00 PM	6	7.2	13.2	5592.96	Btu/h
4:00 PM	6	7.2	13.2	5592.96	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	6440.37	Btu/h

Tabla 63 Ganancia de calor del muro este del doceavo nivel

Muro oeste

Datos muro oeste N12		
Ancho	71.77	ft
Alto	14.76	ft
Área	1059.27	ft ²
Orientación	Oeste	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F
U (Block de 8" con estuco, alisado en interior)	0.40	Btu/(h*ft ² *F)

Tabla 64 Datos del muro oeste del doceavo nivel

Diferencial de calor				Ganancia de calor (muro oeste N12)	
Hora	ΔT	Δt	Δt Efectivo	Q	
8:00 AM	6	7.2	13.2	5592.96	Btu/h
10:00 AM	6	7.2	13.2	5592.96	Btu/h
12:00 AM	8	7.2	15.2	6440.37	Btu/h
2:00 PM	10	7.2	17.2	7287.79	Btu/h
4:00 PM	10	7.2	17.2	7287.79	Btu/h
6:00 PM	8	7.2	15.2	6440.37	Btu/h

Tabla 65 Ganancia de calor del muro oeste del doceavo nivel

Muro sur (muro cortina)

Datos muro sur N12		
Ancho ventana	153.67	ft
Alto ventana	14.76	ft
Área ventana	2268.14	ft ²
Orientación	Sur	
Color Ext.	Ligero	
Temperatura interior	73.4	F
Temperatura exterior	80.6	F
ΔT	7.2	F

Tabla 66 Datos del muro cortina en el muro sur del doceavo nivel

Ft	0.85
C1	0.6
C2	0.1
FS	1

Tabla 67 Factores de transmitancia del muro cortina en el muro sur del doceavo nivel

Hora	q	X	Y	Q Vidrio (muro sur N12)	
8:00 AM	-2	-2	2	-9979.81	Btu/h
10:00 AM	5	5	14	3515.617	Btu/h
12:00 AM	14	14	19	20866.89	Btu/h
2:00 PM	18	18	16	28578.56	Btu/h
4:00 PM	17	17	4	26650.64	Btu/h
6:00 PM	13	13	1	18938.97	Btu/h

Tabla 68 Ganancia de calor del muro cortina en el muro sur del doceavo nivel

Calor de las personas

Datos personas N12		
Actividad	Discipación	
Actividades en oficina	600	Btu/h

Área efectiva del nivel	886.00	mt ²
Factor de m ² por persona en oficinas	9.3	
Cantidad de personas	96.0	

Tabla 69 Datos de las personas del doceavo nivel

Hora	Personas	Calor Q (personas N12)	
8:00 AM	96.0	57600	Btu/h
10:00 AM	96.0	57600	Btu/h
12:00 AM	96.0	57600	Btu/h
2:00 PM	96.0	57600	Btu/h
4:00 PM	96.0	57600	Btu/h
6:00 PM	96.0	57600	Btu/h

Tabla 70 Ganancia de calor de las personas en el doceavo nivel

Calor del equipo

Datos equipo N12		
Tipo	Consumo	
Luminarias	31	kW
Computadoras (96)	26.88	kW
Impresoras (48)	2.02	kW
Refrigeradora (2)	1.6	kW
Televisores de 85" (4)	0.988	kW
Cafetera (2)	3.4	kW

Tabla 71 Datos de los equipos instalados en el doceavo nivel

Total	65.884	kW
	224862.092	Btu/h

Tabla 72 Consumo energético de los equipos instalados en el doceavo nivel

Hora	Calor Q (equipo N12)	
8:00 AM	224862.1	Btu/h
10:00 AM	224862.1	Btu/h
12:00 AM	224862.1	Btu/h
2:00 PM	224862.1	Btu/h
4:00 PM	224862.1	Btu/h
6:00 PM	224862.1	Btu/h

Tabla 73 Ganancia de calor de los equipos instalados en el doceavo nivel

Infiltración

Velocidad viento	5	mph	
Bulbo seco	80.6	F	
Bulbo húmedo	73	F	
Vol específico	18.46	ft3/lb	
Coef. Transf. Calor U	0.44	Btu/(h*ft2*F)	
Aire entra	6	ft3/h/ft	
Endidura	153.67	ft	
Aire total	922.01	ft3/h	
Calor	87.75	Btu/h	

49.946262	lb/h
-----------	------

Tabla 74 Datos de infiltración por ventana en el doceavo nivel (Sifón)

Hora	Calor Q (Infiltración N12)	
8:00 AM	87.75	Btu/h
10:00 AM	87.75	Btu/h
12:00 AM	87.75	Btu/h
2:00 PM	87.75	Btu/h
4:00 PM	87.75	Btu/h
6:00 PM	87.75	Btu/h

Tabla 75 Ganancia de calor de infiltración en el doceavo nivel

Resumen

Hora	Total (N12)	
8:00 AM	272928.70	Btu/h
10:00 AM	299919.57	Btu/h
12:00 AM	336316.94	Btu/h
2:00 PM	352587.71	Btu/h
4:00 PM	348731.87	Btu/h
6:00 PM	333308.52	Btu/h

30	Toneladas
----	-----------

Tabla 76 Resumen del doceavo nivel

Resumen del sistema de acondicionamiento de aire necesario

Nivel	Btu/h	Toneladas de condensación por nivel
1	334857.37	28
5	307060.72	26
6	341692.93	29
7	341692.93	29
8	341692.93	29
9	341692.93	29
10	341692.93	29
11	341692.93	29
12	352587.71	30

Tabla 77 Cantidad de toneladas de refrigeración requeridas por nivel

Condensadora 01	Condensadora 02	Toneladas Totales
210000	120000	28
150000	150000	25
210000	120000	28
210000	120000	28
210000	120000	28
210000	120000	28
210000	120000	28
210000	120000	28
210000	120000	28
210000	150000	30

Tabla 78 Cantidad de toneladas instaladas por nivel

$$\text{Toneladas Totales} = \frac{\text{Condensadora 1} + \text{Condensadora 2}}{12,000 \text{ Btu/h}}$$

Ecuación 18 Toneladas totales por nivel

Consumo (A)	Potencia (kW)	Horas de uso (h)	Consumo energético (kWh)
57	11.856	8	94.85
60	12.48	8	99.84
75	15.6	8	124.80
75	15.6	8	124.80
75	15.6	8	124.80
75	15.6	8	124.80
75	15.6	8	124.80
75	15.6	8	124.80
75	15.6	8	124.80
85	17.68	8	141.44
Total			1084.93

Tabla 79 Consumo energético diario de las condensadoras

$$Potencia = Consumo * \frac{208}{1000}$$

Ecuación 19 Potencia de las condensadoras

$$Consumo\ energético = Potencia * horas\ de\ uso$$

Ecuación 20 Consumo energético diario por condensadora

Análisis del sistema solar fotovoltaico

Panel solar	Jinko Tiger Neo 625-650 W	
Potencia máxima	650	W
Factor de seguridad	1.25	
V max	48.33	V
I mp	13.45	A
G	-0.29	%/°C
Largo	2.465	m
Ancho	1.134	m
T noct	45	°C
T amb	21	°C

Tabla 80 Datos del panel solar Jinko Tiger Neo 625-650W

$$T_{amb} = \frac{T_{Invierno} + T_{Verano}}{2}$$

Ecuación 21 Temperatura ambiente

Horas solares pico		
GHI	5.724	kWh/m2
HSP	5.724	h

Tabla 81 Horas solares pico

$$HSP = \frac{GHI * 1000}{1000}$$

Ecuación 22 Cálculo de las horas solares pico

Temperatura operación		
Tc	52.25	°C

Tabla 82 Temperatura de operación del panel marca Jinko

$$Tc = T_{amb} + (T_{noct} - 20) * \left(\frac{GHI}{800}\right) * \left(\frac{1000}{HSP}\right)$$

Ecuación 23 Cálculo de la temperatura de operación del panel

Cálculo Ppmc		
Ppmc	598.63	W

Tabla 83 Ppmc del panel marca Jinko

$$P_{pmc} = P_{m\acute{a}x} * \left(1 + \left(\frac{G}{100} \right) * (T_c - 25) \right)$$

Ecuación 24 Cálculo Ppmc

Pérdida por panel		
ΔP	51.37	W

Tabla 84 Pérdida de potencia por panel marca Jinko

$$\Delta P = P_{m\acute{a}x} - P_{pmc}$$

Ecuación 25 Cálculo de la pérdida de potencia por panel

Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire		
E	1084.93	kWh

Tabla 85 Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire

Número de paneles necesarios	
MFV	396.00

Tabla 86 Número de paneles solares marca Jinko para suplir la demanda energética

$$MFV = \frac{(E * 1000) * FS}{HSP * P_{pmc}}$$

Ecuación 26 Cálculo del número de paneles necesarios para suplir la demanda energética

Panel solar	Panasonic Evervolt HK Black Series 410 W	
Potencia máxima	410	W
Factor de seguridad	1.25	
V max	42.2	V
I mp	9.72	A
G	-0.26	%/°C
Largo	1.821	m
Ancho	1.016	m
T noct	44	°C
T amb	21	°C

Tabla 87 Datos del panel solar Panasonic Evervolt HK Black Series 410 W

Horas solares pico		
GHI	5.724	kWh/m ²
HSP	5.724	h

Tabla 88 Horas solares pico

Temperatura crítica		
Tc	51.00	°C

Tabla 89 Temperatura de operación del panel marca Panasonic

Cálculo Ppmc		
Ppmc	382.28	W

Tabla 90 Ppmc del panel marca Panasonic

Cálculo pérdida por panel		
ΔP	27.716	W

Tabla 91 Pérdida de potencia por panel marca Panasonic

Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire		
E	1084.93	kWh

Tabla 92 Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire

Número de paneles necesarios		
MFV	620.00	

Tabla 93 Cantidad de paneles solares marca Panasonic necesarios para suplir la demanda energética

Panel solar	Maxeon Performance 6 UPP, 530-555 W	
Potencia máxima	555	W
Factor de seguridad	1.25	
V max	40	V
I mp	13.89	A
G	-0.34	%/°C
Largo	2.384	m
Ancho	1.092	m
T noct	41.5	°C
T amb	21	°C

Tabla 94 Datos del panel solar tipo Maxeon Performance 6 UPP, 530-555W

Horas solares pico		
GHI	5.724	kWh/m2
HSP	5.724	h

Tabla 95 Horas solares pico

Temperatura crítica		
Tc	47.88	°C

Tabla 96 Temperatura de operación del panel marca Maxeon

Cálculo Ppmc		
Ppmc	511.83	W

Tabla 97 Ppmc del panel marca Maxeon

Cálculo pérdida por panel		
ΔP	43.17	W

Tabla 98 Pérdida de potencia del panel marca Maxeon

Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire		
E	1084.93	kWh

Tabla 99 Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire

Número de paneles necesarios		
MFV	463.00	

Tabla 100 Cantidad de paneles solares marca Maxeon para cubrir la demanda energética

Diseño e inclinación de los paneles solares Jinko Tiger Neo 625-650 W

Ciudad de Guatemala		
Hemisferio	Norte	
Latitud	14.64	°
Radianes latitud	0.26	rad
Inclinación azotea	0	°
Radianes azotea	0	rad
Radianes	1.06	rad

Tabla 101 Datos ciudad de Guatemala

h1	3.385	m
d1	0.345	m
Dt	2.979	m

Tabla 102 Altura y distanciamiento entre paneles solares

$$h1 = L * \cos(\text{Rad}_{\text{Latitud}}) + 1 \text{ m}$$

Ecuación 27 Cálculo altura del panel

$$d1 = \frac{L * (\sin(\text{Rad}_{\text{Latitud}}))}{\tan(\text{Rad}_{\text{Azotea}})}$$

Ecuación 28 Cálculo de distancia entre columnas

$$dt = L * \left(\frac{\sin(\text{Rad}_{\text{latitud}}) - \sin(\text{Rad}_{\text{Azotea}})}{\tan(\text{Rad}_{\text{Azotea}} - \text{Rad}_{\text{Latitud}})} \right) + \cos(\text{Rad}_{\text{Latitud}} - \text{Rad}_{\text{Azotea}})$$

Ecuación 29 Cálculo de distancia entre filas

Área	3.770	m2
Área Total	1492.88	m2

Tabla 103 Área del sistema de paneles solares

$$A = (d1 + dt) * \text{Ancho}$$

Ecuación 30 Cálculo del área necesaria por panel solar

$$A_{\text{Total}} = \text{MFV} * A$$

Ecuación 31 Cálculo del área total del sistema de paneles solares

Cálculo de inversores necesarios

Inversor	Huawei SUN200-25KTL-MB0	
Potencia máxima	25000	W
V max	800	V
I mp	30	A

Tabla 104 Datos del inversor Huawei SUN200-25KTL-MB0

Panel serie	16
Panel paralelo	2

Tabla 105 Paneles en serie y paralelo para el inversor marca Huawei

$$Panel_{Serie} = \frac{V_{max_{Inversor}}}{V_{max_{Panel}}}$$

Ecuación 32 Posibles paneles instalados en serie

$$Panel_{Paralelo} = \frac{I_{mp_{Inversor}}}{I_{mp_{Panel}}}$$

Ecuación 33 Posibles paneles instalados en paralelo

Paneles máximos	39
Total paneles por MPPT	32
Cantidad de MPPT's	2
Paneles totales	64

Tabla 106 Paneles totales que se pueden instalar por inversor marca Huawei

$$Paneles_{Máximos} = \frac{P_{max_{Inversor}}}{P_{max_{Panel}}}$$

Ecuación 34 Paneles máximos por potencia

$$Cantidad\ de\ paneles\ por\ MPPT = Panel_{Serie} * Panel_{Paralelo}$$

Ecuación 35 Cantidad de paneles por cada línea del inversor

$$Paneles\ totales\ por\ inversor = Cantidad\ de\ paneles\ por\ MPPT * Cantidad\ de\ MPPT$$

Ecuación 36 Cantidad de paneles por inversor

Total de Inversores	7
---------------------	---

Tabla 107 Total de inversores marca Huawei necesarios

$$Total_{Inversores} = \frac{MFV}{Paneles\ totales\ por\ inversor}$$

Ecuación 37 Cantidad de inversores necesarios

Inversor	Sungrow SG6KD	
Potencia máxima	7800	W
V max	600	V
I mp	20	A

Tabla 108 Datos del inversor Sungrow SG6KD

Panel serie	14
Panel paralelo	2

Tabla 109 Paneles en serie y paralelo para el inversor marca Sungrow

Paneles máximos	20
Total paneles	28
Cantidad de MPPT's	2
Paneles totales	56

Tabla 110 Paneles totales por cada inversor marca Sungrow

Total de inversores	15
---------------------	----

Tabla 111 Total de inversores marca Sungrow

Inversor	Growatt MAX 75KTL3	
Potencia máxima	75000	W
V max	550	V
I mp	40	A

Tabla 112 Datos del inversor Growatt MAX 75KTL3

Panel serie	13
Panel paralelo	2

Tabla 113 Paneles en serie y paralelo para inversor marca Growatt

Paneles máximos	136
Total paneles	26
Cantidad de MPPT's	8
Paneles totales	208

Tabla 114 Paneles totales por cada inversor marca Growatt

Total de inversores	2
---------------------	---

Tabla 115 Total de inversores marca Growatt

Análisis del sistema eólico

Turbina eólica	Tesup Atlas (10kW)	
Diámetro	0.46	m
Área (con aspas adecuadas)	0.17	m ²
Altura (hag)	50	m
Factor de seguridad	1.25	

Tabla 116 Datos turbina eólica Tesup Atlas 10 kW

Presión del aire (P)	101.325	Kpa
Temperatura del aire (T)	292.35	K
Constante de gas (R)	0.287	kPa*m ³ /kg*K

Tabla 117 Datos del viento en Ciudad de Guatemala

Rugosidad (Lo)	0.8	m
Velocidad conocida (Vo)	3.83	m/s
Altura conocida (ho)	47.4	m
Densidad del viento (ρ)	1.21	kg/m ³
Tiempo que se mantiene constante (t)	14.88	h

Tabla 118 Datos del viento en Ciudad de Guatemala según sus rosas

$$V_o = V_{Conocida} * 0.7$$

Ecuación 38 Cálculo de la velocidad del viento conocida

$$h_o = h_{Edificio} + h_{Turbina}$$

Ecuación 39 Cálculo de la altura real

$$\rho = \frac{P}{T * R}$$

Ecuación 40 Cálculo de la densidad del viento

$$t = 24 * 0.62$$

Ecuación 41 Cálculo del tiempo donde el viento se mantiene constante

Velocidad real (Vag)	3.78	m/s
Flujo másico (m)	0.76	kg/s
Potencia eólica (W)	5.40	kW

Tabla 119 Potencia eólica de la turbina marca Tesup

$$Vag = \frac{Vo * Ln(\frac{ho}{Lo})}{Ln(\frac{hag}{Lo})}$$

Ecuación 42 Cálculo de la velocidad del viento real

$$m = \rho * A_{Turbina} * Vag$$

Ecuación 43 Cálculo del flujo másico

$$W = \frac{1.2041 * A_{Turbina} * Vag^3}{2}$$

Ecuación 44 Cálculo de la potencia eólica

Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire		
E	1084.93	kWh

Tabla 120 Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire

Número de aerogeneradores		
Cantidad de aerogeneradores		17.00

Tabla 121 Número de aerogeneradores marca Tesup requeridos para suplir la demanda energética

$$Cantidad\ de\ aerogeneradores = \frac{E * FS}{W * t}$$

Ecuación 45 Cálculo de la cantidad de turbinas eólicas requeridas para suplir la demanda energética

Distancia entre columnas		
Distancia columnas	0.92	m

Tabla 122 Distancia entre columna para aerogeneradores marca Tesup

$$D_{Columnas} = 2(Diámetro_{Turbina})$$

Ecuación 46 Cálculo de la distancia entre columnas de los aerogeneradores

Distancia entre filas		
Distancia filas	3.68	m

Tabla 123 Distancia entre filas para aerogeneradores marca Tesup

$$D_{Filas} = 8 * Diámetro_{Turbina}$$

Ecuación 47 Cálculo de la distancia entre filas de los aerogeneradores

Turbina eólica	Enair 200	
Diámetro	9.80	m
Área	75.43	m ²
Altura (hag)	50	m
Factor de seguridad	1.25	

Tabla 124 Datos de la turbina eólica Enair 200

Presión del aire (P)	101.325	Kpa
Temperatura del aire (T)	292.35	K
Constante de gas (R)	0.287	kPa*m ³ /kg*K

Tabla 125 Datos del viento en ciudad de Guatemala

Rugosidad (Lo)	0.8	m
Velocidad conocida (Vo)	4.38	m/s
Altura conocida (ho)	15	m
Densidad del viento (ρ)	1.21	kg/m ³
Tiempo que se mantiene constante (t)	14.88	h

Tabla 126 Datos del viento en ciudad de Guatemala según sus rosas

Velocidad real (Vag)	6.17	m/s
Flujo másico (m)	562.34	kg/s
Potencia eólica (W)	20	kW

Tabla 127 Potencia eólica de la turbina marca Enair

Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire		
E	1084.93	kWh

Tabla 128 Número de aerogeneradores marca Tesup requeridos para suplir la demanda energética

Número de aerogeneradores		
Cantidad de aerogeneradores	5.00	

Tabla 129 Número de aerogeneradores marca Enair requeridos para suplir la demanda energética

Distancia entre columnas		
Distancia columnas	19.6	m

Tabla 130 Distancia entre columnas para el aerogenerador marca Enair

Distancia entre filas		
Distancia filas	78.4	m

Tabla 131 Distancia entre filas para el aerogenerador marca Enair

Turbina eólica	Leading Edge v150	
Diámetro	0.27	m
Área	0.06	m ²
Altura (hag)	50	m
Factor de seguridad	1.25	

Tabla 132 Datos de la turbina eólica Leading Edge v150

Presión del aire (P)	101.325	Kpa
Temperatura del aire (T)	292.35	K
Constante de gas (R)	0.287	kPa*m ³ /kg*K

Tabla 133 Datos del viento en ciudad de Guatemala

Rugosidad (Lo)	0.8	m
Velocidad conocida (Vo)	4.38	m/s
Altura conocida (ho)	1	m
Densidad del viento (ρ)	1.21	kg/m ³
Tiempo que se mantiene constante (t)	14.88	h

Tabla 134 Datos del viento en ciudad de Guatemala según sus rosas

Velocidad real (Vag)	81.09	m/s
Flujo másico (m)	5.61	kg/s
Potencia eólica (W)	0.2	kW

Tabla 135 Potencia eólica de la turbina marca Leading Edge

Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire		
E	1084.93	kWh

Tabla 136 Número de aerogeneradores marca Leading Edge requeridos para suplir la demanda energética

Número de aerogeneradores		
Cantidad de aerogeneradores	456.00	

Tabla 137 Número de aerogeneradores marca Leading Edge requeridos para suplir la demanda energética

Distancia entre columnas		
Distancia columnas	0.54	m

Tabla 138 Distancia entre columnas para el aerogenerador marca Leading Edge

Distancia entre filas		
Distancia filas	2.16	m

Tabla 139 Distancia entre filas para el aerogenerador marca Leading Edge

Análisis de la huella de carbono

Huella de carbono generada		
Potencia instalada	135.62	kW
Horas de uso diario	8	h
Días de uso anuales	365	días
Consumo anual	396010.4	kWh/año
Emisiones generadas por cada kWh	0.41	kgCO ₂ /kWh
Huella de carbono generada	162364.26	kgCO ₂ /año

Tabla 140 Huella de carbono generada por el consumo energético del sistema de acondicionamiento de aire

$$\text{Consumo anual} = \text{Potencia}_{\text{instalada}} * h * 365$$

Ecuación 48 Consumo anual del sistema de acondicionamiento de aire

$$\text{Huella de carbono generada} = \text{Consumo anual} * \text{Emisiones generadas por kW}$$

Ecuación 49 Huella de carbono generada por el consumo energético anual

Distribución del sistema

Demanda energética del sistema de acondicionamiento de aire

E	1084.93	kWh
---	---------	-----

Tabla 141 Número de aerogeneradores marca Leading Edge requeridos para suplir la demanda energética

Paneles solares instalados	55
----------------------------	----

Tipo de panel solar	Jinko Tiger Neo 625-650 W	
Potencia generada	150.7	kWh
Área necesaria	207.34	m2

Tabla 142 Cantidad de paneles solares marca Jinko instalados y su potencia

$$Potencia\ generada = MFV_{Instalados} * Potencia_{panel}$$

Ecuación 50 Potencia generada por el sistema de paneles solares

Inversores instalados	2
-----------------------	---

Tipo de inversor	Huawei SUN200-25KTL-MB0	
Potencia máxima	25000	W

Tabla 143 Cantidad de inversores marca Huawei instalados y su potencia

Turbinas eólicas instaladas	15
-----------------------------	----

Tipo de turbina	Tesup Atlas (10kW)	
Potencia generada	964.65	kWh

Tabla 144 Cantidad de turbinas eólicas marca Tesup instaladas y su potencia

$$Potencia\ generada = Turbinas_{Instaladas} * Potencia_{Turbina}$$

Ecuación 51 Potencia generada por el sistema de turbinas eólicas

Total de potencia generada	1115.35	kWh
----------------------------	---------	-----

Tabla 145 Total de potencia generada por el sistema híbrido

$$Total\ de\ potencia\ generada = Potencia\ generada_{Paneles} + Potencia\ generada_{Turbinas}$$

Ecuación 52 Total de potencia generada por el sistema híbrido

Cálculo del costo de inversión y el tiempo de retorno

Costo aire acondicionado				
Equipo		Costo unitario por nivel	Cantidad	Costo total
Nivel 01	GTQ	141,009.00	1	GTQ 141,009.00
Nivel 05	GTQ	139,618.00	1	GTQ 139,618.00
Nivel 06	GTQ	141,009.00	1	GTQ 141,009.00
Nivel 07	GTQ	141,009.00	1	GTQ 141,009.00
Nivel 08	GTQ	141,009.00	1	GTQ 141,009.00
Nivel 09	GTQ	141,009.00	1	GTQ 141,009.00
Nivel 10	GTQ	141,009.00	1	GTQ 141,009.00
Nivel 11	GTQ	141,009.00	1	GTQ 141,009.00
Nivel 12	GTQ	156,410.00	1	GTQ 156,410.00
Total				GTQ 1,283,091.00

Tabla 146 Costo Inicial del sistema de acondicionamiento de aire VRF marca Lennox

$$\text{Costo total} = \text{Costo unitario} * \text{Cantidad}$$

Ecuación 53 Cálculo del costo total del equipo

Costo paneles solares e inversores				
Equipo		Costo unitario	Cantidad	Costo total
Paneles solares	GTQ	0.93	32924.86	GTQ 30,462.08
Inversores	GTQ	47,500.00	2	GTQ 95,000.00
Total				GTQ 125,462.08

Tabla 147 Costo del sistema de generación de energía solar

Costo turbinas eólicas				
Equipo		Costo unitario	Cantidad	Costo total
Turbinas	GTQ	5,822.67	15	GTQ 87,340.05
Total				GTQ 87,340.05

Tabla 148 Costo del sistema de generación de energía eólico

Costo total de inversión	GTQ 1,495,893.13
---------------------------------	-------------------------

Tabla 149 Costo total del sistema de acondicionamiento de aire y el sistema de generación de energía híbrido

$$\text{Costo total de inversión} = \text{Costo}_{A/C} + \text{Costo}_{\text{Sistema solar}} + \text{Costo}_{\text{Sistema eólico}}$$

Ecuación 54 Costo total de la inversión

Retorno de inversión diario	
Costo de inversión	GTQ 1,495,893.13
Cantidad de kWh requeridos	1084.96 kWh
Costo por kWh de energía	GTQ 1.39
Ahorro diario	GTQ 1,508.09

Tabla 150 Ahorro diario con base en el costo de la energía consumida

$$\text{Ahorro diario} = \text{Costo}_{kWh} * \text{Cantidad}_{kWh}$$

Ecuación 55 Ahorro diario al no comprar energía

Retorno de inversión marginal	36.80%
Tasa de inflación	7%
Retorno de inversión real	29.80%

Tabla 151 Retorno de inversión real

Tiempo de recuperación real	1225	días
	41	meses
	3.36	años

Tabla 152 Tiempo de recuperación de la inversión inicial

$$\text{Tiempo de recuperación en días} = \frac{\text{Costo de la inversión}}{\text{Ahorro diario}}$$

Ecuación 56 Tiempo de recuperación en días

$$\text{Tiempo de recuperación en años} = \frac{\text{Tiempo de recuperación en días}}{365}$$

Ecuación 57 Tiempo de recuperación en años

B. Discusión de los resultados

Análisis de carga térmica

Para determinar la carga de refrigeración requerida en cada nivel de oficinas del edificio, se consideraron diversos factores, entre ellos, la infiltración de aire a través de las ventanas y muros cortina mediante de sus sifones, los usuarios estimados por nivel y los equipos en operación, así como el tipo de muros perimetrales que conforman la fachada del edificio.

En el primer nivel, se calculó una carga de 28 toneladas de condensación para mantener una temperatura interior de 23 °C. Esto corresponde a una relación de 31 m² por tonelada de refrigeración, lo cual se considera eficiente dado que el nivel cuenta con una altura de 3.80 m y puede albergar hasta 94 personas según los lineamientos establecidos por CONRED.

Para el quinto nivel, se determinó una carga de 26 toneladas de refrigeración, sin embargo, debido a las capacidades disponibles en los equipos de condensación en Guatemala, únicamente fue posible instalar 25 toneladas. Aun así, se mantiene una relación de 31 m² por tonelada de refrigeración similar a la del primer nivel. Este nivel también presenta una altura de 3.80 m entre losas y puede albergar hasta 85 personas conforme a la normativa de CONRED que establece 9.30 m² por persona en áreas de oficina.

Los niveles 06 al 11 son considerados las plantas típicas del edificio, donde cada uno dispone de 886 m² de área útil, una altura de losa a losa de 3.80 m, una capacidad máxima de operación de hasta 86 personas y una carga de refrigeración de 29 toneladas. Con esta carga de condensación calculada, se tiene una relación de 30 m² por tonelada de refrigeración. Debido a las limitaciones en la oferta local de sistemas de condensación, únicamente se instalaron 28 toneladas en cada una de las plantas, elevando la relación a 32 m² por tonelada de refrigeración, pero aun así manteniéndose dentro de un rango aceptable.

El nivel 12 presenta una diferencia significativa en comparación con los niveles típicos, teniendo una altura de losa a losa de 4.50 m con el objetivo de compensar la pérdida de altura por el paso de tuberías de drenaje provenientes de azotea. Este nivel mantiene la misma capacidad operativa de hasta 96 personas y requiere una carga de 30 toneladas de condensación, manteniéndose en línea con los demás niveles en una relación de 30 m² por tonelada de refrigeración.

Es importante señalar que a partir del nivel 05, la infiltración de aire se calculó únicamente considerando los sifones del muro cortina ubicado en la fachada norte, debido a que el viento predominante en la Ciudad de Guatemala proviene en esa dirección. En contraste, en el primer nivel se consideró la infiltración tomando en cuenta la longitud del muro de vidrio templado de la fachada sur.

Análisis del sistema solar fotovoltaico

El diseño del sistema de generación de energía solar fotovoltaico se basó utilizando la demanda energética previamente calculada por el sistema de acondicionamiento de aire diseñado para la edificación, la cual asciende a 1,084.96 kWh.

Para dimensionar adecuadamente la capacidad de generación de energía de cada panel y determinar la cantidad necesaria para cubrir dicha demanda, se consideraron inicialmente las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes. Entre los parámetros analizados se incluyen la potencia máxima, voltaje, amperaje, factores de pérdidas energéticas y dimensiones físicas de los paneles. Asimismo, se incorporaron datos del sitio de instalación, como las horas promedio de sol disponibles al día, la temperatura ambiente y la irradiancia solar promedio.

Con esta información fue posible calcular la producción energética promedio de cada panel, estimar las pérdidas de eficiencia debido a las condiciones locales, y finalmente determinar el número de módulos fotovoltaicos requeridos para abastecer en su totalidad el consumo del sistema de acondicionamiento de aire.

Para asegurar mayor precisión en el análisis, se evaluaron tres tipos distintos de paneles solares, considerando no solo su capacidad de generación, sino su vida útil, su costo y huella de carbono. Entre los módulos evaluados, el panel solar marca Jinko, modelo Tiger Neo 625-650 W, demostró ser la mejor opción. Este requería un total de 396 módulos para cubrir completamente la demanda energética establecida.

Una vez determinada la cantidad de módulos necesarios, se procedió al cálculo del ángulo de inclinación óptimo para maximizar su rendimiento, así como del área requerida para su instalación adecuada. El análisis arrojó una necesidad de 1,492.88 m² de superficie disponible, con una inclinación de 14.64°. Adicionalmente, se consideró una elevación de 1 m respecto al nivel de instalación, con el fin de facilitar labores de mantenimiento sin necesidad de desmontar los módulos.

Con la cantidad de paneles, su orientación y disposición ya definidos, se procedió a dimensionar el sistema de inversores requerido. Para ello, se evaluaron varias marcas tomando en cuenta su potencia nominal, voltaje y amperaje de entrada, número de líneas disponibles, costos y disponibilidad en el mercado nacional.

En la etapa inicial del diseño, el inversor Growatt modelo MAX 75KTL3 resultó ser el más eficiente para el sistema completo de 396 paneles, requiriéndose únicamente dos unidades. No obstante, al redefinir la distribución del sistema dentro de un esquema híbrido, la cantidad de paneles necesarios se redujo, lo que llevó a reconsiderar la elección del inversor. Finalmente, se optó por el modelo SUN2000-25KTL-MB0 de la marca Huawei, debido a su capacidad técnica, menor costo y mayor adaptabilidad al nuevo diseño del sistema.

Análisis del sistema eólico

El diseño del sistema de generación de energía eólica también se fundamentó en la demanda energética previamente calculada para el sistema de acondicionamiento de aire de la edificación, estimada en 1,084.96 kWh.

Para la selección de las turbinas eólicas que formarían parte del sistema híbrido, se evaluaron parámetros como la potencia nominal, precio y disponibilidad en el mercado. Sin embargo, el criterio determinante fue la altura total del aerogenerador y el diámetro de su rotor, debido a la presencia de un helipuerto en la edificación, el cual debe cumplir con los requisitos establecidos por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) para conservar su operatividad. Bajo estas restricciones, se seleccionó el modelo Atlas 10kW de la marca Tesup.

Para dimensionar correctamente el número de aerogeneradores necesarios para suplir la totalidad de la demanda energética del sistema de climatización, se tomaron en cuenta diversos factores propios de la Ciudad de Guatemala, tales como la presión atmosférica, temperatura media, rugosidad del terreno, densidad del aire, velocidad del viento y flujo másico. Además, se utilizaron las rosas de viento correspondientes para ajustar los valores de generación en función de la dirección y frecuencia del viento en el sitio específico de instalación.

Considerando todos estos factores, se determinó que cada aerogenerador tendría una producción efectiva promedio de 5.40 kW, en lugar de los 10kW especificados por el fabricante en condiciones ideales. Como resultado, se estimó que se requerirían 17 aerogeneradores para cubrir completamente la demanda energética.

Posteriormente, se calcularon las distancias mínimas requeridas entre filas y columnas de aerogeneradores, necesarias para evitar interferencias aerodinámicas y garantizar un rendimiento óptimo. Estas distancias no representaron una limitación, ya que el espacio disponible en el muro perimetral de la azotea y su altura permiten instalar incluso más unidades de las necesarias.

Tanto el sistema fotovoltaico como el sistema eólico representan un avance significativo hacia la sostenibilidad del edificio. Su implementación contribuye a la reducción de la huella de carbono, disminuye la emisión de gases de efecto invernadero y reduce la dependencia de combustibles fósiles como fuente primaria de energía, promoviendo así el desarrollo sostenible tanto de la edificación como del país.

Análisis del sistema de generación de energía híbrido

Para realizar una distribución óptima entre los paneles solares y las turbinas eólicas, se consideraron factores clave como la capacidad de generación energética de cada tecnología, el área requerida para su instalación y el espacio disponible en la azotea de la edificación.

Dado que el edificio cuenta con un helipuerto autorizado por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), se estableció como restricción que ninguna instalación debía superar la altura de la plataforma de aterrizaje. Además, no se podía ocupar ni interferir el área destinada al helipuerto, con el fin de mantener su operatividad conforme a las regulaciones vigentes.

Dentro del espacio útil de la azotea, fue posible instalar 55 módulos fotovoltaicos, 2 inversores y 15 aerogeneradores. La disposición de estos equipos se realizó respetando las distancias mínimas requeridas entre filas y columnas, garantizando además el acceso libre y seguro para personal autorizado y técnicos encargados de mantenimiento.

La combinación de los módulos fotovoltaicos y los aerogeneradores permitió conformar un sistema híbrido de generación de energía capaz de producir 1,115.35 kWh, valor que supera la demanda energética requerida por el sistema de acondicionamiento de aire, estimada en 1,084.96 kWh.

Con el fin de optimizar la conexión eléctrica y facilitar el mantenimiento, se implementaron dos subsistemas fotovoltaicos, aprovechando que la edificación cuenta con dos ductos eléctricos independientes. Esta decisión permitió una mejor distribución de la carga y una mayor eficiencia en la conducción de la energía. Del mismo modo, los aerogeneradores se distribuyeron en dos líneas separadas, cada una conectada a través de un ducto independiente.

En cuanto al espacio requerido por las unidades condensadoras del sistema de aire acondicionado, estas se ubicaron en la terraza del quinto nivel. Esta decisión permitió liberar completamente el área de la azotea para la instalación del sistema híbrido, al mismo tiempo que favoreció una mejor distribución del gas refrigerante hacia los niveles que requieren acondicionamiento térmico.

Análisis de la huella de carbono generada

El cálculo de la huella de carbono generada por el sistema de acondicionamiento de aire instalado en la edificación se realizó en función de la potencia total de los equipos de condensación, las horas de operación diaria y el número de días de uso al año.

La estimación del consumo energético anual resultante fue de 396,010.40 kWh/año. Este valor se multiplicó por el factor de emisión promedio de la red eléctrica, correspondiente a 0.41 kgCO₂/kWh, obteniéndose una emisión total de 162,364.26 kgCO₂/año.

Aunque esta cifra puede no parecer elevada en términos absolutos, resulta significativa al considerar que un árbol adulto absorbe en promedio 150 kgCO₂ por año. Por lo tanto, serían necesarios aproximadamente 1,083 árboles para compensar completamente dicha emisión anual.

Gracias a la implementación del sistema de generación híbrido eólico-solar capaz de abastecer el 100% del consumo energético del sistema de climatización, esta huella de carbono se reduce a prácticamente 0 kgCO₂/año. Esto representa no solo una mejora sustancial en el desempeño ambiental de la edificación, sino también una contribución directa a la mitigación del cambio climático, asegurando condiciones térmicas de confort para los ocupantes de forma sostenible y responsable con el medio ambiente.

Análisis del costo inicial de inversión y el retorno

Para estimar el costo inicial de inversión del sistema de acondicionamiento de aire y del sistema híbrido de generación de energía eólico-solar, se consideraron los precios de los equipos involucrados y el costo por kWh de energía eléctrica vigente en la Empresa Eléctrica de Guatemala para el año 2025. Con base en estos datos, se calculó el período necesario para que el sistema de generación compense, en términos económicos, la inversión inicial realizada.

En primer lugar, se solicitó una cotización a una empresa local especializada en sistemas de climatización, obteniendo un costo total de GTQ 1,283,091.00 para las condensadoras requeridas por el edificio.

Para el sistema de generación de energía híbrido, se consideraron costos unitarios de los componentes principales: Paneles solares: GTQ 0.93 por cada kWh generado. Inversores: GTQ 47,500.00 por unidad. Aerogeneradores: GTQ 5,822.67 por unidad. La suma de estos componentes da como resultado un costo total de GTQ 212,802.13 para el sistema híbrido de generación.

Es importante aclarar que no se incluyeron en esta estimación los costos asociados a los equipos de evaporación distribuidos en los niveles, ni los costos de tuberías y cableado tanto para el sistema de climatización como para el sistema de generación. Aun así, el costo total de inversión inicial combinada asciende a GTQ 1,495,893.13.

Con una demanda energética diaria de 1,084.96 kWh para el sistema de climatización, y considerando que el precio promedio del kWh suministrado por la Empresa Eléctrica de Guatemala es de GTQ 1.39, el sistema híbrido representa un ahorro diario de GTQ 1,508.09.

Este ahorro implica un retorno de inversión (ROI) en aproximadamente 2.72 años, lo que se traduce en un retorno anual del 36.80%. Este porcentaje representa una tasa altamente favorable, especialmente si se consideran los años de vida útil de los equipos y el ahorro acumulado que puede generarse en el largo plazo.

VIII. CONCLUSIONES

- El diseño del sistema híbrido eólico-solar permitió abastecer el 100% de la demanda energética del sistema de aire acondicionado de una edificación de oficinas ubicada en la Zona 10 de la Ciudad de Guatemala. Este sistema fue dimensionado para mantener una temperatura de confort de 23 °C, lo que requirió una capacidad total de 251 toneladas de evaporación y un consumo diario estimado de 1,084.96 kWh. La implementación del sistema renovable de energía garantiza condiciones térmicas óptimas durante toda la jornada operativa y elimina por completo la huella de carbono asociada al consumo energético del sistema de aire acondicionado.
- El sistema de energía híbrido eólico-solar está compuesto por 55 paneles solares Jinko Solar de 650 W, 2 inversores Huawei SUN200-25KTL-MB0 y 15 aerogeneradores Tesup Atlas de 10 kW, logrando una generación energética diaria estimada de 1,135 kWh, suficiente para cubrir completamente la demanda del sistema de acondicionamiento.
- El sistema propuesto, incluyendo las unidades de condensación y el sistema de generación híbrido eólico-solar, representa una inversión total de GTQ 1,495,893.13, con un retorno estimado de 34 meses gracias a un ahorro diario de GTQ 1,508.09 en consumo eléctrico, lo que se traduce a una tasa de retorno anual del 29.80%. Además, la implementación de este sistema permite una reducción total de la huella de carbono emitida por la edificación, pasando de 162,364.26 kgCO₂/año a 0 kgCO₂/año, contribuyendo de una forma significativa a los objetivos de sostenibilidad y mitigación del cambio climático, como también evidenciando su viabilidad técnica y económica.

IX. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que todos los equipos utilizados para la instalación cuenten con representación y soporte técnico en Guatemala, a fin de garantizar la disponibilidad de repuestos, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y el cumplimiento de las garantías ofrecidas por los fabricantes.
- No se recomienda instalar paneles solares adicionales ni turbinas eólicas de mayor altura en la azotea, ya que esta área está destinada a un helipuerto, y cualquier modificación que exceda los límites establecidos podría infringir las normativas de la Dirección General de la Aeronáutica Civil (DGAC) y comprometer su autorización.
- Se sugiere que en futuros estudios se incluyan los costos de instalación de tuberías, cableados y equipos de evaporación del aire acondicionado, dado que estos sistemas pueden variar en función de la distribución arquitectónica de las plantas de los niveles de oficina y afecten el presupuesto total, aunque estos no modifiquen la cantidad de condensación requerida por el sistema.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Czajkowski, J. D. (2006, October 15). *Ahorro de energía en refrigeración de edificios para viviendas y propuesta de indicadores de eficiencia y valores admisibles*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/88038>
- EnergyGO, B. (2022, November 8). 5 apps para sacarle todo el partido a la energía solar | Blog EnergyGO. *Blog EnergyGO*. <https://blog.energygo.es/5-apps-para-sacarle-todo-el-partido-a-la-energia-solar/>
- Evans, J. M. (2002). *Energía en edificios: identificación de alternativas de diseño de bajo impacto*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/80195>
- Integración de energías renovables en edificios*. (n.d.). Google Books. https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=_A7zDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=energia+renovable+en+edificios&ots=FWbz-Tba1b&sig=_nPK1o_Vg1DJaJC_g4A3624O79I&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true
- Manual práctico de certificación energética de edificios (Serie energías renovables)*. (n.d.). Google Books. https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=utedDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=energia+renovable+en+edificios&ots=xbTUthoDK1&sig=nmese8CeXz0HW9IpyebpqTLxhWc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Treviño, C. U. (2019). Certificación LEED México. *Bioconstrucción Y Energía Alternativa* -. <https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/>
- Ventilación, S. (2017, June 30). *Cómo edificar con criterios de sostenibilidad y eficiencia energética*. El Blog De La Ventilación Inteligente. <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/como-edificar-con-criterios-de-sostenibilidad-y-eficiencia-energetica/>
- Energía hidráulica: qué es, cómo funciona y sus ventajas*. (n.d.). Endesa. <https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/energia-hidraulica>
- Energía solar – MEM*. (n.d.). <https://mem.gob.gt/que-hacemos/area-energetica/energias-renovables/energia-solar/>
- Factorenergia, E. T. E. (2023, June 8). *Energía eólica: cómo funciona y sus ventajas* | factorenergia. Factorenergia. <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>
- Fundación Aequae. (2021, June 22). *¿Qué es la energía solar? Definición y usos- Fundación Aequae*. <https://www.fundacionaequae.org/wiki/que-es-energia-solar/>
- ¿Qué beneficios tiene la energía solar? | ACCIONA | Business as unusual*. (n.d.). https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=02021864894
- Planas, O. (n.d.). *¿Qué es la densidad? Definición, fórmula y características* [Video]. <https://energia-nuclear.net/energia/energia-termica>
- ¿Qué es la energía térmica? (artículo) | Khan Academy*. (n.d.). Khan Academy. <https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/work-and-energy-tutorial/a/what-is-thermal-energy>

Universidad Europea. (2023). ¿Qué es la energía marina? *Universidad Europea*. <https://universidadeuropea.com/blog/energia-marina/>

United Nations. (n.d.). *Energías renovables: energías para un futuro más seguro* | Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

Ventajas y Desventajas de las Energías Renovables (2023). (n.d.). <https://www.panelpower.com.mx/energias-renovables>

Alfonso, R. C. (2022). Certificación WELL y las ventajas en el bienestar de los ocupantes. *blog.zeroconsulting.com*. <https://blog.zeroconsulting.com/certificacion-well-y-sus-ventajas>

Bioconstruccion. (2020). Certificación EDGE. *Bioconstrucción Y Energía Alternativa* -. <https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-edge/>

Dalaison, W. (2020). La certificación de edificios verdes es cada vez más accesible en América Latina y el Caribe. *Sostenibilidad*. <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/la-certificacion-de-edificios-verdes-es-cada-vez-mas-accesible-en-america-latina-y-el-caribe/>

Energías renovables. (n.d.). <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables>

Energías renovables: ¿Qué son y para qué sirven? (2023, September 15). Climate Consulting. <https://climate.selectra.com/es/que-es/energias-renovables>

Energy, S. (2021, August 31). *¿Cómo funciona una instalación solar fotovoltaica?* - Social Energy. <https://www.socialenergy.es/instalaciones-fotovoltaicas/como-funciona-instalacion-solar-fotovoltaica/>

ETRES Consultores. (2019, May 16). *Certificación ambiental VERDE Edificación*. <https://www.etresconsultores.com/certificacion-ambiental-verde-leed-breeam/>

GBCE | Herramientas DGNB System ES. (n.d.). <https://gbce.es/certificacion-dgnb-system/herramientas/>

Iberdrola. (2021). ENERGÍA EÓLICA. *Iberdrola*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>

Ovacen. (2021). Certificación BREEAM en edificios sostenibles. *OVACEN*. <https://ovacen.com/certificacion-breeam/>

¿Qué son las energías renovables? (2020, September 11). Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/que-son-las-energiasrenovables#:~:text=Se%20denomina%20%E2%80%9Cenerg%C3%ADas%20renovables%E2%80%9D%20a,recursos%20capaces%20de%20renovarse%20ilimitadamente>.

¿Qué tipos de instalaciones fotovoltaicas existen? | Blog AutoSolar. (n.d.). <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-tipos-de-instalaciones-fotovoltaicas-existen>

Sarachu, E. (2020, November 10). >> >> Certificado VERDE o cómo evaluar la sostenibilidad de los edificios. *Eficiencia Energetica*. <https://e-ficiencia.com/certificado-verde-como-evaluar-sostenibilidad-de-edificios/#:~:text=La%20certificaci%C3%B3n%20VERDE%20es%20un,travel%C3%A9s%20de%2014%20indicadores%20cuantificables>.


Twenergy. (2019, November 13). *¿Qué es la microgeneración y para qué sirve?* | Twenergy. Twenergy. <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/como-ahorrar-energia-casa/que-es-la-microgeneracion-143/>

¿Cómo calcular el consumo de energía de tu aire acondicionado? | Samara. (n.d.). <https://www.samara.energy/post/como-calcular-el-consumo-de-energia-de-tu-aire-acondicionado#:~:text=Para%20calcular%20el%20consumo%20de%20energ%C3%ADa%2C%20necesitaremos%20la%20potencia%20en,W%20%2F%201000%20%3D%20%20kW.>

Electrical calculation tools | Schneider Electric Colombia. (n.d.). <https://www.se.com/co/es/product-range/61553-electrical-calculation-tools/#overview>

Mario. (2023). Monitorización SolarEdge: la más completa del mercado. Solarix. <https://www.solarix.es/blog/monitorizacion-solaredge-mas-completa-mercado/>

SolarCT - Solar PV Calculator. (2023, July 11). Softonic. <https://solarct-solar-pv-calculator.softonic.com/android>

SotySolar. (2023, February 20). *La orientación e inclinación de las placas solares*  SotySolar. <https://sotysolar.es/blog/como-afecta-la-orientacion-de-tu-tejado-a-tu-instalacion-de-placas-solares#:~:text=La%20orientaci%C3%B3n%20ideal%20de%20las,la%20instalaci%C3%B3n%20solar%20es%20mayor.>

De, R. C. T. (2018, October 2). *Definición de aire acondicionado*. Blog De Aire Acondicionado Mitsubishi Electric · LowCostClima. <https://lowcostclima.es/blog/definicion-de-aire-acondicionado/>

López, N. (2021, July 27). *Todo lo que debes saber sobre climatización*. CAD&LAN. <https://www.cadlan.com/noticias/todo-lo-que-debes-saber-sobre-climatizacion/>

Ager, I. (2022, June 29). *Energías Renovables* | AGER. AGER. <https://ager.org.gt/energias-renovables/>

El 2022 se confirma como uno de los años más cálidos. (2023, January 12). Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2023/01/1517852>

National Geographic España. (2024, February 29). National Geographic. [https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/04/la-energia-solar-y-su-potencial-para-ayudar-a-reducir-el-calentamiento-global#:~:text=No%20es%20de%20extra%C3%B1ar%20que,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s\).](https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/04/la-energia-solar-y-su-potencial-para-ayudar-a-reducir-el-calentamiento-global#:~:text=No%20es%20de%20extra%C3%B1ar%20que,por%20sus%20siglas%20en%20ingl%C3%A9s).)

¿Qué son las energías renovables? (2023a, November 17). Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/que-son-las-energias-renovables>

¿Qué son las energías renovables? (2023b, November 17). Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/que-son-las-energias-renovables#:~:text=Se%20denomina%20%E2%80%9Cenerg%C3%ADas%20renovables%E2%80%9D%20a,recursos%20capaces%20de%20renovarse%20ilimitadamente.>

Cabanelas, J. (2021, June 17). *¿Qué potencia de aire acondicionado necesito? Fórmula y factores de cálculo*. caloryfrio.com. <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/como-calcular-la-potencia-del-aire-acondicionado-correctamente.html>

- Dimensiones de un panel solar: ¿cómo elegir?* (n.d.). Blog MiKitSolar. <https://www.mikitsolar.es/blog/dimensiones-de-un-panel-solar-como-elegir-n281>
- Inarquia. (2024, February 25). *Integración de Paneles Fotovoltaicos en Edificios*. Inarquia. <https://inarquia.es/integracion-paneles-fotovoltaicos-edificios/>
- Gallegos, H. G., & Righini, R. (2013). *Ángulo óptimo para planos colectores de energía solar Integrados a edificios*. <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/erma/article/view/1490>
- Guerra, M. (2013, May 1). *Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones*. <https://rd.udb.edu.sv/items/59a1b335-123e-4bb5-bddc-a98b40b66345>
- Ignacio, F. P. J., Teller, J., & De Alicante Departamento De Expresión Gráfica Y Cartografía, U. (2012). *Adaptabilidad de la energía solar fotovoltaica sobre fachadas urbanas*. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/44245>
- Zapata, E. E. B. (2014). *Crisis energética: en busca de edificaciones eficientes y amigables*. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4763421>
- climadesign.com.ar. (n.d.). *Climadesign*. Climadesign. <https://www.climadesign.com.ar/info/aire-acondicionado-vrf#:~:text=VRF%20es%20un%20sistema%20de,un%20componente%20que%20llamamos%20e vaporadora.>
- HelioScope. (2023, April 26). *Product | HelioScope*. <https://helioscope.aurorasolar.com/product/>
- Iberdrola. (2021, April 22). *ENERGÍA EÓLICA*. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/energia-eolica>
- Mkx. (2023, March 29). *Qué es y cómo funciona la red eléctrica*. Waris Energía. <https://warisenergia.com/blog/que-es-como-funciona-la-red-electrica/>
- OpenSolar. (n.d.). *Solar design and proposal software | OpenSolar*. <https://www.opensolar.com/>
- Sarachu, E. (2023, June 19). >> ► Aire acondicionado centralizado o por conductos. *Eficiencia Energetica*. <https://e-ficiencia.com/aire-acondicionado-por-conductos-cuanto-consume-ventajas/>
- Smk_Admin. (2023, September 26). *Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son?* Celsia. <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>
- Solar, N. (2021, February 22). *¿Qué es un Sistema solar Conectado a Red y cómo funciona?* Novum Solar. <https://novumsolar.com/sistema-solar-conectado-a-red/#:~:text=Un%20sistema%20solar%20conectado%20a%20red%20es%20un%20sistema%20fotovoltaico,tanto%2C%20no%20necesita%20de%20bater%C3%ADAs.>
- Sunny Design - planning of complete energy systems | SMA Solar*. (n.d.). <https://www.sma.de/en/products/apps-software/sunny-design>
- Decreto Número 52-2003. (2005, June 22). *Ministerio De Energía Y Minas*. Retrieved May 13, 2024, from <https://mem.gob.gt/wp-content/uploads/2012/05/2.3-Ley-y-Reglamento-de-Incentivos-de-Energia-Renovables.pdf>
- Energía Solar en Guatemala. (2017, October 31). *Ministerio De Energía Y Minas*. Retrieved May 13, 2024, from <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2017/11/Energ%C3%ADa-Solar-en-Guatemala.pdf>

Ley de Tarifa Social para el Suministro de Energía Eléctrica. (2001, January 2). *Comisión Nacional De Energía Eléctrica*. Retrieved May 13, 2024, from <https://cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LeydeTarifaSocial2014.pdf>

Marco Legal del Sub Sector Eléctrico de Guatemala, Compendio de Leyes y Reglamentos. (2013, August). *Comisión Nacional De Energía Eléctrica*. Retrieved May 13, 2024, from <https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/LEY%20GENERAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20Y%20REGLAMENTOS.pdf>

Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista. (1998, May 25). *Comisión Nacional De Energía Eléctrica*. Retrieved May 13, 2024, from <https://www.cnee.gob.gt/pdf/marco-legal/Reglamento%20del%20AMM.pdf>

Arcega, K. (2023, November 15). Beneficios de conseguir una certificación de construcción sostenible. *Econfort Y Salud*. <https://econfortysalud.com/eficiencia-y-ahorro/beneficios-de-conseguir-una-certificacion-de-construccion-sostenible/>

Granda, C. (2024, August 19). ¿Cuáles son las certificaciones internacionales de edificios verdes más reconocidas? *Leaf*. <https://leaflatam.com/cuales-son-las-certificaciones-internacionales-de-edificios-verdes-mas-reconocidas/>

Martínez, R. A. (2022, April 4). HelioScope, herramienta para sistemas fotovoltaicos. *KeeUI Solar*. <https://keeuui.com/2021/03/19/helioscope-herramienta-para-sistemas-fotovoltaicos/>

cursosMolones. (2023, December 6). *¿Qué es Autodesk Forma y para qué se utiliza?* Editeca. <https://editeca.com/que-es-autodesk-forma-y-para-que-se-utiliza/>

Caloryfrio, I. A. (2018, August 17). *¿Qué es una torre de refrigeración o enfriamiento? Funcionamiento y seguridad*. caloryfrio.com. <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/que-es-torre-de-refrigeracion-enfriamiento-funcionamiento-seguridad.html>

Certificación para Vivienda CASA Guatemala. (2022, January 20). *¿Qué es CASA? - Certificación para Vivienda CASA Guatemala*. Certificación Para Vivienda CASA Guatemala. <https://casagt.org/que-es-casa/>

Ventilación, C. Y. (2020, June 22). *Diferencias entre las torres de refrigeración abiertas y cerradas*. Empresa De Fabricación De Equipos De Refrigeración Evaporativa Con Sede En Benissa. <https://www.controlyventilacion.es/es/blog/diferencias-entre-las-torres-de-refrigeracion-abiertas-y-cerradas/>

Temperatura en la oficina ¿Cuál es la ideal? - Quirónprevención. (n.d.). Quirónprevención. <https://www.quironprevencion.com/blogs/es/prevenidos/temperatura-oficina-ideal>

Las 10 mejores marcas de inversores solares en el mundo. (2023, April 13). *Solcor Chile*. <https://solorchile.com/10-mejores-marcas-de-inversores-solares-en-el-mund/>

Renovables, E. (n.d.). Estos son los quince mayores fabricantes de aerogeneradores del mundo. *Energías Renovables, El Periodismo De Las Energías Limpias*. <https://www.energias-renovables.com/eolica/aqui-estan-los-diez-mayores-fabricantes-de-20200528>

Bolaños, R. M. (2025, February 1). Estas son las nuevas tarifas de energía eléctrica a partir del 1 de febrero del 2025, aprobadas por la CNEE. Prensa Libre. <https://www.prensalibre.com/economia/estas-son-las-nuevas-tarifas-de-energia-electrica-a-partir-del-1-de-febrero-del-2025-aprobadas-por-la-cnee/#:~:text=la%20tarifa%20de%20eegsa%20sube,0.9%25%2C%20que%20representan%20q0>

El tiempo en Ciudad de Guatemala en el verano, temperatura promedio (Guatemala) - Weather Spark. (n.d.). Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/s/11693/1/Tiempo-promedio-en-el-verano-en-Ciudad-de-Guatemala-Guatemala#:~:text=El%20tiempo%20en%20el%20verano,o%20exceden%2018%20%C2%B0C>.

Flor. (2024, November 4). ¿Qué es la huella de carbono y cómo se calcula? Paso a paso. E4e Soluciones. <https://www.e4e-soluciones.com/blog-eficiencia-energetica/huella-carbono-como-calcula-explicamos-paso-paso>

Generador eólico vertical Atlas (10 KW). (n.d.). <https://tesup.com/es/tesup-aerogeneradores-verticales-para-viviendas>

Global Wind Atlas. (n.d.). <https://globalwindatlas.info/en/>

Guía para Determinar Cuántos Lúmenes por Metro Cuadrado Necesitas | LumXpert Signify. (n.d.). <https://www.lumxpert.signify.com/es-es/mundo-led/lumens-por-metro-cuadrado>

Inversor Growatt MAX de 75kW, 3 Fases 127/220V, 8 MPPT – SolarPowerAmerica. (n.d.). <https://solarpoweram.com/producto/inversor-growatt-max-75kw/>

Jinko Tiger Neo N-Type Mono Solar Panel 650W 550 Watt 550W 580W Bifacial N-Type Double Glass Solar Panels Plates Jinko. (n.d.). Bestsuppliers.com. <https://www.bestsuppliers.com/products/rjqlyvj7gf0h/jinko-tiger-neo-ntype-mono-solar-panel-650w-550-watt-550w-580w-bifacial-ntype-double-glass-solar-pan>

Solargis. (n.d.). Global Solar Atlas. The World Bank Group. <https://globalsolaratlas.info/map?c=14.586906,-90.602188,11&s=14.641614,-90.513284&m=site>

Diagrama psicrométrico online y cálculo de las propiedades del aire húmedo. (n.d.). <https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/psicrometricos/psicrometricos.html>

¿Por qué necesitamos árboles en las ciudades? (n.d.). WWF. <https://www.wwf.org.py/?364240/Por-que-necesitamos-arboles-en-las-ciudades#:~:text=Un%20%C3%A1rbol%20adulto%20puede%20absorber,Alimentaci%C3%B3n%20y%20la%20Agricultura%2C%20FAO>.

User, S. (n.d.). CeroCO2 - Te ayudamos a ser neutro en CO2. CeroCO2 - Te Ayudamos En Tu Ruta De Descarbonización. <https://www.ceroco2.org/soluciones-ceroco2/calculo-huella-de-carbono/que-es-la-huella-de-carbono>

XI. ANEXOS

104

AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION

TABLA 4-6. COEFICIENTES DE TRANSMISION (U) PARA PAREDES DE MAMPOSTERIA

(Pies cúbicos por hora pie de hendidura)

Tipo de mampostería	Espesor de la mampostería (Pulg.)	Acabado interior (más aislamiento donde se indique)									Paral número
		(más aislamiento donde se indique)									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Ladrillo sólido	8	0.50	0.46	0.32	0.31	0.30	0.22	0.22	0.16	0.14	67
	12	0.36	0.34	0.25	0.25	0.26	0.19	0.19	0.14	0.13	68
	16	0.28	0.27	0.21	0.21	0.21	0.20	0.17	0.16	0.13	69
Bloque hueco (Exterior acabado de exterior)	8	0.40	0.37	0.27	0.27	0.28	0.20	0.20	0.15	0.13	70
	10	0.29	0.27	0.27	0.27	0.28	0.20	0.19	0.15	0.13	71
	12	0.20	0.20	0.23	0.22	0.21	0.17	0.17	0.13	0.13	72
Piedra	8	0.70	0.64	0.39	0.38	0.38	0.28	0.25	0.18	0.16	74
	12	0.27	0.27	0.35	0.34	0.33	0.24	0.23	0.17	0.15	75
	16	0.49	0.45	0.31	0.31	0.29	0.22	0.22	0.16	0.14	76
Hendidura ventana	6	0.79	0.71	0.42	0.41	0.39	0.27	0.26	0.19	0.16	78
	8	0.70	0.64	0.39	0.38	0.38	0.28	0.25	0.18	0.16	79
	10	0.63	0.56	0.27	0.26	0.24	0.20	0.24	0.16	0.15	80
Bloque hueco de hormigón	8	0.36	0.32	0.34	0.34	0.33	0.24	0.23	0.17	0.15	82
	12	0.49	0.46	0.32	0.31	0.30	0.22	0.22	0.16	0.14	83
	16	0.41	0.38	0.28	0.28	0.27	0.21	0.20	0.15	0.13	84
Agregado de grava											
Bloque hueco de hormigón	8	0.36	0.32	0.34	0.34	0.33	0.24	0.23	0.17	0.15	82
	12	0.49	0.46	0.32	0.31	0.30	0.22	0.22	0.16	0.14	83
	16	0.41	0.38	0.28	0.28	0.27	0.21	0.20	0.15	0.13	84
Cualquier Agregado											
Bloque hueco de hormigón	8	0.36	0.32	0.34	0.34	0.33	0.24	0.23	0.17	0.15	82
	12	0.49	0.46	0.32	0.31	0.30	0.22	0.22	0.16	0.14	83
	16	0.41	0.38	0.28	0.28	0.27	0.21	0.20	0.15	0.13	84
Agregado de peso ligero I											
Bloque hueco de hormigón	8	0.36	0.32	0.34	0.34	0.33	0.24	0.23	0.17	0.15	82
	12	0.49	0.46	0.32	0.31	0.30	0.22	0.22	0.16	0.14	83
	16	0.41	0.38	0.28	0.28	0.27	0.21	0.20	0.15	0.13	84

Ilustración 24 Coeficientes de transmisión (U) para paredes de mampostería

(Aire Acondicionado y Refrigeración, 1970)

104

AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION

TABLA 5-3. INFILTRACION POR HENDEDURAS A TRAVES DE VENTANAS Y PUERTAS

(Pies cúbicos por hora pie de hendidura)

Tipo de abertura	Observaciones	Velocidad del viento (mph)				
		5	10	15	20	25
Ventana de madera de doble bastidor (no hermético)	Promedio: no a prueba de agua	7	21.4	39	59	80
	Promedio: a prueba de agua	4	13	24	36	49
	Ajuste pobre: no a prueba de agua	27	69	111	154	199
	Ajuste pobre: a prueba de agua	6	19	34	51	71
	Alrededor del marco de ventana: pared de ladrillo, no ajustada	3	8	14	20	27
	Alrededor del marco de ventana: pared de ladrillo, ajustada	1	2	3	4	5
	Alrededor del marco de ventana: marco de estructura de madera	2	6	11	17	23
Ventana metálica de doble bastidor	No a prueba de agua; no hermética	20	47	74	104	137
	No a prueba de agua; hermética	20	45	70	96	125
	A prueba de agua; no hermética	6	19	32	46	60
Ventana metálica en bastidor simple	Industrial; pivoteada horizontalmente	52	108	176	244	304
	Puerta-ventana residencial	14	32	52	76	100
	Pivoteada verticalmente	30	88	145	186	221
Puertas	Bien ajustadas	27	69	110	154	199
	Mal ajustadas	54	138	220	308	398

* Datos basados en trabajos de investigación. Trans. ASHVE, Vols. 30, 34, 36, 37 y 39.

Ilustración 25 Infiltración por hendiduras a través de ventanas y puertas

(Aire Acondicionado y Refrigeración, 1970)

TABLA 17-2. GANANCIA INSTANTANEA DE CALOR POR TRANSMISION DIRECTA Y DIFUSION O RADIACION SOLAR PARA VENTANAS NO SOMBREADAS DE VIDRIO COMUN Y UNA HOJA (PARA ATMOSFERAS CLARAS Y 18° DE INCLINACION NORTE (AGOSTO 1))

Latitud	Tiempo solar	Ganancia instantánea de calor (Btu por hora pie cuadrado)									Horiz.
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO		
30° Norte	6 A.M. 6 P.M.	25	98	108	52	5	5	5	5	17	
	7	5	23	155	190	110	10	10	10	71	
	8	4	16	148	205	136	14	13	13	137	
	9	3	16	106	180	136	21	15	15	195	
	10	2	17	54	128	116	34	17	16	241	
40° Norte	6 A.M. 7 P.M.	3	7	6	2	0	0	0	0	1	
	7	6	26	116	131	67	7	6	6	25	
	8	5	16	140	185	124	11	10	10	77	
	9	4	14	120	205	150	18	12	12	137	
	10	3	15	70	180	162	42	14	14	188	
50° Norte	6 A.M. 7 P.M.	20	54	54	20	3	3	3	3	6	
	7	6	25	128	149	81	8	7	7	24	
	8	5	12	139	197	136	12	10	10	80	
	9	4	13	107	202	171	22	12	12	129	
	10	3	14	54	176	183	72	14	14	173	

Nota: Para ganancia instantánea de calor total, agregar estos valores a los dados en Tabla 17-3.

Ilustración 26 Ganancia instantánea de calor por transmisión directa

(Aire Acondicionado y Refrigeración, 1970)

CARGA DE ENFRIAMIENTO Y CALCULOS PARA ...

663

TABLA 17-3. GANANCIA INSTANTANEA DE CALOR POR CONVECCION Y RADIACION PARA VENTANAS NO SOMBREADAS DE VIDRIO COMUN Y UNA HOJA

[Para atmósferas claras y 18° de inclinación Norte, (Agosto 1); Temperatura interior 80F]

Tiempo solar	Bulbo seco (F)	Latitud Norte grados	Ganancia instantánea de calor (valor X) (Btu por hora pie cuadrado)								
			N	NE	E	SE	S	SO	G	NO	Horiz.
5 A.M.	74	30, 45, 50	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
6	74		-5	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-6	-5
7	75		-5	-2	-2	-3	-5	-5	-5	-5	-3
8	77		-3	0	1	0	-2	-3	-3	-3	0
9	80		0	2	4	3	1	0	0	0	3
10	83		3	4	6	6	5	3	3	3	8
11	87		8	8	10	11	10	9	8	8	13
12	90		12	12	12	13	14	13	12	12	16
1 P.M.	93		15	15	15	16	17	17	17	15	20
2	94		16	16	16	16	18	19	19	17	21
3	95		17	17	17	17	19	21	21	19	21
4	94		16	16	16	16	17	20	20	19	19
5	93	15	15	15	15	15	18	19	18	17	
6	91	13	13	13	13	13	14	15	15	13	
7	87	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
8	85	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
9	83	3	3	3	3	3	3	3	3	3	

Nota: Para obtener la ganancia total instantánea de calor, agregar estos valores a los de la Tabla 17-2.

Ilustración 27 Ganancia instantánea de calor por convección

(Aire Acondicionado y Refrigeración, 1970)

CARGA DE ENTUBAMIENTO Y CALCULO PARA ... 605

TABLA 17-5. CALOR ABSORBIDO EN EL VIDRIO. VALORES DE Y PARA USARSE CON LOS FACTORES DE LA TABLA 17-4 PARA LA DETERMINACION DE LA GANANCIA INSTANTANEA DE CALOR DEBIDO A LA CONVECCION Y RADIANCIA PARA VARIOS TIPOS DE VIDRIO SIMPLE Y COMBINACION DE DOS PLACAS DE VIDRIO A 1/4 PEG.

(Para atmósferas claras y 18° inclinación norte, Agosto 1°)

Valores de Y (Btu por hr por pie cuadrado)*

Tiempo solar	Latitud	Valores de Y (Btu por hr por pie cuadrado)*									
		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Nota	
5 A.M.	↑	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	↑	4	15	15	9	1	1	1	1	1	5
7	↑	2	24	30	20	2	2	2	2	2	11
8	↑	2	22	33	25	2	2	2	2	2	21
9	↑	2	15	30	28	8	3	3	3	3	33
10	↑	3	5	25	27	14	3	3	3	3	37
11	↑	40	2	3	12	21	18	3	3	3	43
12	↑	grados	3	3	3	13	19	13	3	3	45
1 P.M.	latitud	3	3	3	3	19	22	10	3	3	44
2	norte	3	3	3	3	16	27	24	4	4	41
3	↑	3	3	3	3	10	30	31	13	13	25
4	↑	3	3	3	3	4	29	36	23	23	26
5	↑	2	2	2	2	2	23	34	27	17	31
6	↑	4	1	1	1	1	14	24	21	6	4
7	↓	0	0	0	0	0	2	3	3	1	1

* Valores de Y para 8 y 9 P.M. son cero.
 † Para N, NE, E, O, NO y horizontal, usar 40° latitud norte.

Ilustración 28 Calor absorbido en el vidrio

(Aire Acondicionado y Refrigeración, 1970)

AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION

TABLA 17-7. DIFERENCIALES TOTALES DE TEMPERATURA PARA CALCULAR LA GANANCIA DE CALOR A TRAVES DE PAREDES ALUMBRADAS POR EL SOL Y SOMBREADAS

Latitud Norte	Tiempo solar												Latitud Sur						
	A.M.				P.M.														
	8	10	12		2	4	6	8	10	12									
Orientación de la pared	Color exterior de la pared (O = oscuro, L = ligero)												Orientación de la pared						
	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L	O	L					
Marco de celosía																			
NE	22	10	24	12	14	10	12	10	14	14	14	10	10	6	4	2	2	SE	
E	30	14	36	18	32	16	12	12	14	14	14	10	10	6	4	2	2	E	
SE	13	6	26	16	28	18	24	16	16	14	14	10	10	6	4	2	2	NE	
S	-4	-4	4	0	22	12	30	20	26	20	16	14	10	6	4	2	2	N	
SO	-4	-4	0	-2	6	4	26	22	40	28	42	28	24	20	6	4	2	NO	
O	-4	-4	0	0	6	6	20	12	40	28	48	34	22	22	8	8	2	O	
NO	-4	-4	0	-2	6	4	12	10	34	20	40	26	24	24	6	4	2	SO	
N(sombra)	-4	-4	-2	-2	4	4	10	10	14	14	12	12	8	8	4	4	0	S(sombra)	
4 plg de ladrillo o piedra de revestir + marco de celosía																			
NE	-2	-4	24	12	20	10	10	6	12	10	14	14	12	10	10	6	4	SE	
E	2	0	30	14	31	17	14	14	12	12	14	14	12	10	8	6	6	E	
SE	2	-2	20	10	26	16	26	16	18	14	14	14	12	10	8	6	6	NE	
S	-4	-4	-2	-2	12	6	24	16	28	18	20	16	12	12	8	8	4	N	
SO	0	-2	0	-2	2	2	12	8	32	22	36	26	34	24	10	8	6	NO	
O	0	-2	0	0	4	2	10	8	26	18	40	28	42	28	16	14	6	O	
NO	-4	-4	-2	-2	2	2	8	6	12	12	30	22	34	24	12	10	6	SO	
N(sombra)	-4	-4	-2	-2	0	0	6	6	10	10	12	12	12	8	8	4	4	S(sombra)	
Bloque hueco de hormigón de 8" o bloque de escoria de 8"																			
NE	0	0	0	0	20	10	16	10	10	6	12	10	14	12	10	8	8	SE	
E	4	2	12	4	24	12	26	14	20	12	12	10	14	12	10	10	8	E	
SE	2	0	2	0	16	8	20	12	20	14	14	14	12	10	8	6	6	NE	
S	0	0	0	0	2	0	12	6	24	14	26	16	20	14	12	10	8	N	
SO	2	0	2	0	2	0	6	4	12	10	26	18	30	20	18	8	6	NO	
O	4	2	4	2	4	2	6	4	10	8	18	14	30	22	32	18	14	O	
NO	0	0	0	0	2	0	4	2	8	6	12	10	22	14	20	12	8	SO	
N(sombra)	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	0	6	6	10	10	10	10	6	6	6	S(sombra)	
Ladrillo de 8" o bloque hueco de hormigón de 12" o bloque de escoria de 12"																			
NE	2	2	2	2	10	2	16	8	14	8	10	6	10	8	10	10	8	SE	
E	8	6	8	6	14	8	18	10	18	10	14	8	14	10	14	10	12	E	
SE	8	4	6	4	6	4	14	10	18	12	16	12	12	10	12	10	10	NE	
S	4	2	4	2	4	2	4	2	10	6	16	10	16	12	12	10	8	N	
SO	8	4	6	4	6	4	8	4	10	6	12	8	20	12	24	16	20	NO	
O	8	4	6	4	6	6	8	6	10	6	14	8	20	16	24	16	24	O	
NO	2	2	2	2	2	2	4	2	6	4	8	6	10	8	16	14	14	SO	
N(sombra)	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	6	6	8	8	8	6	6	S(sombra)	
12 plg de ladrillo																			
NE	8	6	8	6	8	4	8	4	10	4	12	6	12	6	10	6	10	SE	
E	12	8	12	8	12	8	10	6	12	8	14	10	14	10	14	8	14	8	E
SE	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	12	8	14	10	14	10	12	8	NE
S	8	4	8	6	8	4	6	4	6	4	8	4	10	6	12	8	12	8	N
SO	10	6	10	6	10	6	10	6	10	6	10	8	10	8	12	8	14	10	NO
O	12	8	12	8	12	8	10	6	10	6	10	6	10	6	12	8	16	10	O
NO	8	6	8	6	8	4	8	4	8	4	8	4	8	6	10	6	10	6	SO
N(sombra)	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	6	6	S(sombra)

Ilustración 29 Diferenciales totales de temperatura para la ganancia de calor a través de las paredes

(Aire Acondicionado y Refrigeración, 1970)

Tabla 4-3 Temperaturas operativas de aceptabilidad térmica para personas sedentarias o que realizan actividades ligeras (≤ 1.2 mets), a una humedad relativa* de 50%

Estación del año	Descripción de la ropa típica	I_{cl} (clo)	Temperatura operativa óptima	Rango de temperatura operativa (criterio de insatisfacción de 10% [†])
Invierno	Pantalón grueso, camisa de manga larga y suéter	0.9	22.0 C 71.0 F	20–23.5 C 68–75.0 F
Verano	Pantalón ligero y camisa de manga corta	0.5	24.5 C 76.0 F	23–26.0 C 73–79.0 C
	Mínima	0.05	27.0 C 81.0 F	26–29.0 C 79–84.0 F

*Excepto para la ropa, no hay ajustes a las temperaturas por estación o sexo. En el caso de los niños, algunas personas mayores e individuos con discapacidad física, se deben evitar los límites inferiores.

[†]Los rangos usados para velocidades de aire bajas son: ≤ 30 fpm (0.15 m/s) y 50% de humedad relativa.

Fuente: Reimpresión con autorización de la norma 55-1992 de la ANS/ASHRAE.

Ilustración 30 Temperaturas operativas para personas sedentarias

(ANSI/ASHRAE, 1992)

Tabla 5-5a Factores U para varios productos de ventanería^a, Btu/(hr-ft²-F) (instalación vertical)

	Estructura: sólo cristal		Operables (incluyendo puertas de cristal deslizantes y de bisagras)		Vidrio reforzado/ ^b Aluminio/ madera chapada	Fibra de vidrio/ Madera/ vinilo	Fibra de vidrio/ vinilo	Fijo
	Centro del cristal	Borde del cristal	Aluminio sin interrupción térmica	Aluminio con interrupción térmica				
Cristal sencillo								
Vidrio de 1/4 de pulgada	1.04	1.04	1.27	1.08	0.90	0.89	0.81	0.94
acrílico/polycarbonato de 1/4 de pulgada	0.88	0.88	1.14	0.96	0.79	0.78	0.71	0.81
acrílico/polycarbonato de 1/4 de pulgada	0.96	0.96	1.21	1.02	0.85	0.83	0.76	0.87
Cristal doble								
esp. de aire de 1/2 pul.	0.55	0.64	0.87	0.65	0.57	0.55	0.49	0.53
esp. de aire de 1/4 pul.	0.48	0.59	0.81	0.60	0.53	0.51	0.44	0.48
esp. de argón de 1/2 pul.	0.51	0.61	0.84	0.62	0.55	0.53	0.46	0.50
Cristal doble, e = 0.60 sobre la superficie 2 o 3								
esp. de aire de 1/2 pul.	0.52	0.62	0.84	0.63	0.55	0.53	0.47	0.51
esp. de aire de 1/4 pul.	0.44	0.56	0.78	0.57	0.50	0.48	0.42	0.45
esp. de argón de 1/2 pul.	0.47	0.58	0.81	0.59	0.52	0.50	0.44	0.47
Cristal doble, e = 0.10 sobre la superficie 2 o 3								
esp. de aire de 1/2 pul.	0.42	0.55	0.77	0.56	0.49	0.47	0.41	0.43
esp. de aire de 1/4 pul.	0.32	0.48	0.69	0.49	0.42	0.40	0.35	0.35
esp. de argón de 1/2 pul.	0.35	0.50	0.71	0.51	0.44	0.42	0.36	0.37
esp. de argón de 1/4 pul.	0.27	0.44	0.65	0.45	0.39	0.37	0.31	0.31
Cristal triple								
esp. de aire de 1/2 pul.	0.38	0.52	0.72	0.51	0.44	0.43	0.38	0.40
esp. de aire de 1/4 pul.	0.31	0.47	0.67	0.46	0.40	0.39	0.34	0.34
esp. de argón de 1/2 pul.	0.34	0.49	0.69	0.48	0.42	0.41	0.35	0.36
Cristal triple, e = 0.20 sobre las superficies 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de 1/2 pul.	0.29	0.45	0.65	0.44	0.38	0.37	0.32	0.32
esp. de aire de 1/4 pul.	0.20	0.39	0.58	0.38	0.32	0.31	0.27	0.25
esp. de argón de 1/2 pul.	0.23	0.41	0.61	0.40	0.34	0.33	0.29	0.28
Cristal triple, e = 0.10 sobre las superficies 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de 1/2 pul.	0.27	0.44	0.64	0.43	0.37	0.36	0.31	0.31
esp. de aire de 1/4 pul.	0.18	0.37	0.57	0.36	0.31	0.30	0.25	0.23
esp. de argón de 1/2 pul.	0.21	0.39	0.59	0.39	0.33	0.32	0.27	0.26
Cristal cuádruple, e = 0.10 sobre las superficies 2 o 3 y 4 o 5								
esp. de aire de 1/2 pul.	0.22	0.40	0.60	0.39	0.34	0.33	0.28	0.27

^aLos coeficientes de transmisión de calor están basados en las condiciones prevalecientes en invierno: 0 F en el exterior y 70 F en el interior, con vientos de 15 mph y cero flujo solar. Pequeños cambios en la temperatura interior o exterior no afectan significativamente los factores globales U. Las capas de cristal se numeran de afuera hacia adentro.

Fuente: Reimpresión con autorización de la ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume.

Ilustración 31 Factores U para varios productos de ventanería

(ASHRAE, n.d.)

TABLA 10-2. DISIPACION TOTAL DE CALOR DE PERSONAS	
Tipo de actividad	Disipación de calor a la temperatura del cuarto entre 60 F y 80 F (Btu/h)
Adultos en reposo	
Sentados	390
Parados	440
Operario moderadamente activo	600
Operario trabajando con metales	860
Caminando a 2 mph	760
Mesero de restaurante, muy ocupado	1 000
Caminando a 3 mph	1 000
Caminando a 4 mph, bailando activamente	1 390
Corriendo ligeramente	2 290
Ejercicio máximo	3 000–4 800

Ilustración 32 Discipación total de calor de personas

(ASHRAE, n.d.)

Point 1 ⌵

Center (Lat, Long): 14.586574°, -90.499363°
 Address: Zone 10, Guatemala City, Zona 2, Guatemala Department, 01010, Guatemala

Data for 10% windiest areas

⌵ 177 W/m² ⌵ 5.47 m/s Height: 50m ⌵

Ilustración 33 Datos del viento en el sitio

(Global Wind Atlas, n.d.)

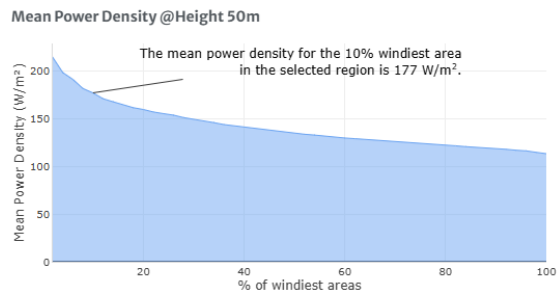


Ilustración 34 Densidad del viento en el sitio

(Global Wind Atlas, n.d.)

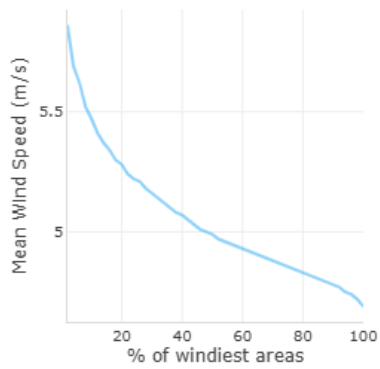


Ilustración 35 Velocidad del viento en el sitio

(Global Wind Atlas, n.d.)

Air temperature TEMP 19.2 °C ⌵

Ilustración 36 Temperatura del viento en el sitio

(Global Wind Atlas, n.d.)

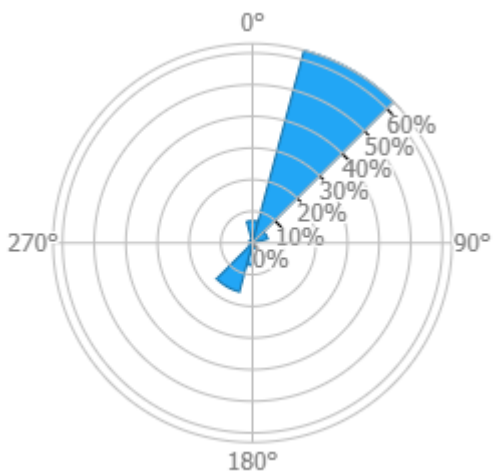


Ilustración 37 Rosa de frecuencia de viento

(Global Wind Atlas, n.d.)

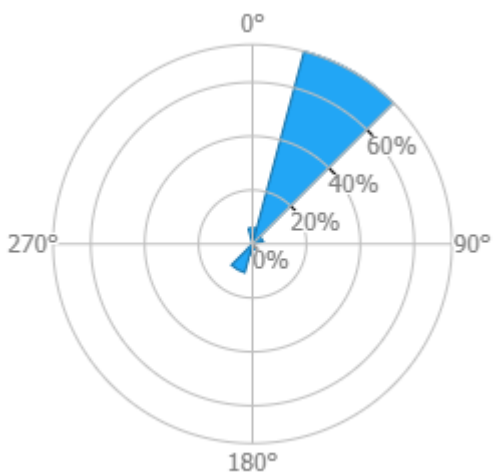


Ilustración 38 Rosa de velocidad de viento

(Global Wind Atlas, n.d.)

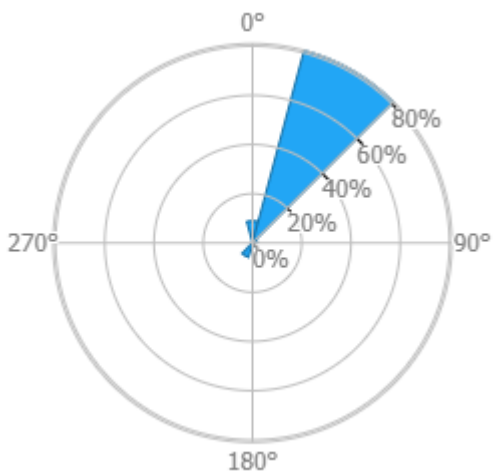


Ilustración 39 Rosa de potencia de viento

(Global Wind Atlas, n.d.)

Temperatura (°C)	Densidad del aire (kg/m ³)
35	1.1455
30	1.1644
25	1.1839
20	1.2041
15	1.2250
10	1.2466
5	1.2690
0	1.2922
-5	1.3163
-10	1.3413
-15	1.3673
-20	1.3943
-25	1.4224

Ilustración 40 Densidad del aire

(Shelquist, 2019)

Tipo de paisaje	Clase de rugosidad	Longitud de rugosidad (m)
Superficie completamente plana. (Sobre el agua como en lagos grandes o en el mar).	0	0.0002
Terreno abierto con superficie lisa. (Aeropuertos, campos amplios con césped corto).	0.5	0.0024
Terreno agrícola sin cercos, pocas casas o almacenes y pocas colinas no pronunciadas.	1	0.03
Terreno agrícola con algunas casas y almacenes de hasta 8 m de altura a una distancia aproximada de 1250 m.	1.5	0.055
Terreno agrícola con algunas casas y almacenes de hasta 8 m de altura a una distancia aproximada de 500 m.	2	0.10
Terrenos agrícolas con una alta cantidad de casas, arbustos, plantas y almacenes, de hasta 8 m de altura con una distancia de 250 m.	2.5	0.20
Pueblos pequeños con edificaciones no muy altas. (Bosques y terreno irregular).	3	0.40
Ciudades grandes con edificaciones altas.	3.5	0.80
Ciudades muy grandes con edificios muy altos y rascacielos; con poco flujo de aire.	4	0.16

Ilustración 41 Rugosidad del paisaje

(FAO, 2024)

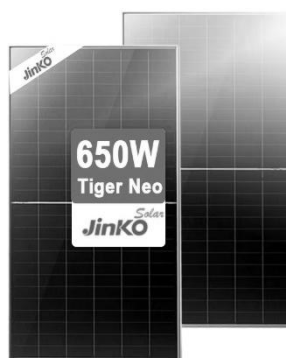


Ilustración 42 Panel Solar Jinko Tiger Neo 650 W

(Jinko Solar, n.d.)

MECHANICAL DATA						
Cell Type	N-type Mono-crystalline					
No. of Cells	156(2*76)					
Dimensions	2465*1134*30 mm					
Weight	34.0 kg					
Front Glass	2.0 mm, Anti-reflection Coating					
Back Glass	2.0 mm, Heat Strengthened Glass					
Frame	Anodized aluminium alloy					
J-Box	IP68 rated					
Protection Class	Class II					
IEC Fire Type	Class C					
Output Cables	4.0 mm ² (+) 400 mm, (-) 200 mm or Customized Length					

ELECTRICAL DATA(STC)						
Nominal Max. Power (Pmax)	625w	630w	635w	640	645	650
Power Tolerance	0- +3%					
Opt. Operating Voltage (Vmp)	47.54	47.7	47.86	48.02	48.17	48.33
Opt. Operating Current (Imp)	13.15	13.21	13.27	13.33	13.39	13.45
Open Circuit Voltage (Voc)	56.95	57.08	57.21	57.34	57.47	57.6
Short Circuit Current (Isc)	13.8	13.86	13.92	13.98	14.04	14.1
Module Efficiency	22.36%	22.54%	22.72%	22.90%	23.07%	23.25%

Ilustración 43 Especificaciones Jinko Tiger Neo 625-650 W

(Jinko Solar, n.d.)



Ilustración 44 Modelos de paneles solares Panasonic

(Solar Reviews, 2025)

ELECTRICAL SPECIFICATIONS		
Model	EVPV410HK	EVPV400HK
Rated Power (Pmax) ¹	410W	400W
Maximum Power Voltage (Vpm)	42.2V	41.4V
Maximum Power Current (Ipm)	9.72A	9.67A
Open Circuit Voltage (Voc)	49.4V	48.8V
Short Circuit Current (Isc)	10.42A	10.40A
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.26 %/°C	
Temperature Coefficient (Voc)	-0.24 %/°C	
Temperature Coefficient (Isc)	0.04 %/°C	
NOCT	44°C (±2°C)	
CEC PTC Rating	390.8W	381.0W
Module Efficiency	22.2%	21.6%
Power Density	20.6 W/ft ²	20.1 W/ft ²
Maximum System Voltage	1000V	
Maximum Series Fuse	25 A	
Watt Class Sorting	-0/+10W	

Ilustración 45 Especificaciones eléctricas Panasonic Evervolt HK Black Series 410 W

(Panasonic, n.d.)

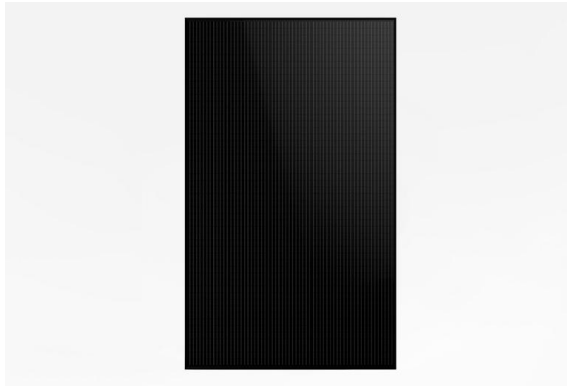


Ilustración 46 Panel Solar Maxeon Performance 6

(Solarhub, n.d.)

Electrical Data, Front STC Characteristics ²						
	SPR-P6-555-UPP	SPR-P6-550-UPP	SPR-P6-545-UPP	SPR-P6-540-UPP	SPR-P6-535-UPP	SPR-P6-530-UPP
Nominal Power (P _{nom})	555 W	550 W	545 W	540 W	535 W	530 W
Power Tolerance	+3/0%	+3/0%	+3/0%	+3/0%	3/0%	+3/0%
Panel Efficiency	21.3%	21.1%	20.9%	20.7%	20.6%	20.4%
Rated Voltage (V _{mpp})	40.0 V	39.7 V	39.5 V	39.3 V	39.0 V	38.8 V
Rated Current (I _{mpp})	13.89 A	13.85 A	13.80 A	13.76 A	13.71 A	13.67 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc}) (+/-3%)	47.3 V	47.1 V	46.9 V	46.7 V	46.5 V	46.3 V
Short-Circuit Current (I _{sc}) (+/-4%)	14.73 A	14.68 A	14.64 A	14.59 A	14.54 A	14.49 A

Ilustración 47 Especificaciones eléctricas Maxeon Performance 6

(Maxeon, n.d.)



Ilustración 48 Inversor Huawei SUN200-25KTL-MB0

(Huawei, n.d.)

SUN2000-12/15/17/20/25KTL-MB0

Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	SUN2000 -12KTL-MB0	SUN2000 -15KTL-MB0	SUN2000 -17KTL-MB0	SUN2000 -20KTL-MB0	SUN2000 -25KTL-MB0
Eficiencia					
Máxima eficiencia	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
Eficiencia europea ponderada	97.9%	98.0%	98.1%	98.1%	98.2%
Entrada					
Pot. FV Máx. recomendada	18,000 Wp	22,500 Wp	22,500 Wp	30,000 Wp	37,500 Wp
Máx. tensión de entrada ¹			1,100 V		
Rango de tensión a potencia máx.	370V~800V	410V~800V	440V~800V	480V~800V	530~800V
Rango de tensión del MPPT ²			200 V ~ 1,000 V		
Tensión de arranque			200 V		
Tensión nominal de entrada			600 V		
Máx. corriente de entrada			30 A (por MPPT) / 20 A (por string)		
Máx. corriente de cortocircuito			40 A		
Número de MPPTs			2		
Número máximo de entradas			4		
Salida					
Conexión a red eléctrica				Trifásico	
Potencia de salida nominal	12,000 W	15,000 W	17,000 W	20,000 W	25,000 W
Máx. potencia aparente	13,200 W	16,500 VA	18,700 VA	22,000 VA	27,500 VA
Tensión de salida nominal	220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 240 Vac / 415 Vac, 3 W / N + PE				
Frecuencia nominal de red	50 Hz / 60 Hz				
Máx. corriente de salida	20.2A/380Vac 19.1A/400Vac 18.5A/415Vac	25.2A/380Vac 23.9A/400Vac 23.1A/415Vac	28.6A/380Vac 27.1A/400Vac 26.1A/415Vac	33.6A/380Vac 31.9A/400Vac 30.8A/415Vac	42.0A/380Vac 39.9A/400Vac 38.5A/415Vac
Factor de potencia ajustable	0.8 capacitivo ... 0.8 inductivo				
Máx. distorsión armónica total	≤ 3 %				

Ilustración 49 Especificaciones técnicas Huawei SUN200-25KTL-MB0

(Huawei, n.d.)



Ilustración 50 Inversor Sungrow SG6KD (Sungrow, n.d.)

Entrada (CC)	SG3K-D	SG4K-D	SG5K-D	SG6K-D
Potencia máx. de entrada fotovoltaica	4000 W	5200 W	6500 W	7800 W
Tensión máx. de entrada fotovoltaica			600 V	
Tensión de arranque			120 V	
Tensión de entrada nominal			360 V	
Rango de tensión del MPP			90 V - 560 V	
Rango de tensión del MPP para potencia nominal	160 V a 480 V	210 V a 480 V	260 V a 480 V	315 V a 480 V
Cant. de MPPT			2	
Cantidad máx. de cadenas fotovoltaicas por MPPT			1	
Corriente máx. de entrada fotovoltaica			20 A (10 A / 10 A)	
Corriente máx. para conector de entrada			24 A (12 A / 12 A)	
Corriente máx. de cortocircuito de FV			24 A (12 A / 12 A)	
Salida (CA)				
Potencia de salida nominal de CA	3000 W	4000 W	5000 W	6000 W
Potencia de salida máx. de CA (FP=1)	3000 W	4000 W	5000 W	6000 W
Potencia de salida máx. aparente de CA	3000 VA	4000 VA	5000 VA	6000 VA
Corriente máx. de salida de CA	13,7 A	18,2 A	22,7 A	27,3 A
Tensión de CA nominal			220 Vca / 240 Vca	
Rango de tensión de CA			176 Vca-276 Vca (puede variar según los estándares de red)	
Frecuencia de red nominal			60 Hz	
Margen de frecuencia de red			55 Hz - 65 Hz (puede variar según los estándares de red)	
Distorsión armónica total (THD)			< 3 % (de la potencia nominal)	
Inyección de CC			< 0,5 % (de la corriente nominal)	
Factor de potencia			> 0,99 / 0,8 en adelante - 0,8 en retraso	

Ilustración 51 Especificaciones técnicas Sungrow SG6KD

(Sungrow, n.d.)



Ilustración 52 Inversor Growatt MAX 75KTL3

(Growatt, n.d.)

Hoja de datos	MAX 50KTL3-XL2	MAX 60KTL3-XL2	MAX 70KTL3-XL2	MAX 75KTL3-XL2
Datos de entrada (CD)				
Máxima potencia PV recomendada (STC)	75000W	90000W	105000W	112500W
Rango de potencia máxima*	360-650V			
Voltaje de arranque	195V			
Voltaje nominal	550V			
Rango de voltaje de MPPT	180V-800VDC			
Número de MPPTs	8			
Cadenas por MPPT	2			
Máxima corriente por MPPT	40A			
Corriente de corto circuito por MPPT	50A			
Salida (CA)				
Potencia nominal CA	50000W	60000W	70000W	75000W
Potencia aparente máxima	55000VA	66000VA	66000VA @208V 70000VA @220V 73000VA @230V	71000VA @208V 75000VA @220V 78400VA @230V
Voltaje nominal CA (Rango*)	127V/220V (118.8-139.7V)			
Frecuencia de red CA (Rango*)	60Hz (59.5-60.5Hz)			
Corriente máxima de salida	144.3A@220V	173.2A@220V	183.7A @220V	196.9A @220V
Factor de potencia nominal / ajustable	>0.99 / +0.8 ... -0.8			
Distorsión armónica total	<3%			
Tipo de conexión CA	3L+N+PE			

Ilustración 53 Especificaciones técnicas Growatt MAX 75KTL3

(Growatt, n.d.)



Ilustración 54 Turbina eólica Tesup Atlas 10 kW

(Tesup, n.d.)

GENERATOR	
Material	Silicium sheetmetal
Type	Permanent magnet generator
Weight	20 kg (44 lbs)
Max. Power	10 kW
Max. RPM	2000
Output voltage	Voltage can be adjusted by the built-in Charge Controller
Direction of Rotation	Both clockwise and counterclockwise
Charge Controller	Built-in, digital and manual voltage adjustment
Test Standards	EN 61000-6-1 (electromagnetic compatibility – immunity) EN 61000-6-3 (electromagnetic compatibility – emissions)

Ilustración 55 Especificaciones técnicas Tesup Atlas 10 kW

(Tesup, n.d.)



Ilustración 56 Turbina eólica Enair E200

(Bauer, L; n.d.)

	Características	Tipo de valores
GENERADOR	Potencia	20kW Max.
	Configuración	3 fases - 500V - transmisión directa
AEROGENERADOR	Configuración	3 palas, eje horizontal, sotavento
	Potencia Nominal	18kW IEC61400-2
	Clase de viento	CLASS I / IEC 61400-2 / NFN I - A
	Aplicaciones	Conexión a red - Micro red
	Velocidad nominal de rotación	120rpm
	Inicio de Rotación	1,85m/s
	Corte de producción	30m/s
	Protección	IP65 / alta protección ambiental
	Peso	1.000Kg
	Orientación	Orientación aerodinámica
ROTOR	Diámetro	9,8m
	Área de barrido	75,4m ²
	Longitud de Pala	4,5m
	Material de la pala	Fibra de vidrio, resina flex con poliuretano
	Tipo de control	Piso variable activo, regulación electrónica y freno

Ilustración 57 Especificaciones técnicas Enair E200

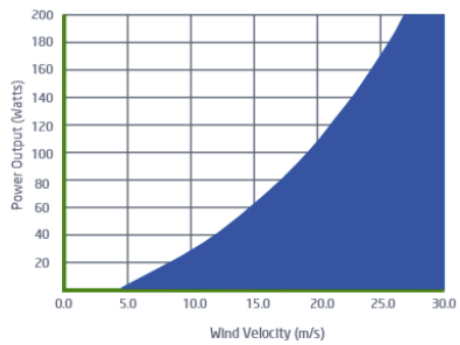
(Enair Ryse Energy, n.d.)



Ilustración 58 Turbina eólica Leading Edge v150

(Leading Edge Power, n.d.)

- vRotor diameter - 270mm
- Height - 918mm
- Rotor type - 3-Blade savonius
- Blade material - Aluminium
- Rated output - 24W at 8m/s (18mph)
- Peak output - 200W
- Cut-in speed - 5m/s (11mph)
- Survival wind speed - 27m/s (60mph)
- Weight - 9Kg
- Warranty - 2 years
- DC Voltage output - 12V, 24V, 48V



Wind turbine performance is subject to many factors. All output data contained in this document is indicative and actual turbine outputs will depend on the prevailing site and installation conditions.

Ilustración 59 Especificaciones técnicas Leading Edge v150

(Leading Edge Power n.d.)



Ilustración 60 Condensadora Lennox VEP120N432K2

(Lennox, n.d.)

SPECIFICATIONS	
PERFORMANCE	
Cooling Capacity* (Btu/h)	114,308
EER (W/W)	4.70
IEER (Btu/W)	Ducted 24.74
	Non ducted 25.50
Cooling Power Input (W)	7,130
Heating Capacity* (Btu/h)	127,955
COP (W/W)	4.87
Heating Power Input (W)	7,700
ELECTRICAL DATA	
Power Supply	220-240V/3Ph/50Hz - 208-230V/3Ph/60Hz
MOCF (A)	50
MCA (A)	43.6
No. of Compressors	1
No. of Fans	1
GENERAL DATA	
Combination Ratio Indoor / Outdoor	50% to 135%
Max. # of Indoor Units	19 units
Sound Pressure Level (dBA)	61
Refrigerant Type	R410a
Factory Refrigerant Charge (lbs / kg)	12.56 / 5.7
DIMENSIONS	
Unit Dimensions (in)	Height 66 1/2
	Width 36 5/8
	Depth 30 1/2
Liquid Pipe Connection (in)	1/2
Gas Pipe Connection (in)	1
Shipping Weight (lb / kg)	515 / 234
Net Weight (lb)	494 / 224

Ilustración 61 Especificaciones técnicas Lennox VEP120N432K2



Ilustración 62 Condensadora Lennox VEP150N432K2

SPECIFICATIONS	
PERFORMANCE	
Cooling Capacity* (Btu/h)	153,546
EER (W/W)	4.46
IEER (Btu/W)	Ducted 22.16
	Non ducted 22.80
Cooling Power Input (W)	10,100
Heating Capacity* (Btu/h)	170,607
COP (W/W)	4.46
Heating Power Input (W)	11,200
ELECTRICAL DATA	
Power Supply	220-240V/3Ph/50Hz - 208-230V/3Ph/60Hz
MOCF (A)	60
MCA (A)	51.2
No. of Compressors	1
No. of Fans	2
GENERAL DATA	
Combination Ratio Indoor / Outdoor	50% to 135%
Max. # of Indoor Units	26 units
Sound Pressure Level (dBA)	62
Refrigerant Type	R410a
Factory Refrigerant Charge (lbs / kg)	18.53 / 7.5
DIMENSIONS	
Unit Dimensions (in)	Height 66 1/2
	Width 52 3/4
	Depth 30 1/2
Liquid Pipe Connection (in)	1/2
Gas Pipe Connection (in)	1 1/8
Shipping Weight (lb / kg)	705 / 320
Net Weight (lb)	676 / 307

Ilustración 63 Especificaciones técnicas Lennox VEP150N432K2



Ilustración 64 Condensadora Lennox VEP210N432K2

SPECIFICATIONS	
PERFORMANCE	
Cooling Capacity* (Btu/h)	209,843
EER (W/W)	3.75
I-EER (Btu/W)	Ducted 21.93
	Non ducted 21.90
Cooling Power Input (W)	15,800
Heating Capacity* (Btu/h)	192,790
COP (W/W)	4.08
Heating Power Input (W)	16,900
ELECTRICAL DATA	
Power Supply (V / Ph / Hz)	220-240/3/50 - 208-230/3/60
MCCP (A)	100
MCA (A)	90
No. of Compressors	2
No. of Fans	2
GENERAL DATA	
Combination Ratio Indoor / Outdoor	50% to 135%
Max. # of Indoor Units	36 units
Sound Pressure Level (dBA)	65
Refrigerant Type	R410a
Factory Refrigerant Charge (lbs / kg)	16.3 / 6.3
DIMENSIONS	
Unit Dimensions (in)	Height 66 1/2
	Width 52 3/4
	Depth 30 1/2
Liquid Pipe Connection (in)	5/8
Gas Pipe Connection (in)	1 1/8
Oil Balancing Pipe (in)	3/8
Shipping Weight (lb / kg)	811 / 368
Net Weight (lb)	783 / 355

Ilustración 65 Especificaciones técnicas Lennox VEP210N432K2



Ilustración 66 Niveles de oficina Edificio Preda



Ilustración 67 Niveles de oficina Edificio Preda



Ilustración 68 Niveles de oficina en Edificio Preda

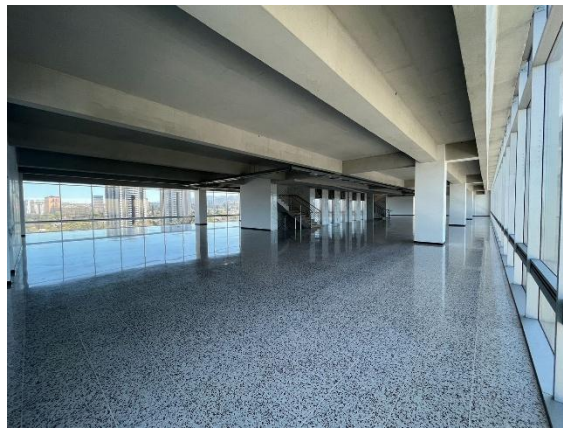
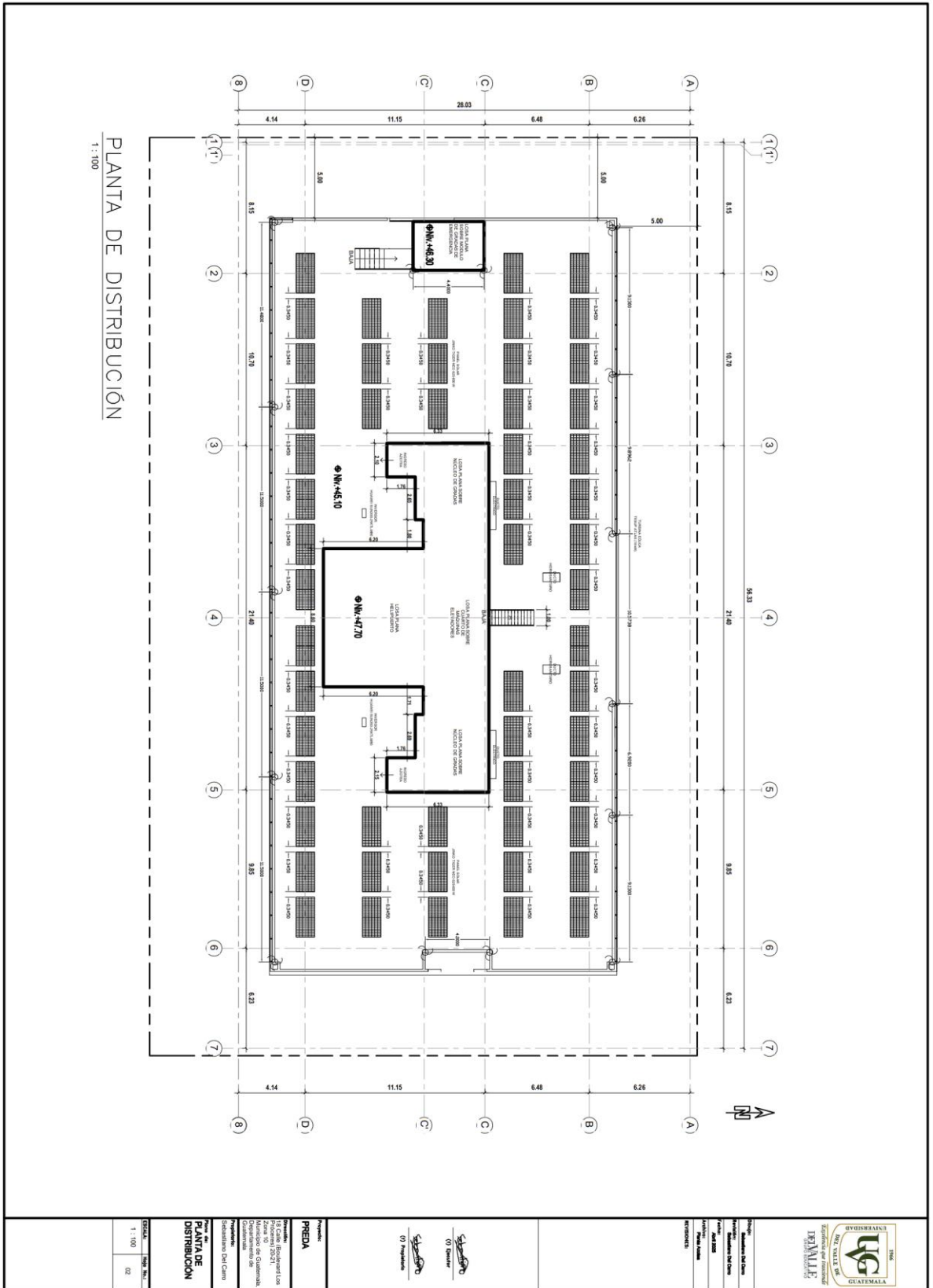


Ilustración 69 Niveles de oficina en Edificio Preda



Ilustración 70 Terraza del quinto nivel en Edificio Preda



PLANTA DE DISTRIBUCIÓN
1 : 100

Ilustración 72 Planta de distribución

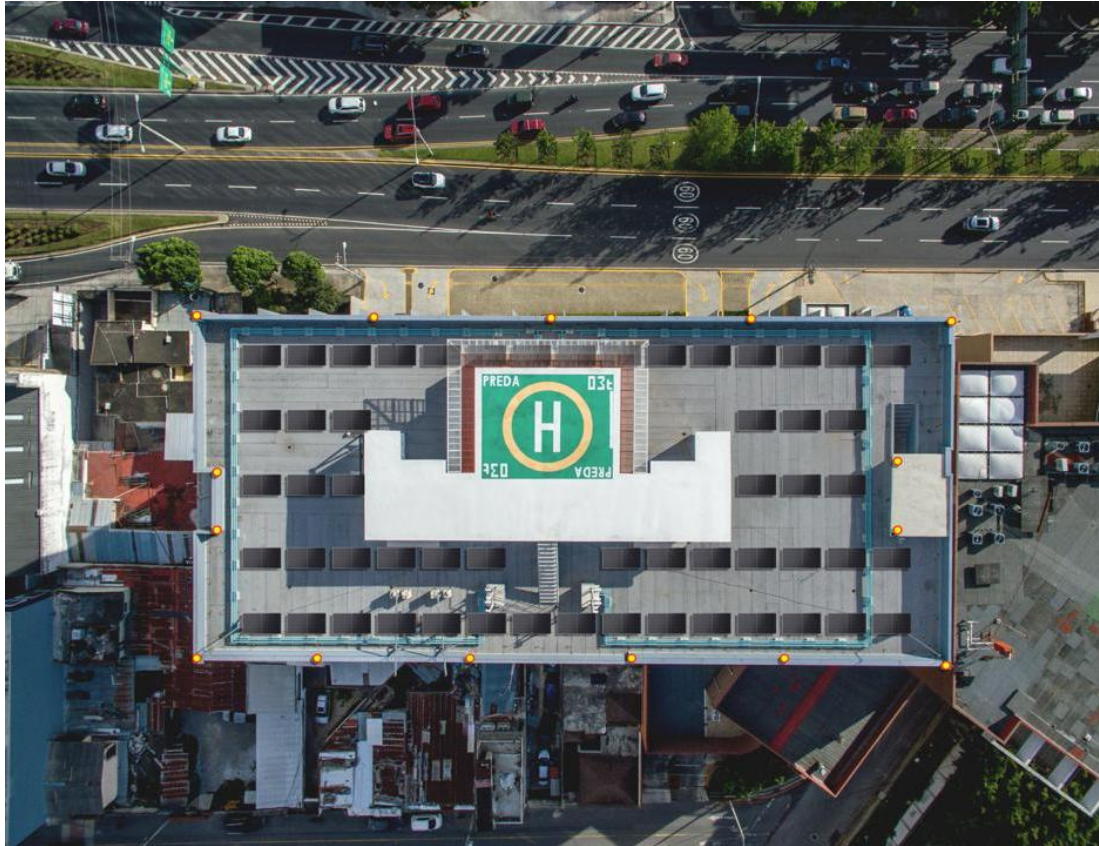


Ilustración 73 Render de planta de distribución

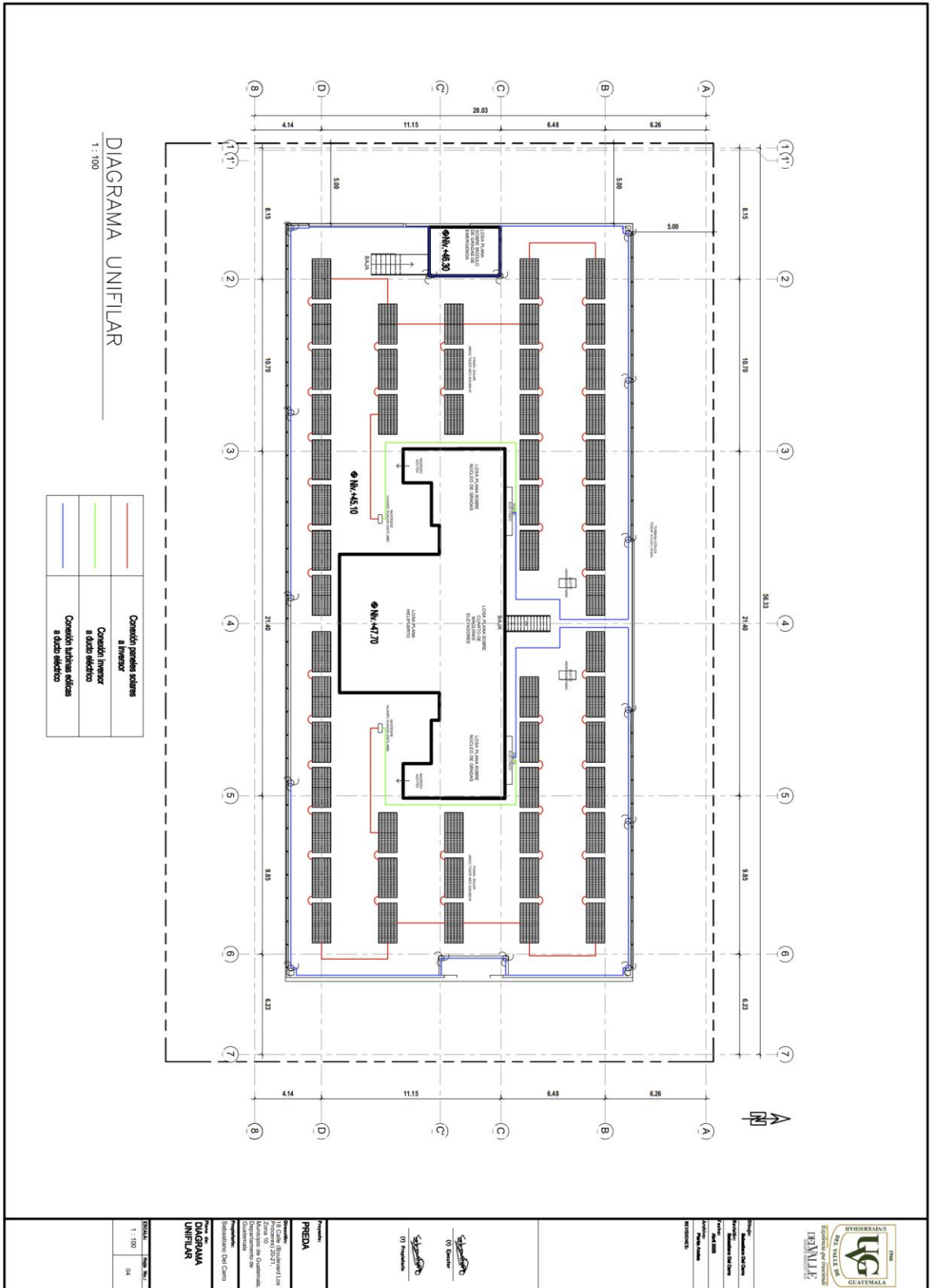


Ilustración 75 Diagrama unifilar

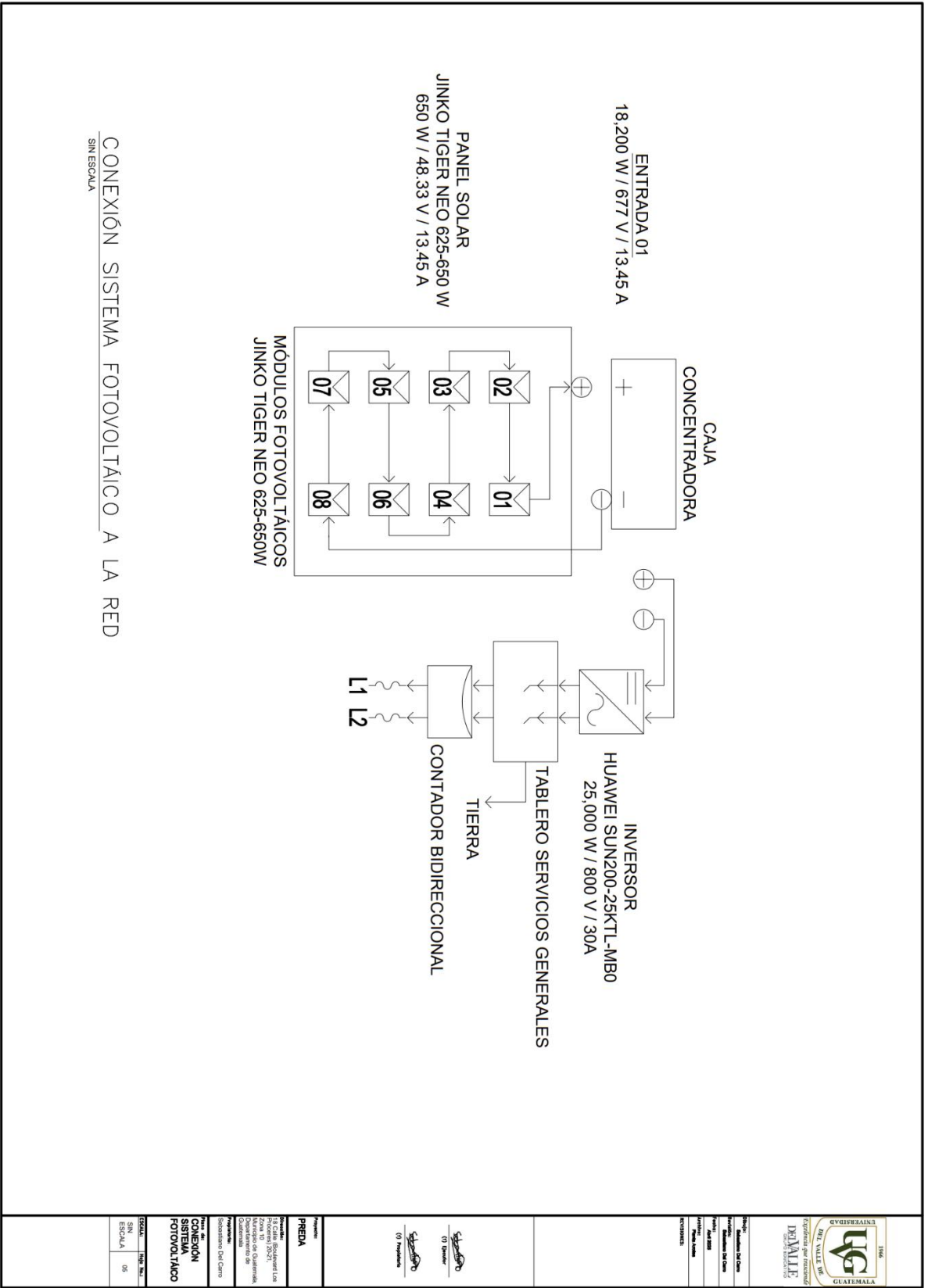


Ilustración 76 Diagrama de conexión del sistema fotovoltaico a la red

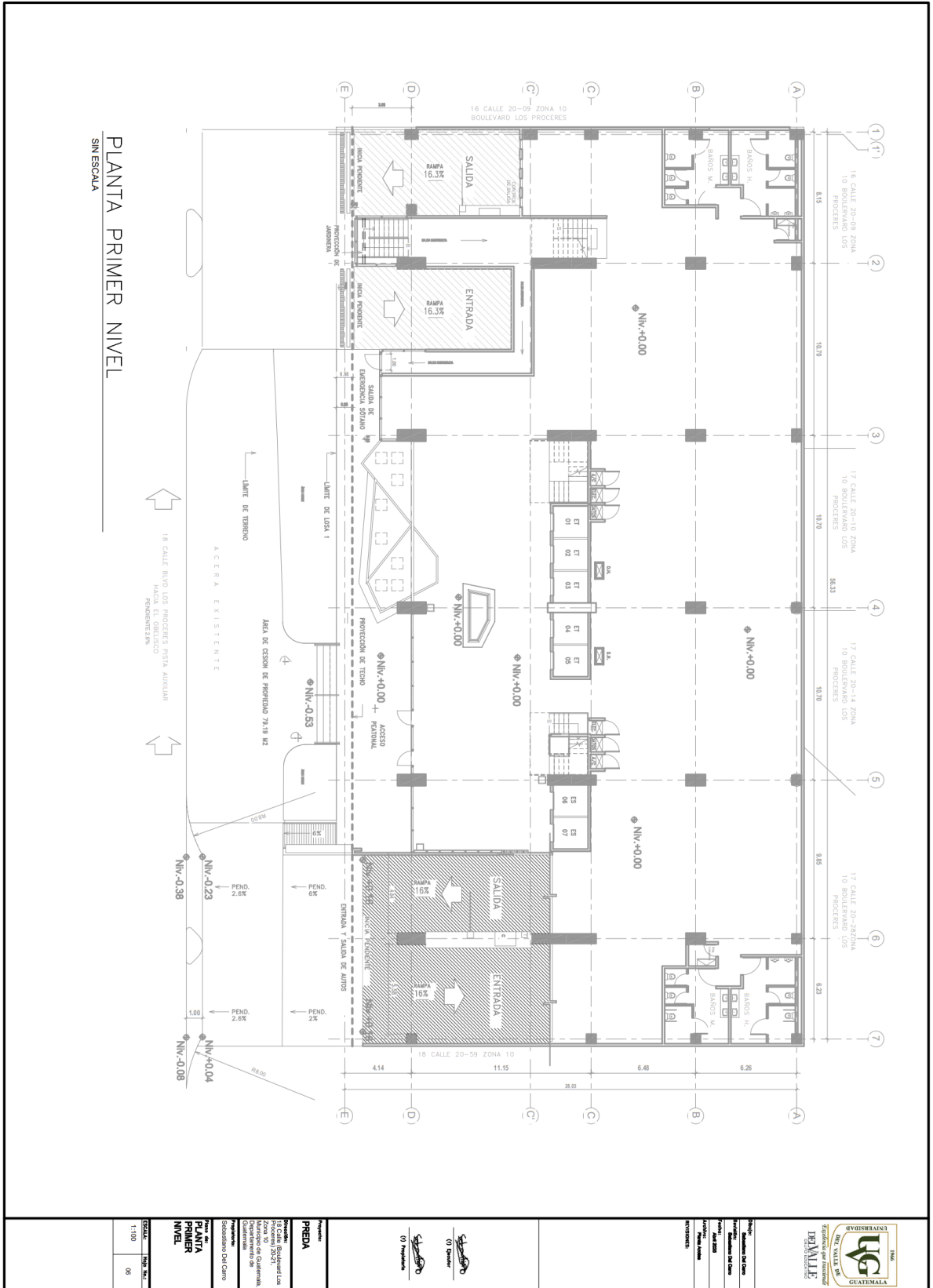


Ilustración 77 Planta de distribución del primer nivel

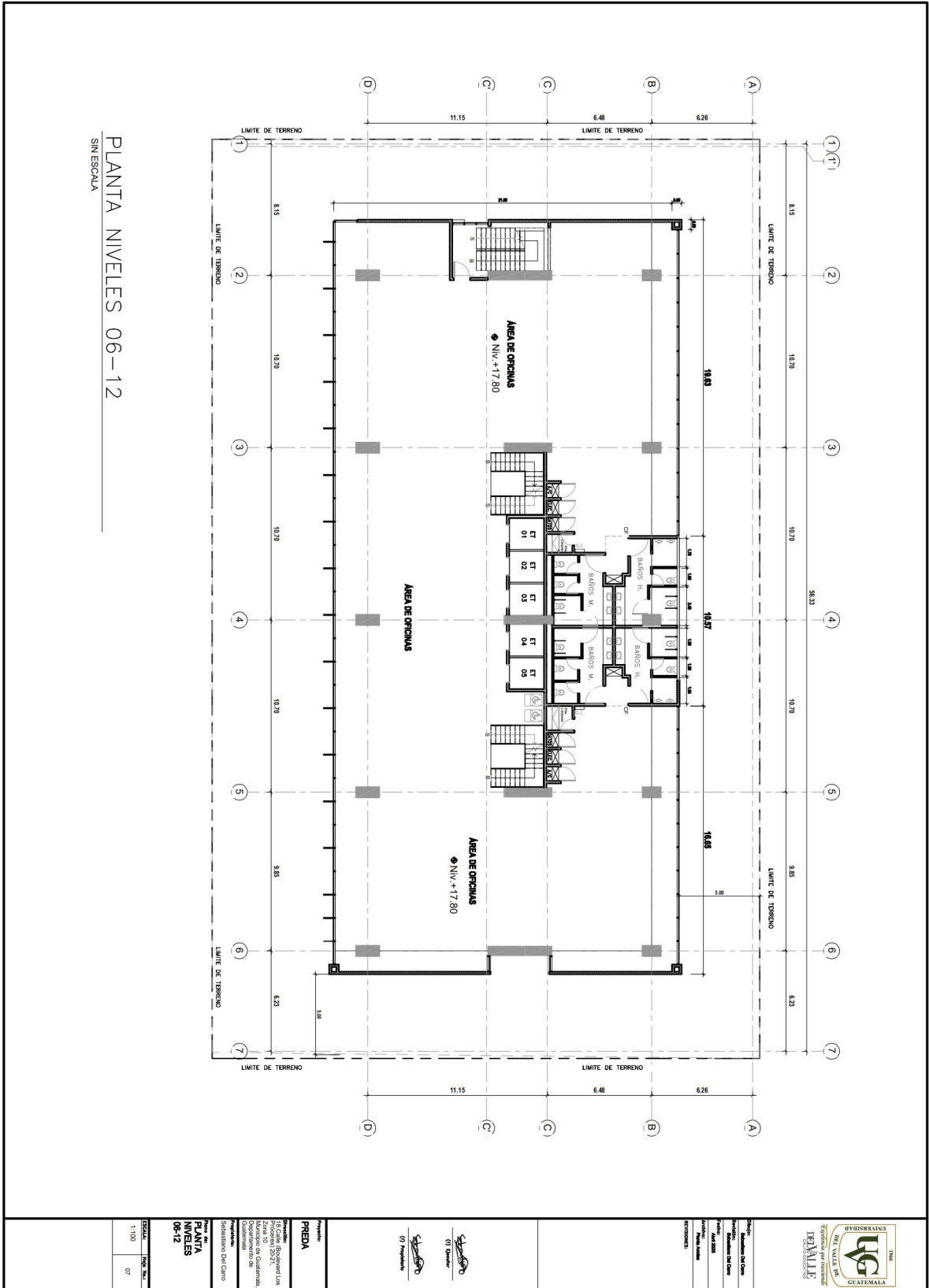


Ilustración 78 Planta de distribución de los niveles 06-12

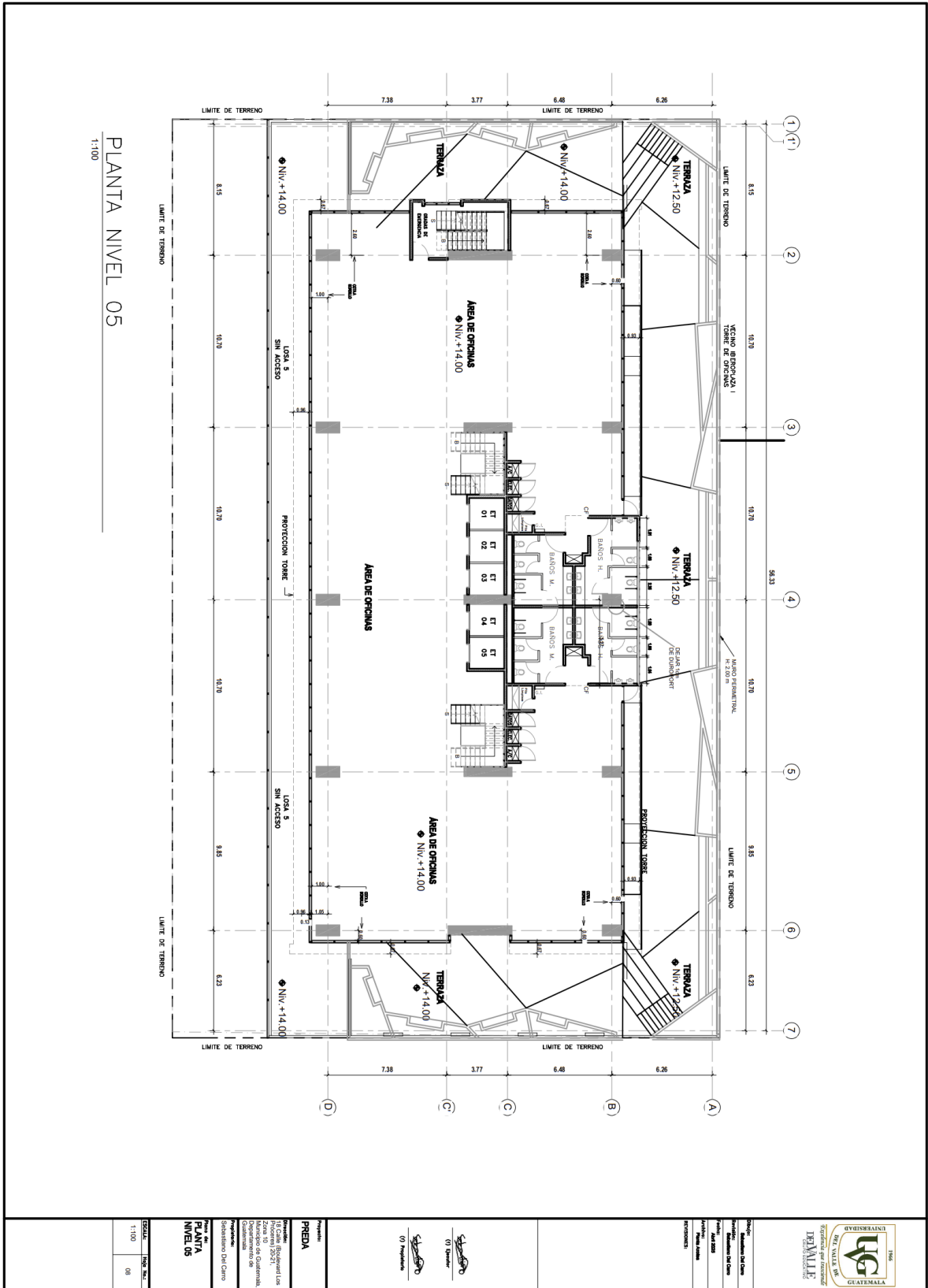


Ilustración 79 Planta de distribución del quinto nivel

