

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
INSTITUTO DE INGENIERÍA EN DISEÑO

“PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE VIVIENDA
BIOCLIMÁTICA CON INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA”

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN DISEÑO

PRESENTA:
DINORAH ORTEGA TORRES

DIRECTOR
M. C. VÍCTOR MANUEL CRUZ MARTÍNEZ

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA. MARZO 2020

DEDICATORIA

Esta tesis se encuentra dedicada con amor a mis padres, por ser los principales promotores de mis sueños y por cada día confiar y creer en mí, por su compañía y por todo el apoyo económico y moral que me han brindado a lo largo de mi vida, en especial a lo largo de mi carrera universitaria, a ellos, por anhelar y buscar siempre lo mejor para mis hermanas y yo, por los consejos y por cada una de sus palabras que me han guiado para animarme a no rendirme y seguir mis sueños, por tanto amor, comprensión y cariño que ayudaron a convertirme en lo que soy ahora. Me encuentro infinitamente agradecida ya que sin ellos nada de esto hubiera sido posible. Los amo eternamente.

De igual manera, a mis hermanas y mejores amigas que me han brindado su amor y apoyo a lo largo de mi vida, por el conocimiento que me han transferido a lo largo de la misma y en la creación de esta tesis, quienes me mostraron que con esfuerzo y dedicación se pueden lograr grandes cambios, a ellas, mis ejemplos a seguir. Las amo infinitamente.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia y amigos, porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de disfrutar al lado de personas especiales que amo y me aman.

Gracias a la vida por permitirme este nuevo triunfo y gracias a la universidad, por enseñarme lo que tanto me apasiona, por poner en mi camino profesores que me impulsaron a seguir aprendiendo, gracias por haberme permitido encontrar a verdaderas amistades, con las que compartí grandes momentos que nos unieron cuando la familia se encontraba lejos, que a pesar de la distancia han mostrado su amistad y apoyo. Igualmente, gracias por permitirme conocer sentimentalmente a una persona con quien he congeniado, me ha apoyado y defendido parte de mi estadía en la universidad, motivándome a ser alguien mejor cada día.

Agradezco a mi director de tesis al M. C. Víctor Manuel Cruz Martínez, quien a pesar del tiempo y trabajo, al final en conjunto se pudo lograr el resultado deseado, agradezco a mis revisores que me ayudaron a encauzar el proyecto, en específico al sinodal el Mtro. Itzcóatl Bolaños Gómez por dar de su tiempo para corregir y transferir de su conocimiento.

Finalmente agradezco a los lectores, por permitir incluir dentro de su repertorio de información mental mis experiencias, investigaciones y conocimiento adquirido.

ÍNDICE GENERAL

<i>DEDICATORIA</i>	3
<i>AGRADECIMIENTOS</i>	5
<i>ÍNDICE GENERAL</i>	7
<i>LISTA DE TABLAS Y FIGURAS</i>	11
<i>NOMENCLATURA</i>	16
<i>RESUMEN</i>	19
Capítulo I. ASPECTOS PRELIMINARES	21
1.1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	21
1.2. <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	22
1.3. <i>ANTECEDENTES</i>	24
1.4. <i>JUSTIFICACIÓN</i>	26
1.5. <i>OBJETIVO GENERAL</i>	26
1.6. <i>OBJETIVOS PARTICULARES</i>	27
1.7. <i>LIMITACIONES DE LA TESIS</i>	28
1.8. <i>METODOLOGÍA</i>	28
Capítulo II. MARCO TEÓRICO	29
2.1. <i>ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA</i>	29
2.1.1. TIPOS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA	30
2.1.1.1. Células de silicio monocristalino	30
2.1.1.2. Células de silicio multicristalino	30
2.1.1.3. Células de silicio amorfo	31
2.1.2. INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA	31
2.1.2.1. Sustitución de vidrio con vidrio fotovoltaico	32
2.1.2.1.1. Ventanas fotovoltaicas	32
2.1.2.1.2. Tragaluz	33
2.1.2.1.3. Lucernario	34
2.1.2.1.4. Muro Trombe.....	34
2.1.2.2. Integración o incorporación de sistema fotovoltaico en techado	35
2.1.2.2.1. Sustitución de tejas por elementos fotovoltaicos.	35
2.1.2.2.2. Voladizos.....	36
2.1.3. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	37
2.1.3.1. Sistemas fotovoltaicos autónomos	37
2.1.3.2. Sistemas fotovoltaicos interconectados	37
2.1.3.2.1. Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala.	38
2.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA FOTOVOLTAICA	39

2.1.4.1.	Efecto fotovoltaico	39
2.1.4.2.	Principales parámetros	40
2.1.4.3.	Arreglo fotovoltaico	41
2.2.	ENERGÍA SOLAR	42
2.2.1.	GEOMETRÍA SOLAR	42
2.2.1.1.	Movimiento de rotación y traslación de la tierra.....	42
2.2.2.	ÁNGULOS SOLARES	43
2.2.2.1.	Declinación, δ	44
2.2.2.2.	Ángulo de hora, h	45
2.2.2.3.	Ángulo de Altitud y Azimut Solar	45
2.2.2.4.	Ángulo de Altitud Solar, α	45
2.2.2.5.	Ángulo de incidencia solar (θ)	46
2.3.	PLACAS TRANSPARENTES	48
2.3.1.	COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR	49
2.3.1.2.	Radiación solar absorbida, (s)	49
2.3.1.2.1.	Modificador de masa de aire, (M)	49
2.3.1.2.2.	Masa de aire, (m)	50
2.3.1.2.3.	Modificador del ángulo de incidencia, (K θ).....	50
2.3.1.2.4.	Ángulo de incidencia efectivo para la radiación difusa y reflejada.....	51
2.3.2.	TEMPERATURA DE LA CELDA	51
2.4.	ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA	52
2.4.1.	EL ENTORNO CLIMÁTICO.....	52
2.4.1.1.	Ventilación natural.....	52
2.4.1.2.	Vegetación.....	56
2.4.2.	FORMA, ORIENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL EDIFICIO	57
2.4.2.1.	Forma y orientación	57
2.4.3.	LOS CIERRES, EL AISLAMIENTO Y LA INERCIA TÉRMICA	60
2.4.3.1.	Aislamiento	60
2.5.	PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO DEL SFV	64
2.5.1.	ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	64
2.5.1.1.	Diagrama de programación de tiempo	65
2.5.2.	DIMENSIONAMIENTO	65
2.5.2.1.	Potencia de salida tomando en cuenta la influencia de radiación y temperatura de kalogiroy, soteris.....	65
2.5.2.1.1.	Valores	66
2.5.2.1.2.	Radiación solar absorbida por la celda	66
2.5.2.1.3.	Temperatura de la celda	70
2.5.2.1.4.	Potencia máxima	70
2.5.2.1.5.	Número de paneles.....	71
2.5.2.2.	Potencia de salida del panel en condiciones óptimas.....	72
2.5.2.2.1.	Valores	72
2.5.2.2.2.	Número de paneles.....	72
Capítulo 3. ANÁLISIS DE INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA		73

3.1.	<i>PROPUESTAS DE INTEGRACIÓN FOTOVOLTAICA A EDIFICACIONES</i>	73
3.1.1.	SFV INTEGRADO COMO DECORACIÓN DE JARDINES O TERRAZAS	73
3.1.2.	SFV ADAPTADO A TECHADO CON VENTILACIÓN	74
3.2.	<i>CONDICIONES DEL PANEL PARA DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO</i>	75
3.2.1.	CÁLCULO TOMANDO EN CUENTA LA INFLUENCIA DE RADIACIÓN Y TEMPERATURA EN POTENCIA DE SALIDA DEL PANEL POLICRISTALINO DE VIDRIO TEMPLADO DE 250W.....	76
3.2.2.	CÁLCULO TOMANDO LOS VALORES DEL PANEL EN CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL PANEL POLICRISTALINO DE VIDRIO TEMPLADO DE 250 W	80
3.2.3.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DIMENSIONAMIENTO	81
3.3.	<i>ANÁLISIS DE INTEGRACIÓN DEL SFV Y SISTEMAS PASIVOS CON LA METODOLOGIA ARQUITECTONICA</i>	82
3.3.1.	REQUERIMIENTOS METODOLÓGICOS.....	82
3.3.1.1.	Metodología arquitectónica.....	82
3.3.1.2.	Factores bioclimáticos.....	84
3.3.1.3.	Factores de Integración del SFV al edificio.....	84
3.3.1.4.	Factores para un dimensionamiento de un SFV	85
3.3.2.	INTEGRACIÓN DE FACTORES A FASE ARQUITECTÓNICA.....	85
Capítulo IV. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE VIVIENDA BIOCLIMÁTICA CON INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA		89
4.1	<i>DESCRIPCIÓN GENERAL</i>	92
Capítulo V. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE VIVIENDA BIOCLIMÁTICA CON INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA		97
5.1.	<i>FASE 1 DIAGNÓSTICO</i>	97
5.1.1.	CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS	97
5.1.1.1.	Usuario principal	97
5.1.1.2.	Requerimientos del usuario:	97
5.1.1.3.	Análisis de consumo energético preliminar	98
5.1.1.4.	Localización del predio.....	101
5.1.2.	CARACTERÍSTICAS EXTRÍNSECAS.....	102
5.1.2.1.	Subsistema construido.....	102
5.1.2.1.1.	Determinación del estilo arquitectónico	102
5.1.2.2.	Sistemas fotovoltaicos del mercado	106
5.1.2.3.	Subsistema natural.....	107
5.1.2.3.1.	Características climatológicas del sitio	107
5.1.2.3.2.	Asoleamientos	108
5.1.2.3.3.	Temperatura ambiente.....	111
5.1.2.3.4.	Vientos dominantes.....	111
5.2.	<i>FASE 2 ANÁLISIS</i>	112
5.2.1.	PROGRAMA ARQUITECTÓNICO DEFINITIVO	112
5.2.2.	ESTRUCTURACIÓN DEL CONCEPTO ARQUITECTÓNICO	112
5.2.2.1.	Diagrama de interrelación	112

5.2.2.2.	Diagrama de funcionamiento.....	113
5.2.3.	GENERACIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO	113
5.2.3.1.	Estudio de áreas	113
5.2.3.2.	Áreas resultantes de los espacios arquitectónicos	115
5.2.4.	Zonificación	117
5.3.	<i>FASE 3 SINTESIS</i>	117
5.3.1.	CONCEPTO ARQUITECTÓNICO	117
5.3.1.1.	Componentes estéticos.....	118
5.3.1.2.	Componentes de diseño	118
5.3.1.3.	Principios ordenadores	119
5.3.2.	PARTIDO ARQUITECTÓNICO.....	119
5.3.2.1.	Dimensionamiento.....	121
5.3.3.	ANTEPROYECTO	124
5.4.	<i>FASE 3 DESARROLLO</i>	125
5.4.1.	EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE ANTEPROYECTO.....	125
5.4.1.1.	Propuesta final	127
5.4.2.	EXPOSICIÓN DE APLICACIÓN DE ELEMENTOS BIOCLIMÁTICOS	129
5.4.2.1.	Ventilación natural.....	129
5.4.2.2.	Forma y orientación de la planta arquitectónica	132
5.4.2.3.	Aislamiento térmico.....	134
5.4.3.	EXPOSICIÓN DE APLICACIÓN DE ELEMENTOS FOTOVOLTAICOS.....	136
5.4.3.1.	Análisis de sombras.....	137
5.4.3.2.	Detalle de instalación de paneles fotovoltaicos.....	138
5.4.4.	PROYECTO ARQUITECTÓNICO	139
5.4.4.1.	Realidad virtual	139
5.5.	<i>FASE 4 EVALUACIÓN</i>	141
5.5.1.	DISMINUCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO POR ELEMENTOS BIOCLIMÁTICOS 141	
5.5.2.	PORCENTAJE DE ENERGÍA SOLVENTADA POR EL SFV	141
Capítulo VI. CONCLUSIONES		146
6.1.	<i>APORTACIONES</i>	147
6.2.	<i>TRABAJOS FUTUROS</i>	147
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>		148
ANEXOS		152
•	A) Modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración a pequeña escala	152
•	B) VALORES PARA EL CÁLCULO DEL FLUJO DE CALOR A TRAVÉS DE LA ENVOLVENTE 155	
•	C) PROGRAMA DE ACTIVIDADES	157
•	D) PLANOS ARQUITECTÓNICOS	159

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Metodología Six Sigma (cero defectos) aplicada a metodología	28
Tabla 2 Número de día promedio recomendado para cada mes, tomando a “i” como el día del mes en el que se desea calcular la declinación. Elaboración propia con información tomada del libro “solar energy eengineering”	45
Tabla 3 Valores de las constantes α_i para varios paneles fotovoltaicos probados en el NIST.....	49
Tabla 4 Datos de exposición del módulo fotovoltaico bajo condiciones SRC y NOCT. .	51
Tabla 5 Propiedades de los materiales de construcción y aislamiento	62
Tabla 6 Resistencia térmica de aire estancado y resistencia superficial (m^2-k/w).....	63
Tabla 7 Tabla de enlistado de aparatos electrodomésticos utilizados por el usuario y su tiempo de uso.	64
Tabla 8 Tabla de enlistado de aparatos electrodomésticos para calcular el consumo energético.....	64
Tabla 9 <i>Dimensionamiento y área con el panel fotovoltaico tomado en diferentes condiciones. Fuente propia.</i>	81
Tabla 10 Análisis de metodología arquitectónica a utilizar. Fuente propia.....	82
Tabla 11 Listado de aparatos electrodomésticos usados por el usuario y tiempo de uso. Fuente propia.....	99
Tabla 12 Tabla de listado de aparatos electrodomésticos para calcular el consumo energético. Fuente propia.	100
Tabla 13 Área resultante de la sala. Fuente propia	115
Tabla 14 Área resultante de cocina. Fuente propia.	115
Tabla 15 Área resultante de comedor. Fuente propia.	116
Tabla 16 Área resultante de recamara. Fuente propia.	116
Tabla 17 Área resultante de Baño. Fuente propia	116
Tabla 18 Área resultante de cochera. Fuente propia.....	117
Tabla 19 Área para ubicación de los equipos fotovoltaico. Fuente propia.....	123
Tabla 20 Consumo energético modificado, eliminando el uso de ventilador y disminuyendo el uso de iluminación artificial. Fuente propia con información tomada de la tabla 9	143
Tabla 21 Análisis de costos del Sistema fotovoltaico propuesto. Fuente propia.	145
Tabla 22 Programa de Actividades de usuario principal lunes a viernes	157
Tabla 23 Programa de Actividades de usuario principal madre soltera Sábado	157
Tabla 24 Programa de Actividades de usuario principal hijo de 4 años lunes – viernes.	158
Tabla 25 Programa de Actividades usuario principal hijo de 4 años. Sábado – Domingo.	158

Figura 1 Estructura de la producción de energía primaria de México. Fuente: SENER con información del Balance Nacional de Energía 2018.	22
Figura 2 Edificación con la implementación de un sistema fotovoltaico, Huajuapán de León. Fuente propia	24
Figura 3 Edificación con la implementación de un sistema fotovoltaico, Huajuapán de León. Fuente propia.....	25
Figura 4 Aplicaciones de integración fotovoltaica en cubiertas y fachadas. Elaboración propia con información de la guía de Integración Solar Fotovoltaica.	31
Figura 5 Ventanas fotovoltaicas en lado sur del edificio como espacio parcialmente aislado. Fuente: propia con información del libro “Solar Energy Engineering”.	32
Figura 6 Ventanas fotovoltaicas en el lado sur en parte de techo y pared del edificio. Fuente: propia con información del libro “Solar Energy Engineering”.....	33
Figura 7 Utilización de vidrio fotovoltaico en tragaluz y ventanas verticales para brindar iluminación al interior del edificio. Fuente: propia con información del libro “Solar Energy Engineering”	33
Figura 8 Edificio Lucía implementación de lucernario fotovoltaico en la Universidad de Valladolid. Fuente web	34
Figura 9 Denominado muro de Trombe, en honor al ingeniero Felix Trombe, sistema de calefacción o refrigeración según sea la necesidad. Elaboración propia	35
Figura 10 Sistema solar colocado al mismo nivel de la cubierta. Fuente web.....	36
Figura 11 Sistema solar colocado encima de la cubierta. Fuente web.	36
Figura 12 Uso de un sistema Fotovoltaicas en porche. Fuente web.....	36
Figura 13 Diagrama esquemático de un sistema autónomo. Elaboración propia.	37
Figura 14 Diagrama esquemático de un sistema interconectado a la red. Elaboración propia.....	37
Figura 15 Curva representativa de conexión de una celda a) serie o b) paralelo. Elaboración propia.....	41
Figura 16 Movimiento anual de la tierra alrededor del sol. Elaboración propia	42
Figura 17 Movimiento del sol anual. Elaboración propia.....	43
Figura 18 Representación gráfica de los ángulos solares. Elaboración propia.	43
Figura 19 Declinación. Elaboración propia.	44
Figura 20 Representación gráfica de los ángulos de altitud y azimut solar con respecto a una posición. Elaboración propia con información tomada del libro “solar energy egineering”.	45
Figura 21 Representación gráfica de los ángulos influyentes en colocación de un panel fotovoltaico. Elaboración propia con información tomada del libro “solar energy egineering”.	46
Figura 22 Recomendación del SEN para ángulo y distancia entre paneles. Elaboración propia.....	47
Figura 23 Ángulos de incidencia y refracción. Elaboración propia.....	48
Figura 24 Comportamiento del flujo de aire con respecto al barlovento y el sotavento. Elaboración propia con información tomada del libro “Solar Energy Engineering”. ...	53

Figura 25 Representación de flujo de aire con uso de paredes de alas. Elaboración propia con información tomada del libro “Solar Energy Engineering”	53
Figura 26 Diferencia de velocidad de aire en el interior cuando la apertura de salida es mayor que la entrada. Imagen editada tomado del libro “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”	54
Figura 27 Comportamiento del flujo de aire con el uso de bardas o setas cuando la conducción de aire perpendicular se encuentra cerrado. Imagen editada tomada del libro “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”	54
Figura 28 Importancia de comportamiento del flujo de aire con respecto a aberturas de entrada y salida de aire. Imagen editada tomada del libro “la casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”	54
Figura 29 Representación de la corriente convectiva o forzada. Fuente propia.	55
Figura 30 Alteración de ventilación interior con juego con el posicionamiento de entradas de chorros de aire. Fuente propia.....	55
Figura 31 Reducción de temperatura al interior de la casa por uso de vegetación. Imagen editada tomada del libro “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”	56
Figura 32 Influencia del recubrimiento vegetal sobre la temperatura superficial. Imagen tomada del libro “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”. ...	57
Figura 33 Mejor posicionamiento con eje largo del Este a Oeste para zonas calurosas. Elaboración propia	58
Figura 34 Uso de ventiladores de mesa para zonas calurosas. Imagen editada.....	59
Figura 35 Uso de ventiladores de techo a una altura de 2.70 m para ventilar el interior. Imagen editada.....	59
Figura 36 Transferencia de calor en pared y pared multicapa de grosor x. Elaboración propia.	61
Figura 37 Absorción de energía con esmaltado. Elaboración propia.	63
Figura 38 Ejemplo de utilización de diagrama de potencia máxima. Elaboración propia.	65
Figura 39 Influencia de la radiación y temperatura. Elaboración propia.....	66
Figura 40 Uso de un sistema Fotovoltaica con fin decorativo. Figura editada tomada de la web.	73
Figura 41 Uso de sistema Fotovoltaico con ventilación, aislamiento o iluminación. Fuente propia	74
Figura 42 Representación gráfica del panel fotovoltaico. Fuente CORADIR S.A.	75
Figura 43 Ficha técnica del panel fotovoltaico de 250W. Fuente CORADIR S.A.....	75
Figura 44 Localización del predio de estudio. Fuente propia con información del prontuario de la Villa de Zaachila y Google maps.	101
Figura 45 Orientación del predio sin escala. Fuente Google maps 2006.....	102
Figura 46 Vistas predio. Fuente propia.	102
Figura 47 Análisis de elementos arquitectónicos del mercado municipal de la Villa de Zaachila. Fuente propia.	103

Figura 48 Análisis de elementos arquitectónicos de la casa propia de la Villa de Zaachila. Fuente propia.	103
Figura 49 Análisis de elementos arquitectónicos del Palacio Municipal de la Villa de Zaachila. Fuente propia.	104
Figura 50 Análisis de elementos arquitectónicos de la iglesia principal de la Villa de Zaachila. Fuente propia.	104
Figura 51 Análisis de elementos arquitectónicos del quiosco de la Villa de Zaachila. Fuente propia.....	105
Figura 52 Análisis de elementos arquitectónicos del reloj de la Villa de Zaachila. Fuente propia.....	105
Figura 53 Sistemas fotovoltaicos más conocidos del mercado A) Transparentes de 36 celdas, B) Transparente de 54 celdas, C) Transparente de 60 celdas, D) templado de 36 celdas, E) Templado de 60 celdas y F) Templado de 72 celdas. Fuente VGS.....	107
Figura 54 Datos climatológicos de la Villa de Zaachila, Oaxaca, México. Fuente prontuario de información Geográfica municipal de la Villa de Zaachila.....	107
Figura 55 Carta Solar Estereográfica de la Villa de Zaachila. Fuente SunEarthTools.com	108
Figura 56 Día solar durante el año 2019. Fuente weatherspark.com	108
Figura 57 Villa de Zaachila y colindantes. Fuente prontuario de la villa de Zaachila.	109
Figura 58 Relieves de la Villa de Zaachila y colindantes. Fuente prontuario de la villa de Zaachila.	110
Figura 59 Temperatura promedio por hora (línea púrpura), con las bandas de los percentiles 25° a 75° y 10°. La línea delgada punteada es temperatura promedio por hora percibida. Fuente Weather spark.....	111
Figura 60 Vientos dominantes de la Villa de Zaachila a lo largo del año. Fuente Weather spark.	111
Figura 61 Diagrama de interrelación. Fuente propia.	112
Figura 62 Diagrama de Áreas. Fuente propia.	113
Figura 63 Distribución y medidas: A) Sala, B) Comedor, C) Distancia mínima entre dos áreas de trabajo paralelas, D) Soluciones en paralelo abiertas en ambos extremos, E) Distribución de toilette con lavabo y WC. Encontrado, F) Baño chico con regadera y zona de vestidor y G) Habitación. Imágenes editadas del libro “medidas de una casa”.	114
Figura 64 Zonificación obtenida. Fuente propia.....	117
Figura 65 Directorio de posibles elementos fotovoltaicos a emplear. Figura editada fuente VGS.	118
Figura 66 A) Retícula con líneas a 90 grados B) Retícula con líneas a 103 y 13 grados. Fuente propia.....	119
Figura 67 Diseño final con ayuda de estudio de áreas, zonificación y retícula. Fuente propia.....	119
Figura 68 Posibles ventajas y desventajas de utilizar los espacios marcados de amarillo para integrar o sustituir un SFV. Fuente propia.....	120

Figura 69 Representación gráfica del panel fotovoltaico. Fuente CORADIR S.A.....	121
Figura 70 Ficha técnica del panel fotovoltaico de 250W.Fuente CORADIR S.A.	121
Figura 71 <i>Ficha técnica del panel fotovoltaico. Fuente VGS.</i>	122
Figura 72 Equipos para uso de un sistema fotovoltaico interconectado. Imagen propia con información de conferencia por Alcomex.	123
Figura 73 Bocetos de variables que debe contener la casa. Fuente propia.....	124
Figura 74 Elementos arquitectónicos propios del estilo colonial para ser integrados a la edificación. Fuente propia.	124
Figura 75 Primera propuesta de diseño arquitectónico. Fuente propia.....	124
Figura 76 Primera evaluación de impactos a la propuesta de distribución planteados. Fuente propia.	125
Figura 77 Segunda propuesta y evaluación a la distribución planteada. Fuente propia.	126
Figura 78 Tercera propuesta planteada, y evaluación a la nueva distribución planteada. Fuente propia.	126
Figura 79 Tercera y última propuesta de diseño con la opción a la evaluación. Fuente propia.	127
Figura 80 Segunda evaluación a la propuesta de diseño de la edificación. Fuente Propia.	127
Figura 81 Evaluación a la primera propuesta de diseño de la edificación. Fuente propia.	127
Figura 82 a) Planta Arquitectónica, b) Fachada Frontal, c) Fachada Lateral Izquierda, d) Fachada posterior.....	128
Figura 83 Formas de ventilación propuestas en la edificación: a) Flujo de aire recto, b) Salida de flujo de aire por abertura superior. Fuente propia.....	129
Figura 84 Flujo de aire adherido al techado para disminución de temperatura. Fuente propia.	129
Figura 85 Adherencia de flujo de aire a techado y corriente de aire lateral. Fuente propia.	130
Figura 86 Velocidad de apertura de 1.25. Fuente propia	130
Figura 87 Velocidad de apertura de 1.36, con utilización de ventanas para redireccionar los flujos de aire. Fuente propia.	131
Figura 88 Velocidad de apertura de 1.2 para ventilación lineal. Fuente propia.....	131
Figura 89 Comportamiento del flujo de aire con vientos dominantes: a) Este temporadas de calor, b) Norte temporada de frío. Fuente propia.	132
Figura 90 Análisis de distribución para menor ganancia de calor. Fuente propia.....	133
Figura 91 Representación gráfica del ladrillo de arcilla hueco. Fuente NOVACERAMIC.	134
Figura 92 Ficha técnica de ladrillo de arcilla huevo. Fuente NOVACERAMIC.	134
Figura 93 Representación gráfica de vigueta y bovedilla. Fuente propia.....	134
Figura 94 Representación gráfica de los componentes que integran la pared y el techado de vigueta y bovedilla. Fuente propia.....	135

Figura 95 Propuesta Arquitectónica integrando sistemas arquitectónicos mostrando ventajas de integración con estudio solar. Fuente propia. 136

Figura 96 Análisis de asoleamiento realizado a las 9, 12:30 y 4 pm. Fuente propia. . 137

Figura 97 Detalle del sistema fotovoltaico a integrar en la edificación. Fuente propia. 138

Figura 98 Explosivo del techado sur del edificio con SFV templados policristalino y descripción gráfica del SFV semitransparente posicionado al centro en el techado de la vivienda. Fuente propia. 138

Figura 99 Propuesta Arquitectónica de casa integrando sistema fotovoltaico: a) perspectiva lateral izquierda-frontal, b) Perspectiva Posterior – Lateral Izquierda. Fuente propia..... 139

Figura 100 Propuesta Arquitectónica de casa integrando sistema fotovoltaico: a) Perspectiva frontal-lateral izquierda b) Perspectiva interior. Fuente propia..... 140

Figura 101 Cuadro de cargas de la propuesta arquitectónica. Fuente propia. 141

Figura 102 Tabla de valores para cálculo de calor a través de la envolvente Parte 1 155

Figura 103 Tabla de valores para cálculo de calor a través de la envolvente parte 2 156

NOMENCLATURA

Abreviaturas

SFV	Sistema fotovoltaico
SRC	Condiciones de clasificación estándar
NOCT	Temperatura nominal de la celda de operación
AC	Corriente alterna
DC	Corriente continua
CFE	Comisión Federal de Electricidad
I	Corriente
P	Potencia
V	Voltaje
I_{sc}	Corriente de corto circuito
I_o	Corriente de saturación oscura
V_{oc}	Voltaje de circuito abierto
V_{max}	Voltaje a la máxima potencia
I_{max}	Corriente de carga máxima
P_{max}	Potencia máxima
T_c	Temperatura de la celda
k	Constante de gas de Boltzman
e	Carga electrónica
N	Número de día
M	Modificador de masa de aire
M	Masa de aire
T_c	Temperatura de la celda

$T_{a,NOCT}$	Temperatura ambiente bajo condiciones NOCT
G_t	Radiación total en un plano inclinado
$G_{t,NOCT}$	Irradiación bajo condiciones NOCT
n_e	Eficiencia del módulo
Ta	Temperatura ambiente
X	Espesor de pared
K	Conductividad térmica
h	Coefficiente de transferencia de calor
U	Coefficiente de transferencia de calor global
M	Número de materiales de construcción compuesta

Símbolos

α	Latitud solar
Φ	Ángulo del cenit solar
L	Latitud
δ	Declinación
h	Ángulo de hora
θ	Ángulo de incidencia
Z	Azimut solar
Z_s	Ángulo acimutal superficial
β	Ángulo de inclinación
K_θ	Modificador de ángulo de incidencia
$\theta_{e,D}$	Radiación de haz difusa
$\theta_{e,G}$	Radiación reflejada en el suelo
K	Coefficiente de extinción
n_e	Eficiencia del módulo
$\tau\alpha$	Transmitancia

RESUMEN

En el presente documento, se presenta una propuesta metodológica para el diseño de una vivienda, en la cual se toman en cuenta los elementos naturales del medio ambiente y el uso de sistemas fotovoltaicos para poder crear edificaciones que contribuyan a la disminución de los gases de tipo invernadero y lograr un ahorro de energía.

Para generar dicha metodología se realizó un análisis sobre los tipos y las principales características de los sistemas fotovoltaicos, utilizando dos diferentes técnicas para su dimensionamiento. El primero considera la ubicación y las características ambientales del lugar (radiación y temperatura) y el segundo tomando los valores de la ficha técnica para los cuales el panel funciona en condiciones óptimas. A partir de un análisis se determinó el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico (SFV) interconectado a la red de suministro eléctrico. Se investigaron los factores que influyen positiva y negativamente al integrar un sistema fotovoltaico a una vivienda, por ejemplo; la ganancia de calor directa al utilizar vidrio fotovoltaico o el aislamiento creado al utilizar paneles. Con base a esto se proponen alternativas de iluminación, calefacción, ventilación etc. para ayudar a disminuir el consumo energético de la edificación.

Con la información obtenida se generó una propuesta metodológica donde se tomaron en cuenta todos los requerimientos arquitectónicos, fotovoltaicos y de sistemas pasivos, de modo que, con la metodología planteada además de generar electricidad, crear una vivienda bioclimática que genere una integración estética: edificación–SFV a través del análisis de diferentes formas para integrar el SFV con la vivienda.

Por último, utilizando un predio en la villa de Zaachila, Oaxaca, se llevó a cabo la fase de evaluación, en la cual, junto con las necesidades del usuario, se realizó el análisis de consumo energético y el cálculo del dimensionamiento del sistema, donde se propuso un arreglo fotovoltaico integrado satisfactoriamente a la edificación, mismo que lograría cubrir un 89% de la demanda energética, esto bajo las normativas de CFE. Se pretende que con el uso de sistemas pasivos de ventilación, iluminación y aislamiento se lograría una disminución del consumo energético de casi 16kW a 12kW.

Capítulo I. ASPECTOS PRELIMINARES

1.1. INTRODUCCIÓN

Según Maslow, (Álvarez Medina & Georger, Jr, 2005) el ser humano está sujeto a diversas necesidades para poder vivir en autorrealización, es decir plenamente; éstas las divide en orden jerárquico como fisiológicas, de seguridad, afiliación, de reconocimiento y por último la autorrealización. Como parte de las necesidades de seguridad, está implícita la necesidad de un lugar (espacio) en el cual habitar de manera segura. En la antigüedad el fin únicamente era protegerse de las diversas condiciones y amenazas del medio ambiente como lo era la lluvia, el sol, depredadores, etc. Pero no fue hasta el siglo XX cuando la preocupación de crear espacios higiénicos provocó el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles (Santana Ges A. M., 2010), mismo que siguió aumentando hasta la actualidad, donde se ha exigido cada día mayores cualidades a las edificaciones tanto en confort térmico como energético, ambiental y estético.

La sobreexplotación y los abusos contra la biosfera generaron inconvenientes para que ésta pudiera producir y recuperar sus propios recursos esenciales, generando el riesgo de que las futuras generaciones no pudieran obtener recursos naturales (Meléndez García, S. J. 2015). Es por esta razón que se consideró necesaria una intervención, para poder generar un cambio significativo que ayude a reducir los impactos sobre el medio natural impidiendo su degradación desde el punto de vista arquitectónico, por medio de la generación de edificaciones que sean socialmente aceptables, ecológicamente correctas y económicamente viables.

El arquitecto Ken Yeang menciona a la arquitectura ecológica como una arquitectura sostenible, que consiste en proyectar con la naturaleza de una manera ambiental responsable, al tiempo que ha de suponerse una contribución positiva. Es decir; el crear proyectos con consecuencias positivas, reparadoras y productivas para el medio ambiente natural. Es por esta razón que se toma como una alternativa para reducir el impacto ambiental la utilización de sistemas energético sustentables llamada energía fotovoltaica, mismo que es muy viable en países como México, debido a su alto grado de radiación solar, ya que este sistema es caracterizado por el uso de esta energía para su funcionamiento.

Con el propósito de generar proyectos con consecuencias positivas y productivas con el medio ambiente, se realizó una exhausta investigación y se expuso

una metodología energética en base a sistemas fotovoltaicos, principalmente para evaluar las condiciones de consumo energético de cada edificación, diseñar y dimensionar efectivamente el uso de paneles fotovoltaicos que genere parte o total de la energía requerida por el usuario, para optimizar el beneficio neto y minimizar los costos asociados al uso del edificio. Asimismo, se mencionan recomendaciones para lograr una buena integración edificación-sistema, analizando los beneficios, tomando en cuenta valores que puedan llegar a influir en la edificación al momento de agregar el SFV, como son los energéticos y térmicos, donde como respuesta se propone el uso de sistemas pasivos como; aislantes térmicos, vegetación y la utilización de ventilación natural. De esta manera se tiende a la construcción de proyectos estéticos, que ligado al uso de un sistema energético natural, generen proyectos estéticos con un reducido consumo de energía desde la fase de diseño.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la dependencia a la energía eléctrica ha crecido, a tal grado de ser considerada una necesidad básica, esta dependencia se encuentra estrechamente ligada al crecimiento de la población, al crecimiento económico y a la búsqueda de una mejor calidad de vida de los pobladores, sin embargo, ésto conlleva a un aumento de demanda eléctrica cada año gracias al uso de aparatos eléctricos.

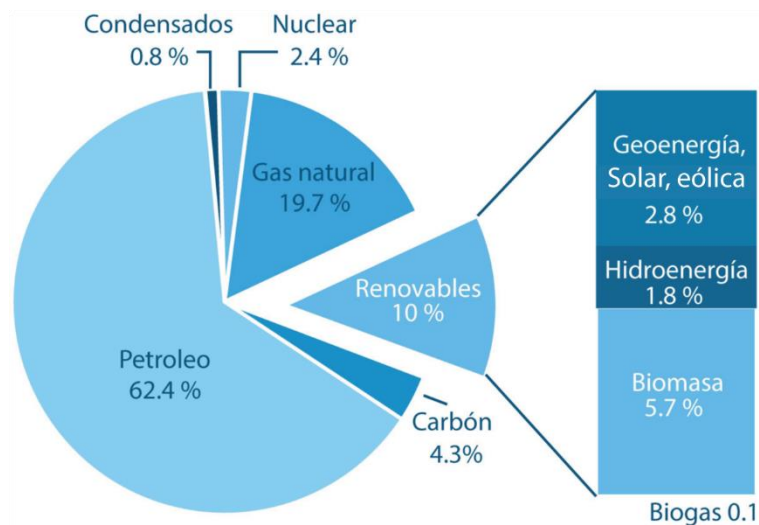


Figura 1 Estructura de la producción de energía primaria de México. Fuente: SENER con información del Balance Nacional de Energía 2018.

Desde la antigüedad la generación de electricidad se ha llevado a cabo por combustibles fósiles, como son carbón y algunos derivados del petróleo, mismos que han traído un aumento anual de más de 10,000 megatoneladas de bióxido de carbono sólo por generación de electricidad, tales componentes se encuentran involucrados en la formación de los gases de efecto invernadero (el precursor del cambio climático actual).

El objetivo actual para contrarrestar el daño es reducir las emisiones, para lo cual, se busca diversificar las fuentes de generación de energía eléctrica. Como se muestra en la figura 1, en México el petróleo es actualmente el combustible principal para la generación de energía eléctrica, seguido del gas natural, la energía renovable como es la biomasa, geoenergía solar y eólica, y la hidroenergía.

La energía solar fotovoltaica se ha convertido en una de las alternativas viables para abordar diversos problemas ambientales, ésta tiene varias ventajas, una de ellas es que no genera ningún tipo de gas invernadero, asimismo la fuente de energía utilizada para generar electricidad es la más abundante en el planeta. Además, según el Centro de Estudios en Medio Ambiente y Energías Renovables (CEMAER) (2016) en México se cuenta con una excelente radiación para el uso de sistemas fotovoltaicos.

Otra forma de abordar los problemas ambientales, además del uso de tecnologías eficientes, es lograr disminuir el consumo energético de viviendas, ésto puede ser posible de las siguientes maneras: a través de cambios de hábitos en los consumidores, para esto la Comisión Federal de Electricidad (CFE) presenta 10 consejos económicos y sencillos para ser practicados, por otra parte, el uso de sistemas pasivos de enfriamiento y calefacción con ayuda de elementos naturales como vientos dominantes, iluminación y aislantes térmicos son una opción viable para lograr una disminución en el consumo energético desde el punto de vista arquitectónico.

Con el fin de abordar y dar una solución al problema, se propuso una metodología que sirva de apoyo para generar edificios bioclimáticos que, además de ayudar al medio ambiente con la introducción del uso de sistemas de energía alternativa, generen edificaciones estéticas. Ésto, para generar conciencia con respecto al deterioro y alteración tanto de la imagen del paisaje como de la naturaleza, se logren crear aportaciones de unidad contextual para que el lector pueda desarrollar ejemplos valiosos de integración arquitectónica propia del lugar de aplicación.

1.3. ANTECEDENTES

Actualmente, algunos usuarios han implementado un sistema fotovoltaico (SFV) para generar su electricidad. Sin embargo, lo realizan de manera improvisada sobre las azoteas creando un inconveniente estético y un incremento de cargas gravitacionales que pone en riesgo la estructura del edificio ante eventos sísmicos. Estos problemas se generan por no considerar la utilización de los SFV desde la etapa de diseño y por no existir metodologías al alcance de los futuros usuarios para que las puedan utilizar y lograr una buena integración de los SFV con sus edificaciones.

En las figuras que se muestran a continuación se puede observar claramente una poca integración en base al arreglo fotovoltaico y la fachada de la edificación, mismo que conlleva a un desagrado visual por parte del edificio.



*Figura 2 Edificación con la implementación de un sistema fotovoltaico, Huajuapán de León.
Fuente propia*

En la figura 2, se aprecia la utilización de paneles fotovoltaicos policristalinos de vidrio templado para solventar la demanda energética del edificio, sin embargo, éstos no logran producir el total de la energía para el cual fueron dimensionados, porque principalmente no se encuentran posicionados hacia el sur verdadero ni cuentan con un ángulo de inclinación óptimo para una buena incidencia solar. Aunado a una deficiente ubicación en el espacio arquitectónico, el edificio genera sombra en el sistema fotovoltaico el mayor tiempo del día, logrando únicamente un buen aprovechamiento solar en horas del cenit. En los meses de invierno en que las horas diurnas son menores (por la proximidad de la tierra al sol) por consiguiente una menor generación de electricidad, prácticamente el sistema no produce electricidad, ya que el punto de cenit se encuentra en su posición más al sur.

El sistema fotovoltaico funge principalmente la función de sombreado para el jardín interno de la edificación, más que un generador de electricidad. Por otra parte, desde el punto de vista arquitectónico, al funcionar como cubierta, no permite iluminar naturalmente con radiación de haz directo el interior del edificio, ni permite el flujo de ventilación natural, ésto puede conllevar a un aumento de demanda eléctrica por el uso de iluminación artificial (focos) a lo largo del día solar y el uso de ventiladores o aires acondicionados para liberar el calor interno.



Figura 3 Edificación con la implementación de un sistema fotovoltaico, Huajuapán de León.
Fuente propia

En la figura 3, se aprecia la utilización de 10 paneles fotovoltaicos policristalinos de vidrio templado para solventar la demanda energética del edificio, estos en comparación del ejemplo anterior, sí se encuentran posicionados hacia el sur verdadero con un ángulo razonable (apreciable a la vista) que oscila entre los 20 grados, con el cual se puede obtener la mayor ganancia de radiación a lo largo del día, sin embargo no toma en cuenta la recomendación de distancia de separación entre paneles, (dos veces la altura), para no generar ningún tipo de sombra entre ambos.

A pesar de cumplir con la mayoría de las características para una buena incidencia solar, éste no logra integrarse en la edificación, principalmente por la mala interpretación y entendimiento del contexto, ya que no fue considerado dicho sistema al momento de diseñar y construir la edificación.

De esta forma se resalta la importancia de la integración del SFV a la arquitectura, ya que idealmente éste debería tomarse en cuenta y realizar una investigación para obtener más conocimiento sobre el sitio y las necesidades, para así, poder tomar en cuenta factores metodológicos que le ayuden a tomar mejores alternativas para su intervención.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existen diversas consideraciones que son publicadas por agencias para poder contrarrestar el daño existente hacia el planeta, una de ellas son las consideraciones de la Agencia Internacional de Energía con respecto al “Regional Sustainable Energy Training Week for Latin America” mismas que proporcionan 20 recomendaciones políticas de eficiencia energética de las cuales se retoman las siguientes:

1. Mejorar el desempeño energético de las edificaciones implementando códigos y estándares mínimos, mejoras en las edificaciones existentes y mejoras en las edificaciones nuevas.
2. Apuntar hacia un consumo energético neto nulo en edificaciones.

Para abordar la primera recomendación que consiste en mejoras para edificaciones nuevas se considera la integración de los sistemas fotovoltaicos, además de tomar en cuenta el uso de sistemas pasivos como son; la iluminación natural, ventilación natural cruzada, el uso de materiales térmicos reciclables de bajo impacto y la integración de elementos naturales, para abordar la segunda recomendación y disminuir el uso de energía del edificio.

Con base a lo expuesto anteriormente se puede generar un cambio en la perspectiva de la construcción, diseño e ingeniería con respecto al uso de diversos sistemas, ya que puede ayudar a concientizar de obtener grandes ventajas al combinar el uso de sistemas fotovoltaicos con el buen diseño de sistemas de iluminación, ventilación, calefacción y aislante natural en edificios, para poder tender a una autonomía energética y buscar de la energía verde perfecta (denominada así por proceder de energía renovable).

1.5. OBJETIVO GENERAL

Generar una propuesta de metodología para el diseño de una vivienda bioclimática con integración de paneles solares, y mejorar su desempeño energético.

1.6. OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Recopilar información necesaria a utilizar en la metodología.
 - 1.1.- Investigación de la metodología arquitectónica.
 - 1.2.- Investigación de cálculo de diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.
 - 1.3.- Investigación sobre sistemas pasivos.

- 2.- Identificar y delimitar la información recabada anteriormente en relación con las metodologías planteadas.
 - 2.1.- Clasificar la información recabada por tema y giro.
 - 2.2.- Extraer la información más relevante de cada tema.

- 3.- Definir las variables para cálculo de diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico.
 - 3.1.-Ángulos solares.
 - 3.2.-Ángulo de incidencia solar.
 - 3.3.-Radiación Solar.
 - 3.4.-Temperatura de la celda.
 - 3.2.- Consumo energético de los usuarios.

- 4.- Definir las etapas de la metodología arquitectónica
 - 4.1.- Investigación
 - 4.2.- Análisis
 - 4.3.- Síntesis
 - 4.3.- Desarrollo

- 5.- Definir las variables y constantes del sistema solar pasivo
 - 5.1.- Resistencia térmica del edificio.
 - 5.2.- Forma y orientación del edificio
 - 5.3.- Aislamiento
 - 5.4.- Ventilación natural

- 6.- Realizar una propuesta tomando en cuenta lo investigado.

- 7.- Evaluación de contenido
 - 7.1.- Corroborar con ayuda de una propuesta de diseño arquitectónico que permita conocer si la metodología planteada es factible.
 - 7.2.- Evaluar el impacto en la edificación diseñada que tiene la integración de un sistema fotovoltaico.

1.7. LIMITACIONES DE LA TESIS

La presente se encuentra limitada para:

1. El diseño de viviendas nuevas.
2. Sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, sin tomar en cuenta los sistemas autónomos, y demás existentes o creados en el mercado.
3. Solamente con los cuales pueda existir un contrato con CFE.
4. El cálculo está dado a edificaciones a pequeña escala, específicamente para usuarios de uso residencial que no superen la potencia máxima a instalar de 10kw y para usuarios con servicio de uso general en baja tensión que no superen los 30kw.

1.8. METODOLOGÍA

La metodología utilizada, para el desarrollo de la presente investigación es denominada Six Sigma con enfoque metodológico.

ETAPA	
Definición	Definir y describir el problema. Plantear posible solución.
Medir	Recolección de datos para el conocimiento y comprensión del problema a resolver.
Analizar	Estudio e investigación de los datos obtenidos con el fin de distinguirlos, separarlos, ordenarlos y acotarlos en cada una de sus variables.
Diseño	Unificación de contenidos en cuanto a la utilidad de sus variables, permitiendo generar la información necesaria para resolver el problema planteado.
Verificar	Evaluación de la información recabada por la investigación y por la creación del proyecto de diseño, recabando el grado de factibilidad.

Tabla 1 Metodología Six Sigma (cero defectos) aplicada a metodología

Capítulo II. MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo se describen conceptos básicos y sus respectivas definiciones necesarias para poder entender la propuesta de diseño. Se explica la energía solar, la fotovoltaica, su importancia y el método de aprovechamiento, de igual forma se explican las relaciones de éstas y sus componentes. Toda la información expuesta ha sido tomada de trabajos previos y modelos existentes, principalmente de la guía de Integración Solar Fotovoltaica, el Solar Energy Engineering de Kalogirou, S del libro Solar Technologies For Buildings de Eicker, U y del Solar Power In Building Design de Gevorkian, P.

2.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los módulos fotovoltaicos están conformados de células solares, estas constan de 2 o más capas delgadas de material semiconductor tipo P-N (generalmente de silicio), que al unirse funcionan como un diodo, que al ser expuesto a la luz forman un campo eléctrico con un lado positivo y el otro negativo, donde al momento de que la luz golpean la célula solar, los electrones se desprenden de los átomos del material semiconductor creando pares de agujeros de electrones, formando así un circuito eléctrico, donde los electrones se capturan en forma de corriente eléctrica llamada fotocorriente. Estas cargas eléctricas pueden ser conducidas por contactos de metal como corriente continua. La salida eléctrica de una sola celda es pequeña por lo que varias celdas se conectan entre sí y se encapsulan para formar un módulo o panel.

A continuación, se muestran las ventajas y posibles desventajas de los sistemas fotovoltaicos referentes a Kalogirou (2009) y Espada (2016).

VENTAJAS

- La fuente de energía utilizada es la más abundante en el planeta (sol).
- El silicio es un elemento químico abundante que cubre el 25% de la corteza terrestre.
- Genera electricidad sin producir ningún tipo de emisiones de efecto invernadero o cualquier otro gas.
- Constituido por partes móviles.
- Necesita mantenimiento mínimo.
- Los módulos fotovoltaicos pueden durar más de 25 años.
- Los módulos se pueden montar en el suelo o en el techo de un edificio, o pueden incluirse como parte de la estructura del mismo.
- Es modular, lo que permite agregar paneles para aumentar la producción.

- Están diseñados para uso en exteriores en condiciones tan duras como los entornos marinos, tropicales, árticos y desérticos.
- Altamente confiables.

POSIBLES DESVENTAJAS

- Hace unos 50 años, la energía requerida para fabricar un panel fotovoltaico era más que el que este podría producir durante toda su vida útil, pero en las últimas décadas, debido a las mejoras se han reducido de 3 a 5 años los tiempos de recuperación para la fabricación de un panel, este depende de la luz solar disponible en el sitio de instalación.
- El principal problema por el que se veía limitado el uso de la energía fotovoltaica era por el alto costo de fabricación de las hojas de silicio, pero actualmente se han creado alternativas para crear las películas delgadas de compuestos de sulfuro de cadmio, sulfuro cuproso y arseniuro de galio, adecuados para producción en masa.

2.1.1. TIPOS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Existen muchos tipos de células fotovoltaicas, pero para fines prácticos sólo se comentarán los más comunes actualmente en el mercado tomados del libro *“Solar Energy engineering”*.

2.1.1.1. Células de silicio monocristalino

Elaboradas de silicio monocristalino puro, ya que cuentan con una única estructura de red cristalina continua, casi no cuenta con defectos ni impurezas.

- Ventaja: Cuenta con una alta eficiencia (alrededor del 13% en la fabricación en serie y de 20% en modelos de laboratorio).
- Desventaja: El proceso de fabricación para producir silicio monocristalino es complicado, lo que refleja costos ligeramente más altos que los de otras tecnologías.

2.1.1.2. Células de silicio multicristalino

Para la elaboración de estas células son utilizados numerosos granos de silicio monocristalino.

- Ventaja: Ya que el proceso de producción es más fácil, el cual consiste en fundir el silicio mono cristalino, después moldearlo en lingotes que posteriormente son cortados en obleas finas que se ensamblan en celdas completas, por esta razón estas células son más económicas.
- Desventaja: Son menos eficientes, con una eficiencia promedio inferior al 10%.

2.1.1.3. Células de silicio amorfo

La diferencia entre las anteriores, es que, las células de silicio amorfo están compuestas de átomos de silicio en una capa delgada y homogénea.

- Ventaja: El silicio amorfo absorbe la luz más eficazmente que el silicio cristalino, lo que permite producir células más delgadas, también conocidas como tecnología PV de película delgada. Ésto permite que se puedan depositar una amplia gama de sustratos, tanto rígidos como flexibles para crear una variedad de formas como tejas.
- Desventaja: Alcanza rendimientos iniciales mayores del 10%, pero éste disminuye tras periodos de iluminación.

2.1.2. INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La integración arquitectónica de la Energía fotovoltaica (BIPV-Building Integrates Photovoltaics) consiste en cualquier tipo de instalación fotovoltaica que sea integrada a cualquier superficie de un edificio ya sea superpuesta o por sustitución de elementos (Neira Artidiello, 2013).

La buena aplicación de cualquiera de las siguientes integraciones fotovoltaicas puede logra generar un ambiente más “natural” disminuyendo notoriamente el gasto energético de luz eléctrica y de aire acondicionado.

A continuación, se exponen las más conocidas en el mercado (Figura 4) obtenidas de la guía de Integración Solar Fotovoltaica, realizada por iniciativa de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consejería de Economía y Hacienda y la Fundación de la Energía de la Comunicación de Madrid.

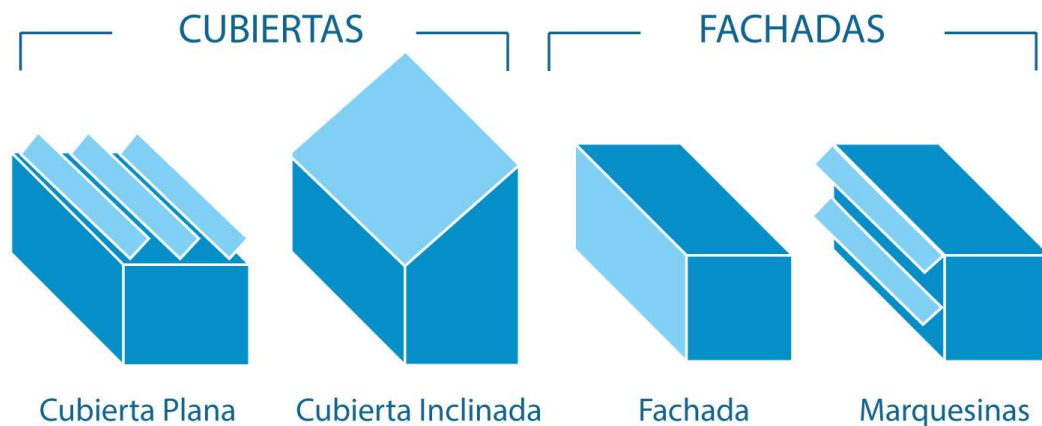


Figura 4 Aplicaciones de integración fotovoltaica en cubiertas y fachadas. Elaboración propia con información de la guía de Integración Solar Fotovoltaica.

2.1.2.1. Sustitución de vidrio con vidrio fotovoltaico

La integración Arquitectónica de la Energía Fotovoltaica consiste en la sustitución o incorporación de elementos fotovoltaicos en lugar de materiales o elementos convencionales de la construcción (Neira Artidiello, 2013). Los avances tecnológicos han basado sus investigaciones en encontrar materiales fotovoltaicos que puedan conseguir la integración arquitectónica, hoy en día se puede observar la utilización de vidrio ya sea en envolventes de edificios como fachadas, ventanas, muros cortina o fachadas ventiladas, es por esa razón que la sustitución de los sistemas fotovoltaicos en ventanas es una opción viable, ya que permite el paso de luz hacia el interior, buscando transparencia, estanqueidad de calor térmico y además generar energía eléctrica. Es importante recalcar que esta opción genera una ganancia directa de radiación, lo que ayuda para la calefacción de espacios, además de permitir iluminación de luz diurna natural hacia los interiores, influyendo positivamente en el rendimiento visual, calidad de iluminación, salud, rendimiento humano y la eficiencia energética ya que disminuye el uso de iluminación artificial durante el día.

2.1.2.1.1. Ventanas fotovoltaicas

Las celdas solares semitransparentes, pueden ser utilizadas en la fabricación de ventanas para lograr una buena integración arquitectónica, gracias a la densidad del material, éste puede conseguir diversas transparencias lo cual ayuda al paso de luz natural.

Existe un sinfín de maneras de combinar las celdas solares semitransparentes en el uso de ventanas solares, a continuación, se muestran algunas. Ver figura 5 y 6.



Parcialmente aislado

- Vidrio fotovoltaico / Panel solar fotovoltaico semitransparente
- Utilizado usualmente como invernadero para cultivo de plantas
- Es necesaria la instalación de un aislante o doble acristalamiento
- Utilizado principalmente en zonas frías por el aumento de temperatura interna

Figura 5 Ventanas fotovoltaicas en lado sur del edificio como espacio parcialmente aislado. Fuente: propia con información del libro "Solar Energy Engineering".

Ventana y techado de Lado Sur



- Panel solar fotovoltaico semitransparente / Vidrio fotovoltaico
Variedad de colores
- Mayor rendimiento que usarse unicamente en techo o pared.
- Utilizado principalmente en zonas frías por el aumento de temperatura interna

Figura 6 Ventanas fotovoltaicas en el lado sur en parte de techo y pared del edificio. Fuente: propia con información del libro "Solar Energy Engineering"

El utilizar la ventana y techado del lado sur tiene como fin el recolectar, almacenar y transferir energía térmica hacia los diversos espacios de construcción, maximizando la radiación solar en invierno y minimizarla en verano. Este sistema puede ser utilizado en muchos casos como invernadero para el cultivo de plantas.

2.1.2.1.2. Tragaluz

Una propuesta para obtener la mayor ventaja de iluminación en el interior del edificio es posicionando paneles verticales en la zona perimetral y en la zona central colocar un tragaluz constituido de sistemas fotovoltaicos (Figura 7), ésto brindará iluminación natural a todos los espacios, además de recolección de energía fotovoltaica.



Figura 7 Utilización de vidrio fotovoltaico en tragaluz y ventanas verticales para brindar iluminación al interior del edificio. Fuente: propia con información del libro "Solar Energy Engineering"

2.1.2.1.3. Lucernario

Una solución viable para cubiertas acristaladas de gran tamaño como son; atrios, o de tamaño reducido como; lucernarios o pérgolas, es la integración de módulos fotovoltaicos montados con un doble acristalamiento para evitar transmisiones térmicas y garantizar un mejor rendimiento térmico en el interior del edificio (Lopez & Lill, 2007), el uso de vidrios fotovoltaicos semitransparentes genera iluminación por el aprovechamiento de la radiación solar que incide en la cubierta (Figura 8).



Figura 8 Edificio Lucía implementación de lucernario fotovoltaico en la Universidad de Valladolid. Fuente web

2.1.2.1.4. Muro Trombe

De acuerdo a la información recabada de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial donde expone en el capítulo 2 los *“Principios Fundamentales De Paredes Trombe Y Chimeneas Solares”*, este muro es utilizado en construcciones tradicionales para aprovechar la radiación solar y generar un sistema de calefacción, se aplica comúnmente para proporcionar calor cuando no hay energía solar disponible y el enfriamiento pasivo para limitar el aumento de temperatura con ayuda de la ventilación natural, es decir en periodos de gran ganancia solar, la energía es almacenada en la masa térmica, evitando así que surja un sobrecalentamiento en las horas de la tarde y noche, entonces, cuando se necesita el calor, este es liberado en el edificio satisfaciendo parte de la carga de calefacción. En cambio, en periodos de poca ganancia solar, la masa térmica actúa de manera similar, pero en este caso reduce los picos de carga de enfriamiento, gracias a este sistema es posible transferir el calor por convección a alguna habitación por medio de aberturas en la pared cerca del piso y cerca del techo, siempre y cuando el sol brille.

Es óptimo para edificaciones en zonas de alta radiación solar pero de bajas temperaturas, definida como una buena opción para proporcionar ventilación en la

parte superior del acristalamiento para liberar el aire caliente que se produce en el espacio entre el vidrio y la pared térmica, para extraer desde el interior el aire de la habitación.

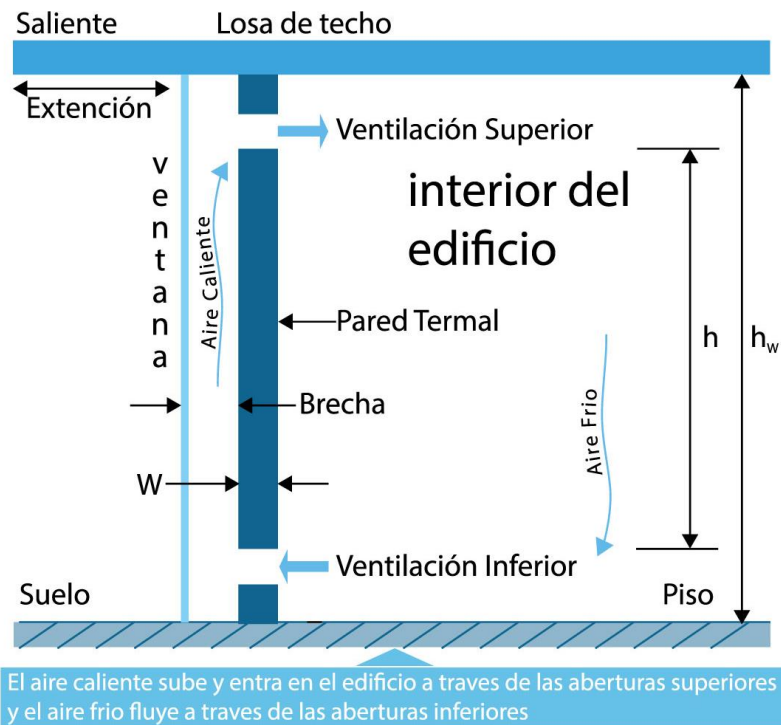


Figura 9 Denominado muro de Trombe, en honor al ingeniero Felix Trombe, sistema de calefacción o refrigeración según sea la necesidad. Elaboración propia

2.1.2.2. Integración o incorporación de sistema fotovoltaico en techado

El techado es el elemento más importante a aislar, ya que, durante el verano, recibe una gran cantidad de radiación, lo que conlleva a un aumento de temperatura principalmente si este es horizontal de concreto armado. El uso de paneles fotovoltaicos sobre el techado puede fungir una función de aislante.

2.1.2.2.1. Sustitución de tejas por elementos fotovoltaicos.

Como se comentó anteriormente y como se muestra en las siguientes figuras existen dos formas de instalación, estas pueden ser en base la colocación de una estructura encima de la cubierta (figura 11), y la otra alternativa (figura 10) es al mismo nivel del techo, (siempre y cuando se guarde una pendiente razonable hacia el sur), esta última se logra reemplazando las tejas o revestimiento de una edificación con la estructura adecuada y una capa de impermeable para asegurar su estanqueidad.

Es recomendable el uso de tipo de techado en dos aguas por ser una solución constructiva para facilitar la evacuación de agua fluvial y disminuir la carga térmica del techado al estar dividida en dos partes.



Figura 10 Sistema solar colocado al mismo nivel de la cubierta. Fuente web



Figura 11 Sistema solar colocado encima de la cubierta. Fuente web.

2.1.2.2.2. Voladizos

Son los encargados de bloquear la radiación solar entrante a una ventana en ciertos periodos de tiempo, con el fin de reducir las cargas de enfriamiento, además de evitar la iluminación incomoda. Este sistema puede ser orientado al sur e inclinado para lograr una posición favorable hacia el sol para generar energía solar (Figura 12).

Éste se trata de celdas solares opacas que son depositadas sobre un vidrio, formando una rejilla, de tal manera que la superficie ocupada por la rejilla pueda absorber los fotones de luz y generar energía, mientras que las partes que no son ocupadas por el sistema puede pasar la luz, creando un efecto de semitransparencia (Neira Artidiello, 2013).



Figura 12 Uso de un sistema Fotovoltaicas en porche. Fuente web

2.1.3. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Actualmente existen diversos tipos de sistemas fotovoltaicos, en esta sección se presentarán los autónomos y los interconectados a la red eléctrica.

2.1.3.1. Sistemas fotovoltaicos autónomos

Este tipo de sistemas es comúnmente utilizado en áreas donde no hay acceso a una red eléctrica. Éste se denomina autónomo o independiente ya que como su nombre lo dice no necesita estar conectado de la red eléctrica, este almacena la energía generada en baterías especiales. Como se puede observar en la figura 13 un sistema autónomo típico consiste de módulos fotovoltaicos, baterías y un controlador de carga, de igual forma puede incluir un inversor para convertir la corriente DC a AC, para poder satisfacer cargas DC y AC simultáneamente.



Figura 13 Diagrama esquemático de un sistema autónomo. Elaboración propia.

2.1.3.2. Sistemas fotovoltaicos interconectados

La característica de este tipo de sistema es que se encuentra permanentemente conectado a la red eléctrica, de tal forma que, en periodo de radiación solar, este sistema entrega energía, mientras que en periodos de limitada radiación o nula, recibe electricidad de la red eléctrica necesaria para satisfacer la demanda. En caso de que la energía generada por el sistema sea superior a la demanda de la edificación, la red eléctrica tomará todo el excedente de energía que no sea utilizado haciendo la función de un acumulador infinito. En la figura 14 se muestra un diagrama esquemático de un sistema conectado a la red.

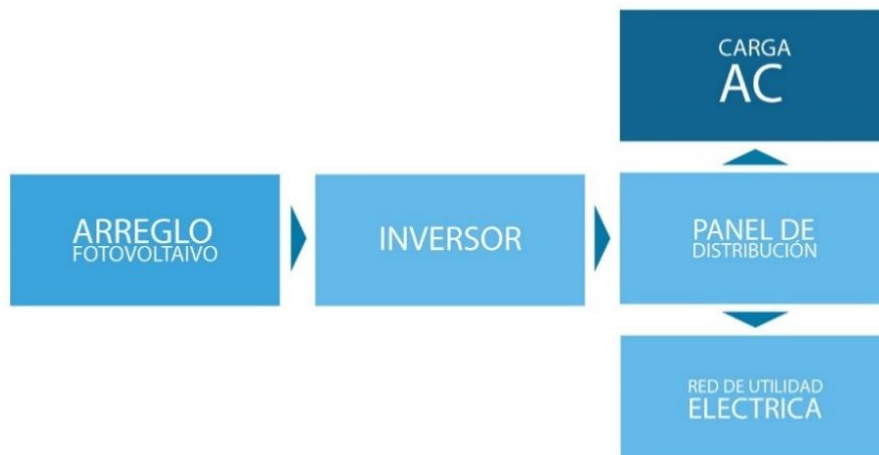


Figura 14 Diagrama esquemático de un sistema interconectado a la red. Elaboración propia

En el caso particular de México donde el cobro de energía eléctrica por parte de la compañía suministradora (CFE) es realizada dependiendo del sector y el nivel de consumo de energía (tarifas eléctricas), este tipo de sistemas representa una excelente oportunidad para usuarios de tarifa DAC (una de las tarifas eléctricas más caras en México) para disminuir su factura por concepto de energía eléctrica consumida de la red (TESILLO SÁNCHEZ, 2016).

2.1.3.2.1. Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala.

El “Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala” da la oportunidad a usuarios con servicio de uso residencial y uso general en baja tensión, instalar e interconectar a la red un sistema de generación de energía renovable o un sistema de cogeneración (procedimiento por el cual se obtiene tanto energía eléctrica como energía térmica útil).

Concretamente en el caso de casas habitación y pequeños comercios, permite conectarse a la red eléctrica y generar su propia energía con el aprovechamiento de la energía solar, siempre y cuando estén bajo la modalidad de medición neta, que consiste en que todo excedente de electricidad puede ser intercambiado entre el particular y la empresa, misma que será compensada contra el consumo en otros momentos.

De los puntos importantes dentro del contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala, se pueden encontrar los siguientes:

- Dicho contrato aplica únicamente para personas físicas o morales que cuenten con un equipo de energía renovable o con un sistema de cogeneración en pequeña escala.
- La potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio:
 - Para usuario con servicio de uso residencial: hasta 10kW.
 - Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión: hasta 30 kW.
- Los medidores y los equipos de medición de la energía serán instalados por CFE. El usuario únicamente pagará la diferencia entre el costo del equipo para realizar la medición neta y el costo de un equipo convencional.
- Para facturación, el consumo de energía, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por CFE y la entregada por el sistema de generación:
 - Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del usuario que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes.
 - Cuando la diferencia sea positiva se facturará según la tarifa aplicable.

Para una mejor comprensión en el Anexo A, presento el modelo del Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala.

2.1.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CELDA FOTOVOLTAICA

En este apartado se definen las características del panel fotovoltaico; efecto fotovoltaico, parámetros principales y arreglo fotovoltaico, toda esta información fue tomada del libro “Solar power in building design” de Peter Gevorkian.

2.1.4.1. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico se encuentra ligado al funcionamiento de operación de las celdas fotovoltaicas, como se comentó anteriormente, un panel fotovoltaico está compuesto de celdas hechas de material semiconductor (especialmente de silicio). Un material semiconductor es aquel que permite el flujo de electrones de valencia, pero a menos medida que un material conductor, existen dos tipos de material semiconductor, los puros y dopados, los dopados son aquellos que contienen pequeñas cantidades de impurezas. Ahora bien, en el material semiconductor a utilizar, si el material dopado tiene más electrones en su banda de valencia que el semiconductor, el material dopado se llama semiconductor tipo n. Éste es electrónicamente neutro, pero contiene electrones extras disponibles para la conducción, estos electrones al ser eliminados, los átomos quedarían con cargas positivas.

Con un conductor tipo p sucede lo contrario, es decir, si el material dopado tiene menos electrones en su brecha de valencia que el material semiconductor, el material dopado se le denomina semiconductor tipo p. Este igualmente es electrónicamente neutro, pero contiene agujeros positivos en su estructura, si los electrones adicionales llenaran los agujeros, los átomos estarían cargados negativamente.

Ahora sí, cuando los dos tipos de materiales se unen, el exceso de electrones del tipo n salta para llenar los orificios que se crean con el tipo p y los orificios del tipo p se difunden al lado del tipo n, dejando el lado n cargada positivamente y el lado p cargado negativamente, siempre y cuando exista una fuente de energía, en este caso el sol.

Cuando un fotón de luz incide en una celda fotovoltaica, si dicho fotón contiene una energía mayor a la banda del semiconductor será absorbido por un electrón de valencia, el cual saltará a la banda de conducción donde se moverá libremente. Pero si la energía del fotón es menor que la del intervalo de banda, el electrón no podrá saltar y el exceso de energía se convertirá en energía cinética de los electrones, generando un aumento de temperatura.

2.1.4.2. Principales parámetros

Estos parámetros describen a un panel fotovoltaico y son dados en su ficha técnica.

- Corriente de corto circuito, I_{sc}

Denominado como el máximo valor de corriente que puede circular por una celda fotovoltaica cuando se encuentra en corto circuito ($V=0$).

- Corriente de saturación oscura, I_o

Durante la oscuridad la célula solar no produce corriente ni voltaje, sin embargo al conectarse a una fuente externa de gran voltaje genera I_D llamada corriente oscura.

- Voltaje de circuito abierto, V_{oc}

Se presenta cuando el circuito de la celda fotovoltaica está abierto (los cables no forman un circuito) lo que conlleva a que el voltaje se encuentre en su máximo y la corriente obtenga un valor de cero.

$$V_{oc} = \frac{T_c}{e} \ln \left[\frac{I_{sc}}{I_o} \right] \quad (1)$$

Donde:

k = Constante de gas de Boltzman = $1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

e = Carga electrónica = $1.602 \times 10^{-19} \text{ N}$

T_c = Temperatura de la celda

- Voltaje a la máxima potencia, V_{max}

Este voltaje es el que proporciona la potencia de salida máxima de la celda. Y se calcula despejando V_{max} de la siguiente ecuación:

$$\exp \left[\frac{eV_{max}}{kT_c} \right] \left[1 + \frac{eV_{max}}{kT_c} \right] = 1 + \frac{I_{sc}}{I_o} \quad (2)$$

- Corriente de carga máxima, I_{max}

Definida como la intensidad de corriente que puede mantenerse por un conductor si supera los límites de temperatura sin llegar al corto circuito.

$$I_{max} = \frac{eV_{max}}{kT_c + eV_{max}} (I_{sc} + I_o) \quad (3)$$

- Potencia Máxima, P_{max}

Este es el producto de la corriente y el voltaje

$$P_{max} = I_{max} V_{max} \quad (4)$$

2.1.4.3. Arreglo fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos pueden conectarse en serie o en paralelo para producir voltaje o corrientes más grandes según sea el caso, es decir, las celdas cuando están conectadas en paralelo; el voltaje permanece igual, pero la corriente se duplica y cuando las celdas están conectadas en serie, la corriente permanece igual pero el voltaje se duplica.

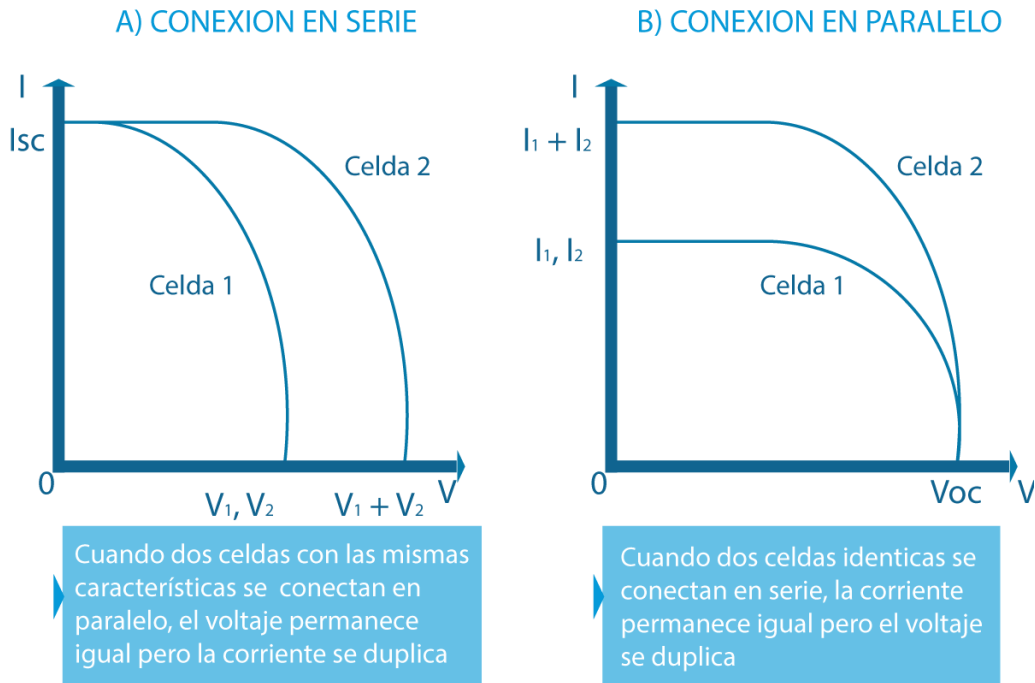


Figura 15 Curva representativa de conexión de una celda a) serie o b) paralelo. Elaboración propia

Ya que los sistemas fotovoltaicos operan usualmente en múltiplos de 12 volts, es necesario conectar el número suficiente de celdas en serie para mantener el voltaje del panel dentro de un rango aceptable ya sea en serie o paralelo, en la figura 15 se explica lo dicho anteriormente.

El objetivo principal, es hallar el tamaño adecuado de sistema que genere parte o la totalidad de la energía requerida por el usuario y que optimice el beneficio neto, sin perder la calidad del diseño, este se puede realizar de dos maneras:

1. Tomando en cuenta el tipo de recubrimiento a utilizar y en base a la información realizar el dimensionamiento.
2. Tomando en cuenta el área disponible para incorporar el sistema, mismo que cumpla con los requerimientos del sistema fotovoltaico y acorde a la potencia del sistema determinar si se satisface parte o total del requerimiento energético.

2.2. ENERGÍA SOLAR

La materia prima para que un sistema fotovoltaico pueda convertir la radiación solar en energía, es la energía solar. En este capítulo se expone información con respecto a su geometría solar. La siguiente información fue obtenida del libro “Solar technologies for buildings” de Ursula Eiker.

2.2.1. GEOMETRÍA SOLAR

Es importante conocer los factores geométricos involucrados en la obtención de energía eléctrica, estos datos nos ayudan a conocer el momento y la posición del sol respecto al punto de estudio en la tierra.

2.2.1.1. Movimiento de rotación y traslación de la tierra

Como se muestra en la figura 16 la tierra realiza una rotación sobre su eje en una duración de 24 horas (El eje está inclinado $23^{\circ}27.14'$ minal plano de la elíptica) y completa una revolución sobre el sol en un periodo de aproximadamente 365.25 días. Esta revolución no es circular, ya que a lo largo del año la distancia entre el sol y la tierra varía desde 147.1×10^6 m a 152.1×10^6 m. La distancia más corta se presenta el 3 de enero (llamada perihelio) y la distancia más larga el 4 de Julio (llamada afelio).

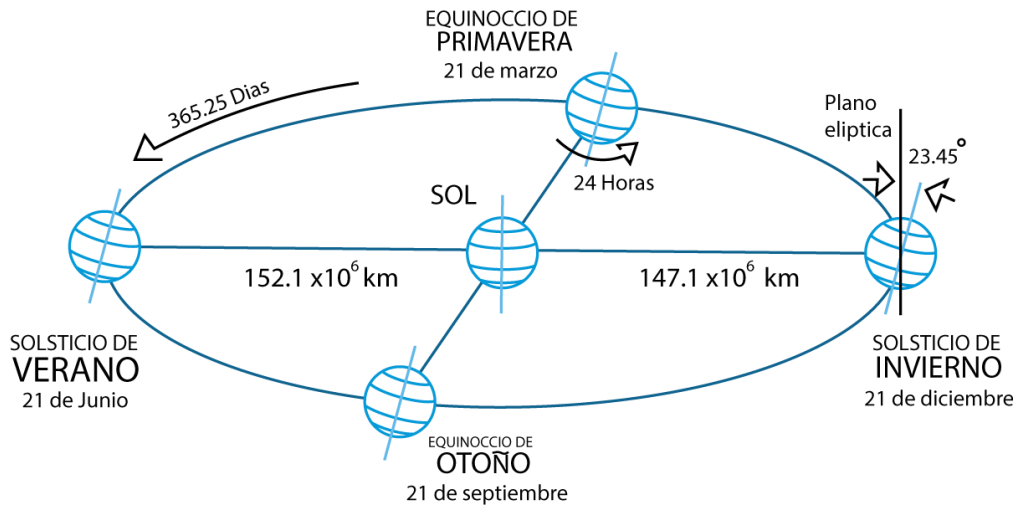


Figura 16 Movimiento anual de la tierra alrededor del sol. Elaboración propia

La posición del sol cambia a lo largo del año, este puede notarse a simple vista con su movimiento diario en las mañanas cuando sale del este y se oculta al oeste, alcanzando su punto más alto al medio día solar, este movimiento, al seguir consecuentemente da paso a la estación de invierno, primavera y luego verano, esto sucede por el desfase gradual de los puntos de salida y puesta de sol a lo largo del horizonte hacia el norte (Figura 17).

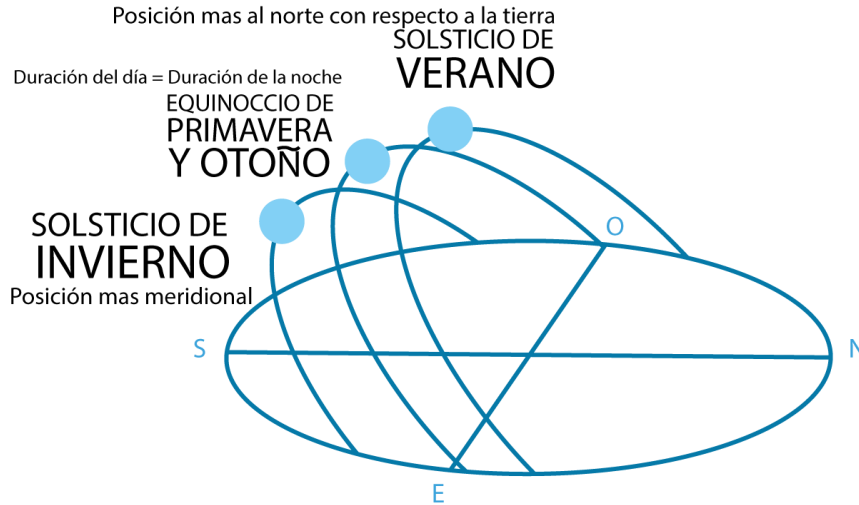


Figura 17 Movimiento del sol anual. Elaboración propia.

El 21 de junio el sol se encuentra en su posición más al norte con respecto a la tierra y recibe el nombre de solsticio de verano, seis meses después, el 21 de diciembre, en el solsticio de invierno el sol se encuentra en su posición más al sur. Mientras tanto el 21 de marzo y el 21 de septiembre, la duración del día es igual a la duración de la noche, estos reciben el nombre de equinoccio de primavera y otoño respectivamente.

Para las siguientes aplicaciones sobre la energía solar, es conveniente considerar la tierra fija y el movimiento virtual del sol describirlo en un sistema de coordenadas fijo a la tierra con el origen en el sitio de interés.

2.2.2. ÁNGULOS SOLARES

Para lograr conocer la posición del sol con respecto a un observador en la tierra, es necesario conocer los ángulos astronómicos, la latitud solar (α) y el azimut solar (Z). Pero antes es de suma importancia entender los diferentes conceptos, que son requeridos en todas las demás formulaciones de los ángulos solares (figura 18). La siguiente información se obtuvo del libro "Solar Energy engineering" de Kalorigou.

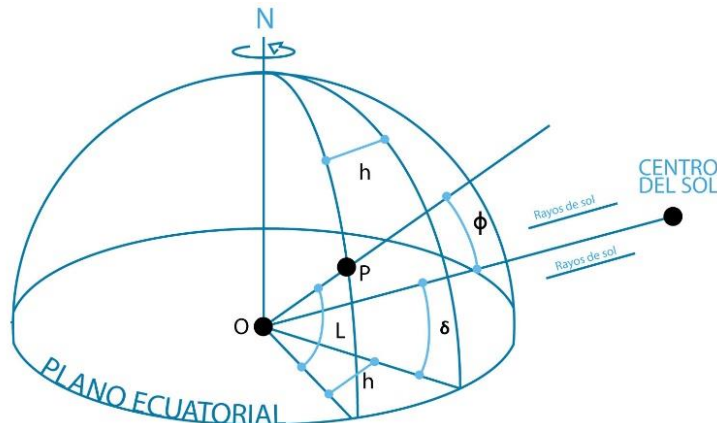


Figura 18 Representación gráfica de los ángulos solares. Elaboración propia.

2.2.2.1. Declinación, δ

Como se muestra en la figura 19, el eje de rotación de la tierra tiene un ángulo de inclinación de 23.45° , este ángulo llamado declinación se forma entre la línea de los rayos del sol y la tierra con respecto al eje ecuatorial, variando a lo largo del año con valores que van desde 0° en el equinoccio de primavera (cuando los rayos del sol son perpendiculares al plano ecuatorial) y otoño a $+23.45^\circ$ y -23.45° en el solsticio de verano e invierno respectivamente.

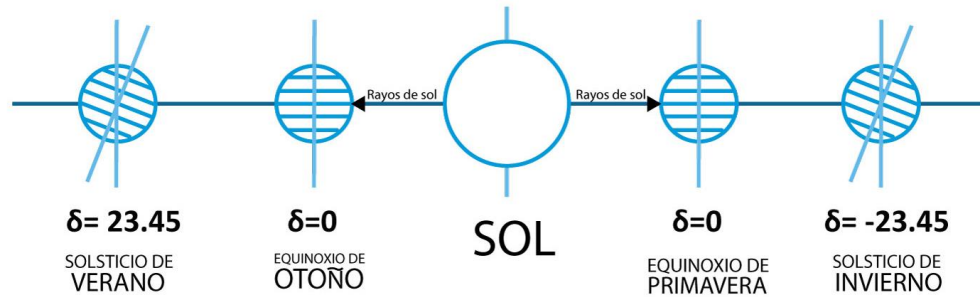


Figura 19 Declinación. Elaboración propia.

La declinación δ en cualquier día del año puede ser calculada con la ecuación de ASHRAE, 2007:

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} + (284 + N) \right] \quad (5)$$

Donde:

N = Número de día, tomando el 1ero de enero como 1 o basándonos en la tabla 2.

Mes	Número de Día	Día promedio del mes		
		Día	N	δ (Grados)
Enero	i	17	17	-20.92
Febrero	31 + i	16	47	-12.95
Marzo	59 + i	16	75	-2.42
Abril	90 + i	15	105	9.41
Mayo	120 + i	15	135	18.79
Junio	151 + i	11	162	23.09
Julio	181 + i	17	198	21.18
Agosto	212 + i	16	228	13.45
Septiembre	243 + i	15	258	2.22

Octubre	273 + i	15	288	-9.60
Noviembre	304 + i	14	318	-18.91
Diciembre	334 + i	10	344	-23.05

Tabla 2 Número de día promedio recomendado para cada mes, tomando a "i" como el día del mes en el que se desea calcular la declinación. Elaboración propia con información tomada del libro "solar energy engineering".

2.2.2.2. Ángulo de hora, h

El ángulo de hora se define como el ángulo a través del cual la tierra girará para que la ubicación a analizar tenga el meridiano directamente debajo del sol. El ángulo horario de un medio día solar local es cero y cada 15° es equivalente a 1 hora. Este se puede obtener en grados de la siguiente manera:

$$h = \pm 0.25 (\text{número de minutos desde el medio día local}) \quad (6)$$

Donde el signo más aplica a las horas de la tarde y el signo menos a las horas de la mañana.

2.2.2.3. Ángulo de Altitud y Azimut Solar

En la figura 20 se muestran las variables relacionados con los ángulos de altitud y azimut con respecto al observador en un punto de la tierra.

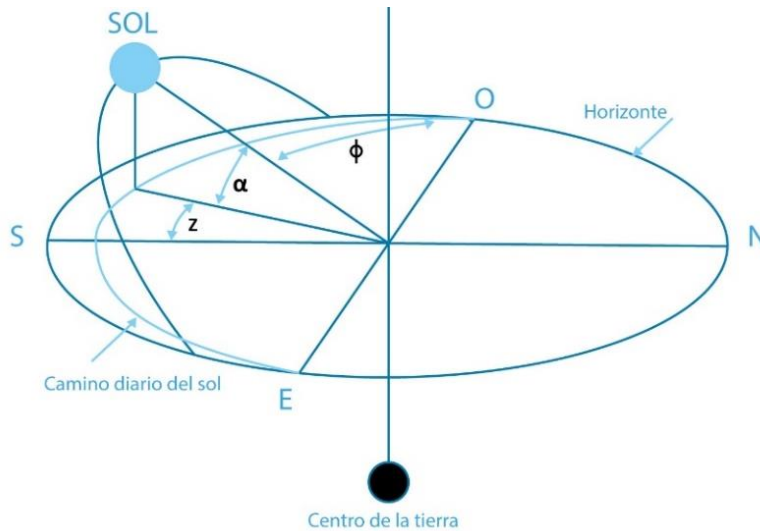


Figura 20 Representación gráfica de los ángulos de altitud y azimut solar con respecto a una posición. Elaboración propia con información tomada del libro "solar energy engineering".

2.2.2.4. Ángulo de Altitud Solar, α

El ángulo de altitud solar es el ángulo que existe entre los rayos del sol y un plano horizontal en un punto p, éste está relacionado con el ángulo de cenit solar Φ , definido como el ángulo entre los rayos del sol y la vertical.

La expresión para el ángulo de altitud solar es:

$$\text{Sen}(\alpha) = \cos(\Phi) = \text{sen}(L)\text{sen}(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \quad (7)$$

Donde:

L = Latitud del sitio.

2.2.2.5. Ángulo de incidencia solar (θ)

Se define al ángulo de incidencia solar como el ángulo que se crea entre los rayos del sol con respecto al ángulo normal de una superficie.

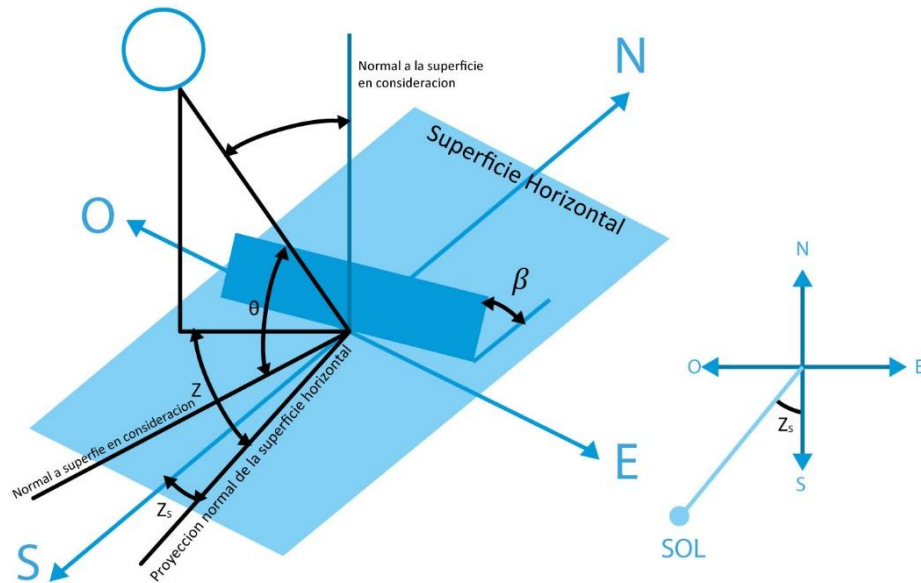


Figura 21 Representación gráfica de los ángulos influyentes en colocación de un panel fotovoltaico. Elaboración propia con información tomada del libro "solar energy engineering".

La expresión general para calcular el ángulo θ es:

$$\begin{aligned} \text{Cos}(\theta) = & \text{sen}(L)\text{sen}(\delta) \cos(\beta) - \cos(L) \text{sen}(\delta)\text{sen}(\beta) \cos(Z_s) + \\ & \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) + \text{sen}(L) \cos(\delta) \cos(h) \text{sen}(\beta) \cos(Z_s) + \\ & \cos(\delta) \text{sen}(h)\text{sen}(\beta)\text{sen}(Z_s) \end{aligned} \quad (8)$$

Donde

Z_s = Ángulo acimutal de superficie, es el ángulo formado entre la normal de la superficie inclinada y el sur verdadero, se designa valor positivo hacia el oeste y negativo hacia el este.

β = Ángulo de inclinación de la superficie (en grados), éste se presenta como el ángulo de inclinación que existe entre la superficie inclinada hasta la horizontal.

Para determinar el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos se pueden seguir las siguientes recomendaciones:

1. Colocarlos de acuerdo a la latitud del lugar en que serán utilizados.
2. Conocer en que época del año existirá un consumo energético mayor, de esta forma al inclinar las placas solares a dicho grado que se optimizará el rendimiento en esos meses, por contrario si los consumos se mantienen estables durante el año es recomendable utilizar la inclinación adecuada para el mes de diciembre, ya que en esta temporada hay menores horas del sol a cabo del día por la cercanía del sol al planeta.
3. El ángulo de inclinación óptimo puede obtenerse de la siguiente página sunearthtools.com colocando las variables del lugar de análisis.
4. Siguiendo la recomendación dada por el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con un ángulo de inclinación del módulo de 20 grados con una separación entre paneles de 2 veces la altura (Figura 22).

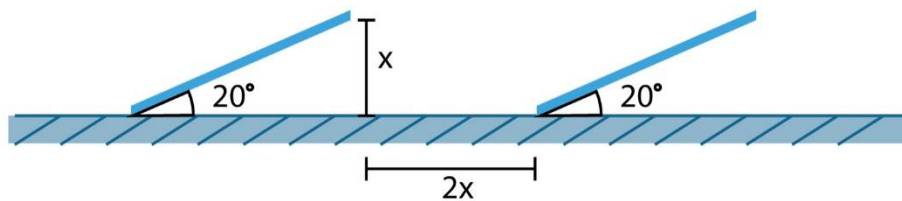


Figura 22 Recomendación del SEN para ángulo y distancia entre paneles. Elaboración propia.

La obtención del ángulo de incidencia solar se puede reducir a formas más simples para diferentes casos específicos.

- Ángulo de Incidencia Solar Para Superficies Horizontales

Éste se presenta cuando $\beta = 0^\circ$ y cuando el ángulo de incidencia, θ , y el ángulo del cenit, Φ , son los mismos.

- Ángulo de Incidencia Para Superficies Verticales

Para superficies verticales β toma el valor de 90° y la ecuación queda:

$$\cos(\theta) = -\cos(L) \operatorname{sen}(\delta) \cos(Z_S) + \operatorname{sen}(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(Z_S) + \cos(\delta) \operatorname{sen}(h) \operatorname{sen}(Z_S) \quad (9)$$

- Ángulo de Incidencia Solar para Superficies Inclinadas Orientadas al Sur en el Hemisferio Norte

El ángulo de incidencia en este caso, se obtiene al dar los valores de, $Z_S = 0^\circ$ por lo tanto la Eq. Se reduce a:

$$\cos(\theta) = \operatorname{sen}(L - \beta) \operatorname{sen}(\delta) + \cos(L - \beta) \cos(\delta) \cos(h) \quad (10)$$

- Ángulo de Incidencia Para Superficies Inclinadas Orientadas Hacia el Norte En El Hemisferio Sur.

Éste es presentado cuando $Z_S = 180^\circ$ es por eso que la Eq. Se reduce a:

$$\cos(\theta) = \operatorname{sen}(L + \beta) \operatorname{sen}(\delta) + \cos(L + \beta) \cos(\delta) \cos(h) \quad (11)$$

2.3. PLACAS TRANSPARENTES

Al momento que un haz de radiación solar incide en la superficie de una placa transparente, la radiación con respecto al ángulo de incidencia θ se divide reflejando parte de ella y refractando el resto con respecto al ángulo θ_r , llamado ángulo de refracción, este suceso se explica en la Figura 23.

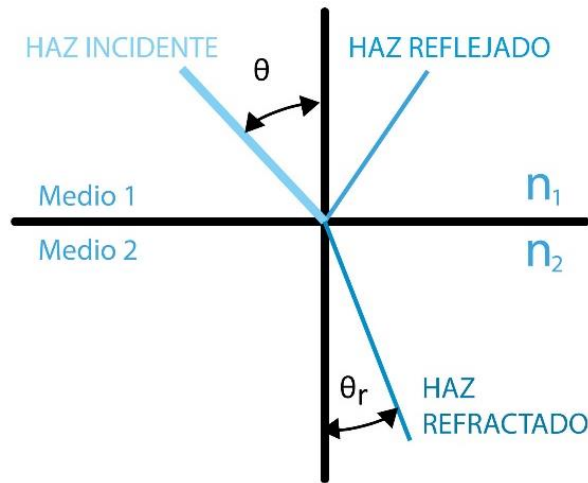


Figura 23 Ángulos de incidencia y refracción. Elaboración propia.

Los dos ángulos están relacionados por la ley de Snell:

$$n = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\text{sen } \theta}{\text{sen } \theta_r} \quad (12)$$

Donde:

n_1 y n_2 = índices de refracción

n = Relación del índice de refracción para los dos medios. Un valor típico es 1.00 para aire, 1.526 para vidrio y 1.33 para agua.

Para un componente de incidencia normal, ambos ángulos son 0, pero si un medio es aire entonces ($n=1.0$) por lo tanto se obtiene:

$$r_{(0)} = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad \rightarrow \quad r_{(0)} = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

Reemplazándola dentro de los corchetes de la Eq. 12 se obtiene:

$$(\tau\alpha)_n = e^{-KL} \left[1 - \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \right] \quad (13)$$

2.3.1. COMPONENTES DE LA RADIACIÓN SOLAR

Radiación Directa o de haz: Es la radiación solar que viene directamente del sol a través de la atmosfera sin ningún cambio de dirección, ni reflexiones o refracciones. Este es caracterizado por crear sombras bien definidas a objetos que se interpone en su trayecto. Por otro lado, la radiación Difusa: Es la radiación que proviene de todas las direcciones a causa de la reflexión y refracción solar en la atmósfera como son nubes, y elementos atmosféricos y terrestres. Este se caracteriza por no proyectar sombras a objetos que se interpongan en su trayecto. Los datos relacionados con la relación solar incidente en cualquier lugar de la tierra se pueden obtener en la página oficial NASA.

2.3.1.2. Radiación solar absorbida, (s)

Uno de los dos datos más importante para realizar la predicción del rendimiento del colector, es la energía solar que puede absorber, ya que éste afecta a la salida de potencia de un sistema fotovoltaico, el otro es la temperatura de la celda.

La radiación solar absorbida depende de la radiación incidente, la masa de aire y el ángulo de incidente y está compuesta de haz directo, difuso y el reflejo en el suelo.

2.3.1.2.1. Modificador de masa de aire, (M)

El modificador de masa de aire es el encargado de explicar los cambios en la radiación a lo largo del trayecto atmosférico, ya que el contenido espectral de la radiación solar disponible va cambiando gracias a la absorción de radiación por especies en la atmosfera, alterando la distribución espectral de la radiación incidente.

Este puede ser calculado por la siguiente relación empírica desarrollada por King et al. (2004)

$$M = \alpha_0 + \alpha_1 m + \alpha_2 m^2 + \alpha_3 m^3 + \alpha_4 m^4 \quad (14)$$

Donde los valores “ α_i ” dependen del material PV, mostrados en la tabla 3.

Tipo de célula	Película delgada de silicóna	Monocristalino	Policristalino	Tres-unión amorfa
α_0	0.938110	0.935823	0.918093	1.10044085
α_1	0.062191	0.054289	0.086257	-0.06142323
α_2	-0.015021	-0.008677	-0.024459	-0.00442732
α_3	0.001217	0.000527	0.002816	0.000631504
α_4	-0.000034	-0.000011	-0.000126	-1.9184x10 ⁻⁵

Tabla 3 Valores de las constantes α_i para varios paneles fotovoltaicos probados en el NIST

2.3.1.2.2. Masa de aire, (m)

Es la relación de la masa de aire que tiene que ser atravesada por un haz en un momento y lugar determinado para poder llegar al PV.

$$m = \frac{1}{\cos(\Phi) + 0.5050(96.08 - \Phi)^{-1.634}} \quad (15)$$

2.3.1.2.3. Modificador del ángulo de incidencia, (K_θ)

Está definido como “la relación de la radiación absorbida por la célula en el ángulo de incidencia ϑ , dividida por la radiación absorbida por la célula en condiciones normales de incidencia.” (Ingeniería de energía solar: procesos y sistemas, 2009). Es importante darlo a conocer ya que el efecto de reflexión y absorción en función del ángulo está dado en términos del modificador del ángulo de incidencia.

En forma de ecuación el ángulo de incidencia con respecto al ángulo θ puede obtenerse de la siguiente manera.

$$K_\theta = \frac{(\tau\alpha)_\theta}{(\tau\alpha)_n} \quad (16)$$

Notando que $K_{\theta,B} = \frac{(\tau\alpha)_B}{(\tau\alpha)_n}$, $K_{\theta,D} = \frac{(\tau\alpha)_D}{(\tau\alpha)_n}$, $K_{\theta,G} = \frac{(\tau\alpha)_G}{(\tau\alpha)_n}$ (17)

La ecuación de la radiación absorbida se puede escribir como

$$S = (\tau\alpha)_n M \left\{ G_B R_B K_{\theta,B} + G_D K_{\theta,D} \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] + G_{\rho G} K_{\theta,G} \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] \right\} \quad (18)$$

Donde el subíndice D es para la radiación difusa, B para la radiación solar de haz y G para la radiación reflejada en el suelo.

Por último, debido a que el acristalamiento de un PV está unido a la superficie de la celda, el modificador del ángulo de incidencia de un PV es.

$$(\tau\alpha)_\theta = e^{-[KL/\cos(\theta_r)]} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2(\theta_r - \theta)}{\text{sen}^2(\theta_r + \theta)} + \frac{\text{tan}^2(\theta_r - \theta)}{\text{tan}^2(\theta_r + \theta)} \right] \right\} \quad (19)$$

Donde:

θ_r y θ = ángulos de incidencia y los ángulos de refracción respectivamente.

K= Coeficiente de extinción que va de $4m^{-1}$ para vidrio de baja calidad a $32m^{-1}$ para vidrio de alta calidad.

L = Grosor de la cubierta del vidrio del panel fotovoltaico.

2.3.1.2.4. Ángulo de incidencia efectivo para la radiación difusa y reflejada

Teniendo un ángulo de inclinación del colector, β se puede utilizar la siguiente relación empírica para obtener el ángulo de incidencia efectivo para la radiación difusa, $\theta_{e,D}$ y la radiación reflejada en el suelo $\theta_{e,G}$

$$\theta_{e,D} = 59.68 - 0.1388\beta + 0.001497\beta^2 \quad (20)$$

$$\theta_{e,G} = 90 - 0.5788\beta + 0.002693\beta^2 \quad (21)$$

2.3.2. TEMPERATURA DE LA CELDA

Para conocer el rendimiento de un módulo fotovoltaico este se expone a CONDICIONES DE CLASIFICACIÓN ESTANDAR (SRC) o bien se toma la TEMPERATURA NOMINAL DE LA CELDA DE OPERACIÓN (NOCT). Los valores SRC Y NOCT se encuentran al reverso del módulo fotovoltaico, de no ser así se presentan en la tabla 3.

Condiciones SRC	Condiciones NOCT
Irradiación $G_{t,0} = 1000 \text{ w/m}^2$	Irradiación $G_{t,NOCT} = 800 \text{ w/m}^2$
Temperatura de $T_o^c = 25^\circ\text{c}$	Temperatura ambiente $T_{a,NOCT} = 20^\circ\text{c}$
	Velocidad del viento $W_{NOCT} = 1 \text{ m/s}$

Tabla 4 Datos de exposición del módulo fotovoltaico bajo condiciones SRC y NOCT.

La temperatura de la celda se puede obtener mediante la siguiente formula:

$$T_c = (T_{NOCT} - T_{a,NOCT}) \left[\frac{G_t}{G_{t,NOCT}} \right] \left[1 - \frac{n_e}{(\tau\alpha)} \right] + T_a \quad (22)$$

Donde:

T_c = Temperatura de la celda

$T_{a,NOCT}$ = Temperatura ambiente bajo condiciones NOCT

G_t = Radiación total en un plano inclinado

$G_{t,NOCT}$ = Irradiación bajo condiciones NOCT

n_e = Eficiencia del módulo

$\tau\alpha$ = Transmitancia que va de 0.9 a 0.1 definida como cantidad de energía que es atravesada por un cuerpo en la unidad de tiempo.

T_a = Temperatura ambiente.

2.4. ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

Desde el punto de la arquitectura, la arquitectura bioclimática o también llamada solar pasiva, es definido como el aprovechamiento de las condiciones climáticas y recursos naturales existentes (especialmente la energía solar) para minimizar el consumo energético de un edificio (Meléndez García, 2015), es decir, la utilización de energía para ser captada, guardada y distribuida sin ningún tipo de elemento mecánico, a fin de regularla de acuerdo a las necesidades de calefacción, refrigeración o iluminación.

Según Elvis F. Mendieta Melchor en su artículo titulado “Energía Solar y Arquitectura”, los principios de la arquitectura bioclimática se encuentran en el mismo diseño y las divide en:

- Entorno climático
- Forma, orientación y distribución del edificio
- Los cierres, el aislamiento y la inercia térmica

2.4.1. EL ENTORNO CLIMÁTICO

Por la influencia directa que tiene en el confort térmico, es denominado el factor más importante a tomar en cuenta, éste se encuentra estrechamente relacionado en el entorno físico, y se refiere al emplazamiento de la vivienda con factores como:

- Altitud: la temperatura atmosférica disminuye entre 0,5 y 1°C cada 100 m
- Distancia al mar: el mar hace de regulador térmico; eleva el nivel de humedad, y crea regímenes especiales de vientos, denominados brisas marinas y de tierra.
- Orografía: los sitios más elevados están más ventilados; reciben más radiación solar, y tienen menos humedad que los valles y depresiones.
- Proximidad a vegetación: por la acción del viento, hace de regulador térmico, y actúa como filtro de polvo, ruido y contaminantes.
- Emplazamientos urbanos: presencia de microclimas, con aumento de temperatura y contaminación, y posibles obstrucciones de la insolación entre las diferentes construcciones vecinas

2.4.1.1. Ventilación natural

Esta es la clave para lograr la comodidad de los habitantes cuando se presentan altas temperaturas en el interior del edificio, esto se logra mediante la liberación del aire caliente a través de las aberturas de ventilación, provocando en el cuerpo humano el enfriamiento de sudoración.

Meléndez García en su libro Arquitectura sustentable comenta que si se genera un buen diseño en donde las áreas de apertura sean aproximadamente 10% del área del piso, se pueden generar como 30 cambios de aire por hora, lo que podría eliminar

una buena cantidad de calor en el edificio, siempre y cuando se conozcan los vientos dominantes de la ubicación. Es por esta razón que para diseñar un sistema de ventilación natural es importante conocer la forma en que fluye el aire alrededor del edificio. En la figura 24 se presentan las principales características con respecto al flujo de aire con respecto al barlovento y el sotavento. Como se muestra en la imagen el viento crea una presión positiva en el barlovento del edificio mientras que en la pared lateral se crea una menor cantidad de succión en el sitio del sotavento del edificio, debido a los remolinos creados por el viento.

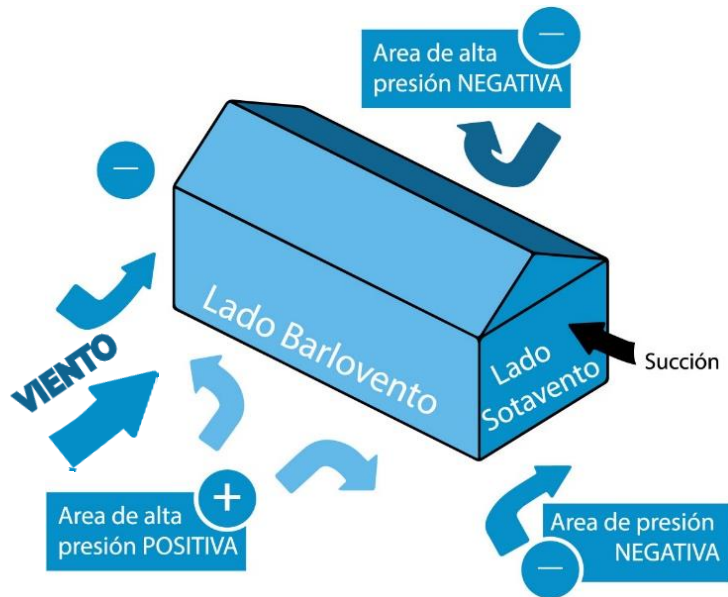


Figura 24 Comportamiento del flujo de aire con respecto al barlovento y el sotavento. Elaboración propia con información tomada del libro "Solar Energy Engineering".

El uso de paredes de alas que puedan ser integradas en el exterior, entre ventanas lo más separadas posibles con el fin de que una ventana se encuentre en la zona de presión positiva y la otra en la negativa (figura 25).

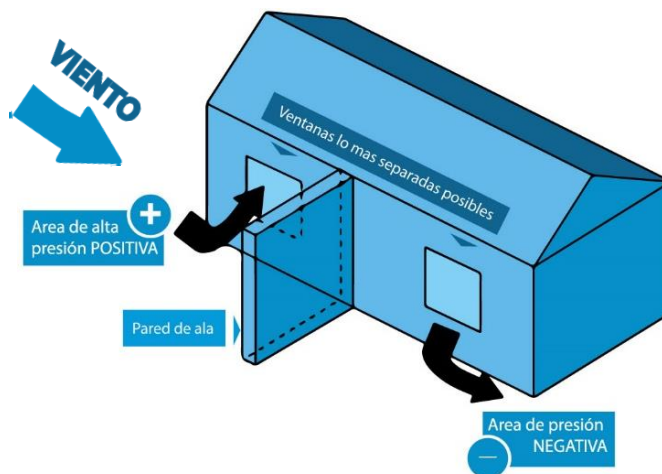


Figura 25 Representación de flujo de aire con uso de paredes de alas. Elaboración propia con información tomada del libro "Solar Energy Engineering".

Armano Deffis caso en su libro, “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales” presenta algunos efectos del viento:

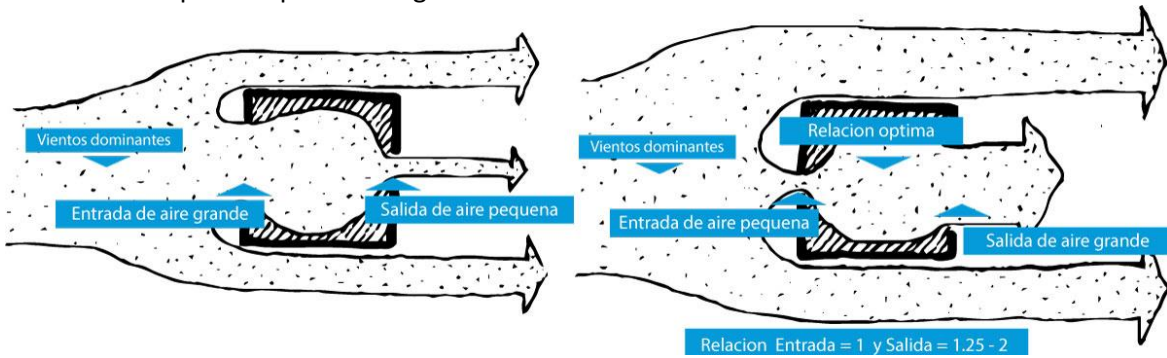


Figura 26 Diferencia de velocidad de aire en el interior cuando la apertura de salida es mayor que la entrada. Imagen editada tomado del libro “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”.

La relación óptima se logra abriendo entradas pequeñas en la parte inferior de los muros, donde penetra el aire, y grandes del lado donde sale, de otra forma, el chorro de aire entrante mantendrá su forma para una longitud que sea aproximadamente igual al tamaño de la ventana y luego se dispersará completamente (Figura 26).

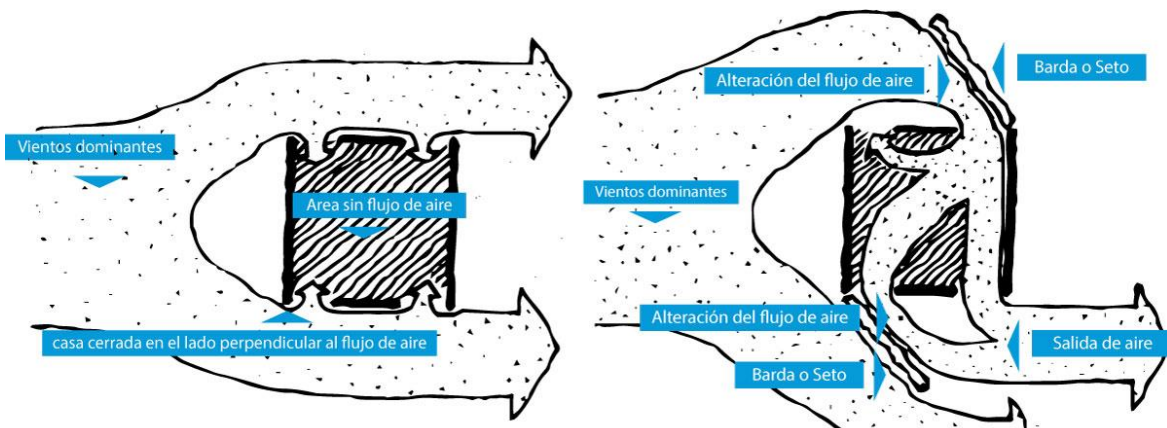


Figura 27 Comportamiento del flujo de aire con el uso de bardas o setos cuando la conducción de aire perpendicular se encuentra cerrada. Imagen editada tomada del libro “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”.

El uso de la ventilación cruzada, en donde el aire puede recorrer los espacios habitados o conducida mediante, vegetación, muros o árboles, para poder direccionar la dirección de la corriente en forma efectiva para distribuir los vientos en la edificación (figura 27 y 28).

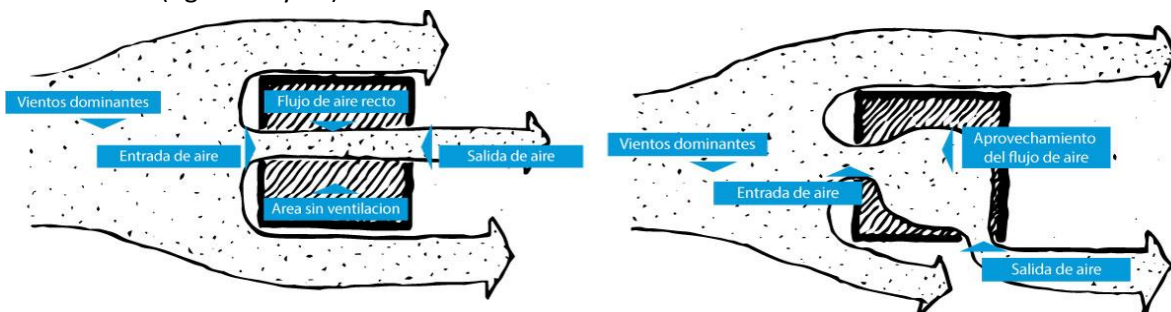


Figura 28 Importancia de comportamiento del flujo de aire con respecto a aberturas de entrada y salida de aire. Imagen editada tomada del libro “la casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”.

La utilización de la corriente convectiva o forzada en el interior del edificio puede ser una opción viable cuando el flujo de aire no es suficiente para ventilarlo, además de la utilización del efecto chimenea o presión negativa en el techo del edificio. Como se observa en la figura 29, ésta está basada en las diferencias de temperaturas en las masas de aire.

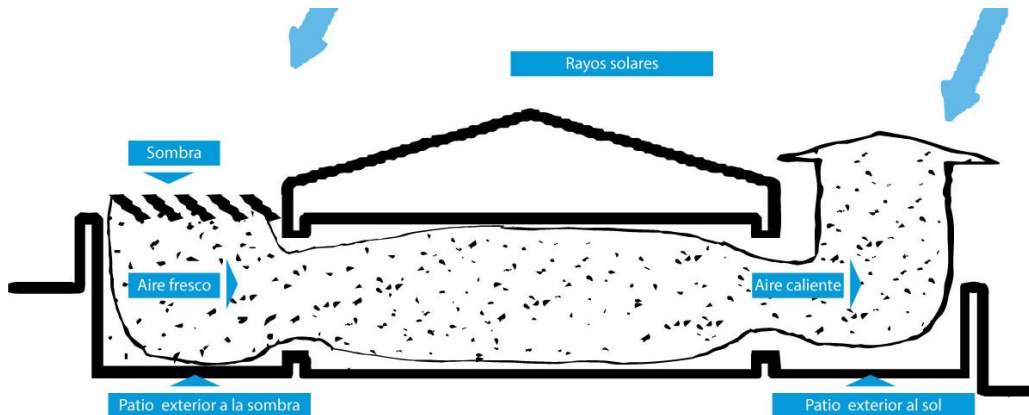


Figura 29 Representación de la corriente convectiva o forzada. Fuente propia.

Otra forma de alterar la ventilación, pero esta vez dentro de un espacio lo presenta Kaloriu (2009) está establecido de acuerdo a lo siguiente; Si el chorro de aire entrante se encuentra cerca de una pared lateral, la corriente de aire se adhiere a la pared, lo mismo pasa cuando la ventana está cerca del piso o del techo. Ver figura 30.

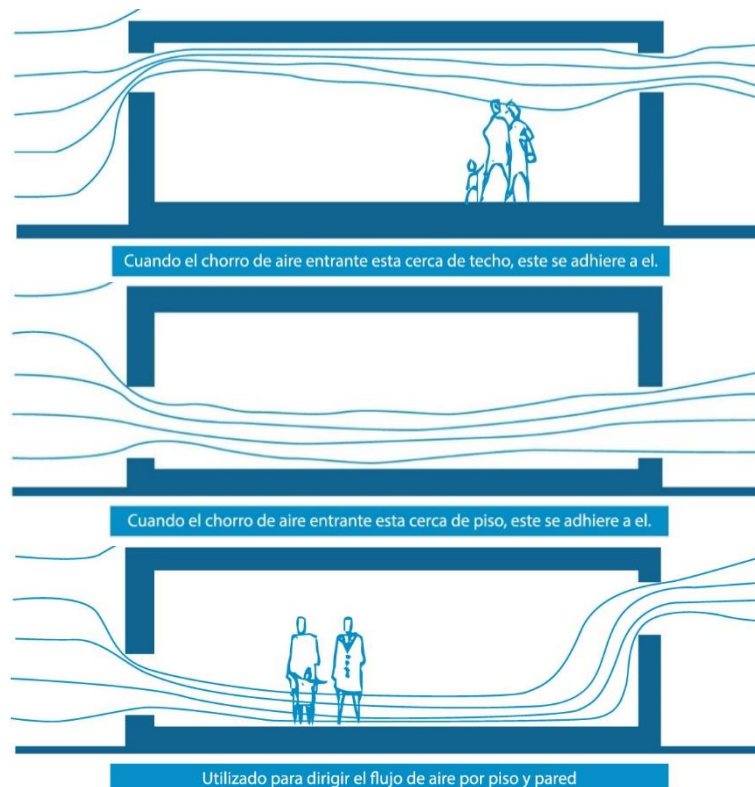


Figura 30 Alteración de ventilación interior con juego con el posicionamiento de entradas de chorros de aire. Fuente propia

Es importante conocer las posibles desventajas al utilizar la ventilación natural, que, aunque no son problemas considerables, logra un costo adicional para proteger las aberturas de ventilación, estas son; ruido, polvo y algunas veces seguridad.

1. Los espacios pueden ser ventilados naturalmente durante la noche con el fin de disolver el exceso de calor, el único inconveniente es que esta técnica está limitada por la falta de control sobre la velocidad en que se llevará a cabo el enfriamiento.
2. El clima perfecto para el máximo aprovechamiento de la masa térmica es aquel con grandes fluctuaciones diarias de temperatura, ya que la masa puede ser enfriada con ventilación natural durante la noche y cuando las temperaturas exteriores se encuentran en su máximo punto, el interior del edificio puede mantenerse fresco, ya que el calor aún no penetraría la masa.

2.4.1.2. Vegetación

De igual forma Armano Deffis en su libro, “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales” presenta algunos usos de vegetación, colocarla alrededor del edificio puede lograr modificar el microclima existente, reduciendo la temperatura del aire externo e interno, controlando la radiación solar que pueda llegar al edificio, específicamente en muros orientados al sur, oriente o poniente, estos ayudan con sus hojas a cubrir la edificación para evitar la ganancia de calor (Figura 31). De esta forma el sol puede llegar a la superficie durante el invierno pero sombrea durante el verano, en este caso el sistema puede tomar el lugar de aislante térmico en paredes.

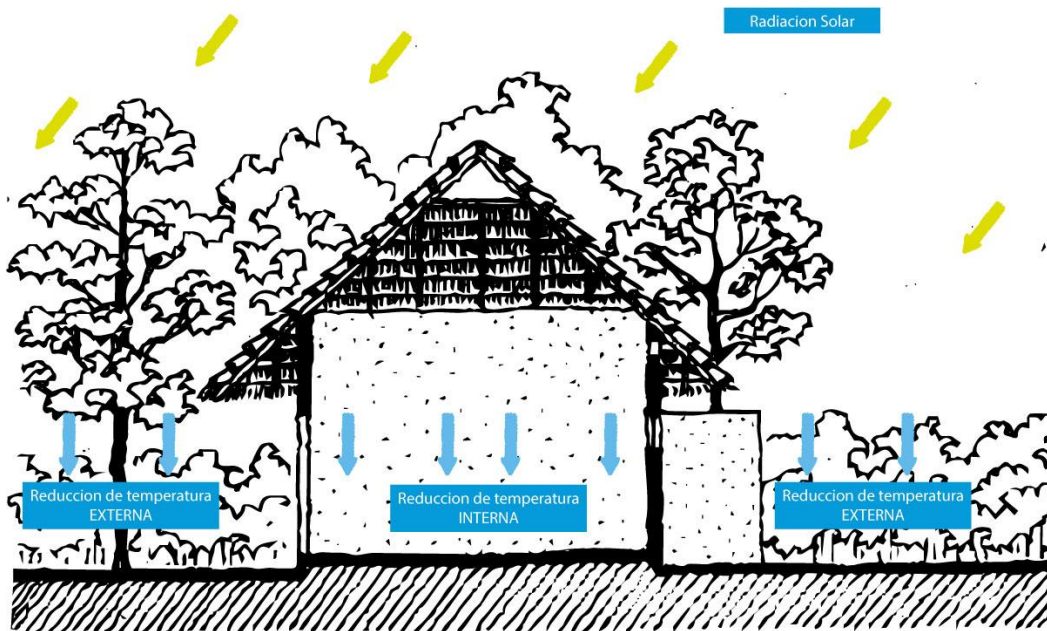


Figura 31 Reducción de temperatura al interior de la casa por uso de vegetación. Imagen editada tomada del libro “La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales”.

El uso de enredaderas en fachadas soleadas fungen un papel importante como aislante ayudando a disminuir la incidencia directa del sol, lo que genera una disminución en la temperatura interna del edificio (imagen 32).

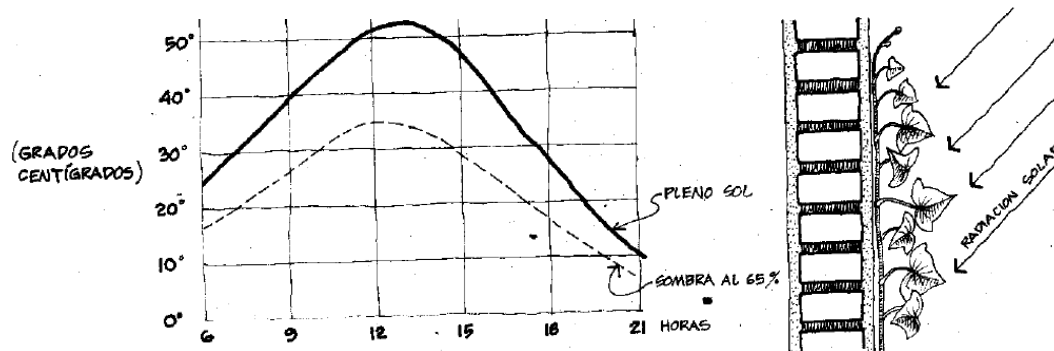


Figura 32 Influencia del recubrimiento vegetal sobre la temperatura superficial. Imagen tomada del libro "La casa autosuficiente para climas cálidos y tropicales".

Es necesario analizar con detalle la accesibilidad y la seguridad que ofrece el espacio en el que se pretende instalar una cubierta solar fotovoltaica ya que la vegetación puede generar un inconveniente al generar sombra sobre éstos, esto con el fin de diseñar una cubierta solar lo más eficiente posible para obtener el mayor rendimiento.

2.4.2. FORMA, ORIENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL EDIFICIO

La orientación de un edificio determina su exposición al sol y a los vientos, y la forma de un edificio interviene de manera directa en el aprovechamiento climático del entorno, esto a través de dos elementos básicos: la superficie y el volumen. Con relación a la superficie de la vivienda este se da por los intercambios de calor entre el exterior y el interior de un edificio ya que, a mayor superficie más capacidad para intercambiar calor entre exterior e interior. El volumen del edificio está directamente relacionado con la capacidad para almacenar energía ya que, a más volumen, más capacidad para almacenar calor.

Una manera de cuantificar la relación entre la forma de un edificio y su capacidad para intercambiar calor con el exterior, es tomar en consideración el factor de forma, que es el cociente entre la superficie del edificio y su volumen. Para climas fríos conviene un pequeño factor de forma, entre 0,5 y 0,8, mientras que para climas cálidos conviene uno grande, superior al 1,2 (Deffis Caso, 1990).

2.4.2.1. Forma y orientación

Para una buena distribución de la masa térmica se necesita la correcta orientación de la superficie y conocer el material de construcción adecuado para cada caso, como se comentó anteriormente el área de superficie del edificio que se encuentra expuesta a la radiación solar está estrechamente relacionado con la velocidad en la que el edificio

gana o pierde calor, al mismo tiempo que el volumen se encuentra relacionado con la capacidad que tiene el edificio para almacenar el mismo.

La forma y orientación del edificio deben ser elegidas para brindar calefacción y refrigeración. Para la calefacción se debe permitir que la energía liberada por el sol alcance las superficies adecuadas en las horas máximas posibles. Y para el enfriamiento, el uso de brisa natural y sombreado juegan un papel importante para ventilar el espacio en horas en que el calor liberado no sea requerido, esto dependerá de las necesidades de la edificación y de los usuarios.

De acuerdo con Lencher (1991), para una superficie que se encuentra orientada al norte, el tiempo de espera de absorción y liberación de calor es pequeña, ya que exhibe pequeñas cantidades de calor.

1. Las superficies orientadas al este necesitan un retraso de tiempo muy largo mayor a 14 hr, por lo que la transferencia de calor se retrasa hasta las últimas horas de la tarde.
2. Las orientaciones al sur pueden operar con un retraso de 8 hr, logrando retrasar el calor desde el mediodía hasta las horas de la tarde.
3. Para las orientaciones del oeste, un retraso de 8 hr es nuevamente suficiente, ya que reciben radiación sólo unas pocas horas antes de la puesta de sol.
4. El techo requiere un retraso de tiempo muy largo, ya que es expuesto la radiación solar durante la mayoría de las horas del día, sin embargo, debido a que es muy costoso construir techos pesados, generalmente se recomienda el uso de aislamiento adicional.

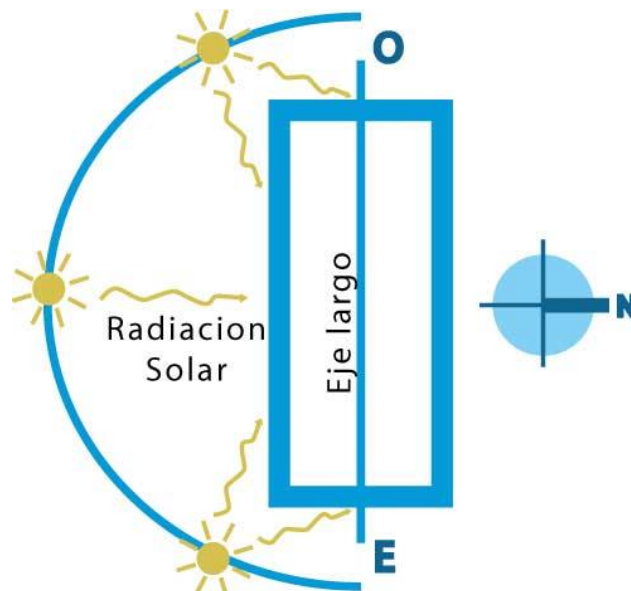


Figura 33 Mejor posicionamiento con eje largo del Este a Oeste para zonas calurosas. Elaboración propia

Con respecto a la forma del edificio este depende a la ubicación que se encuentre el predio, por ejemplo, para las zonas calurosas es recomendable evitar las formas cuadradas y optar por el rectangular con el eje largo en posición este – oeste (figura 33) ya que, gracias al recorrido del sol, la radiación impactaría 3 veces más en la cara sur que en las caras oeste y este. Y de lo contrario para las zonas frías, se busca el rectangular con el eje largo en posición norte-sur.

Otro punto importante es la altura de la cubierta, ésta se encuentra ligada al volumen de aire caliente que se puede concentrar en la edificación, ya que a mayor altura el aire caliente sube, almacenándose en la parte superior, lo que provocaría corrientes ascendentes que refrescarían la parte baja

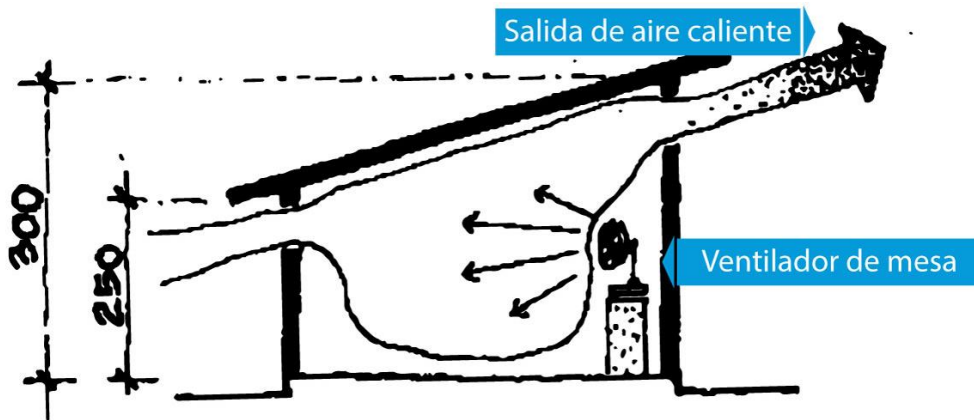


Figura 34 Uso de ventiladores de mesa para zonas calurosas. Imagen editada

Como se muestra en la figura 35, una solución económica para zonas calurosas que nos presenta Armando Deffis Caso es el uso de ventiladores de techo con una altura no menor de 2.50 mts, con orificios para ventilar por el techo cuando éste se encuentra inclinado, o como en la figura 34, con el uso de ventilaciones de mesa, específicamente los que giran sobre un eje vertical.

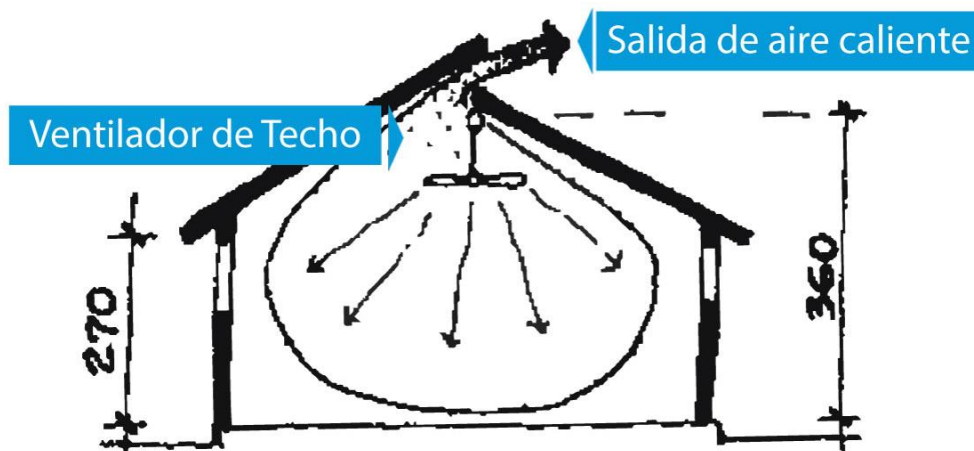


Figura 35 Uso de ventiladores de techo a una altura de 2.70 m para ventilar el interior. Imagen editada.

2.4.3. LOS CIERRES, EL AISLAMIENTO Y LA INERCIA TÉRMICA

La función principal de los cierres de un edificio es preservar las condiciones interiores, independientemente de las exteriores. Una de las maneras de conseguirlo es a través de la disminución del intercambio de calor entre el interior y el exterior, de forma que los muros ejerzan una función de aislamiento térmico, dependiendo de:

1. El grosor del material
2. Las dimensiones del cierre
3. Las propiedades termofísicas de los materiales que lo componen.

2.4.3.1. Aislamiento

Al integrar un sistema fotovoltaico se busca que el área a utilizar se encuentre posicionada hacia el sur verdadero, ésto puede ocasionar una ganancia de calor en las áreas que se encuentren posicionadas al mismo lado, por esa razón el uso de aislamiento ayuda a contrarrestar el aumento de temperatura que se pueda presentar en el interior de la edificación sin la utilización de equipos mecánicos, ésto gracias a que el calor se almacena en los materiales estructurales del edificio (denominado masa térmica), con el fin de retrasar la transferencia de calor a través de un componente del mismo, lo que conlleva a retrasar el momento de respuesta y reducir el consumo de energía al no ser necesario el uso de ventiladores ni aire acondicionado para enfriar o disipar el aire caliente.

El aislamiento se presenta en un material al provocar un retraso en el flujo de calor, de modo que el calor pueda penetrarlo durante un tiempo específico de carga y descarga, éste dependerá de las características termofísicas de los materiales (Kalogirou, 2009).

Existen diversas capacidades de almacenamiento térmico propias de la masa del edificio, éstos contienen efectos significativos en la temperatura, rendimiento y funcionamiento en el edificio, el correcto uso de la masa estructural para almacenamiento térmico, es capaz de reducir y retrasar las cargas máximas de calefacción y refrigeración, además de reducir el consumo energético del edificio, proporcionando calor cuando no hay energía solar disponible y el enfriamiento pasivo para limitar el aumento de temperatura durante el día, disminuyendo el uso de aire acondicionado y por consiguiente minimizar el consumo energético del edificio.

El calor transferido por el sol por medio de **conducción, convección y radiación** puede ser almacenado en los materiales estructurales del edificio. A continuación, se presenta la resistencia térmica para la transferencia de calor por medio de conducción a través de un elemento de pared y una conducción térmica (Kalogirou, 2009).

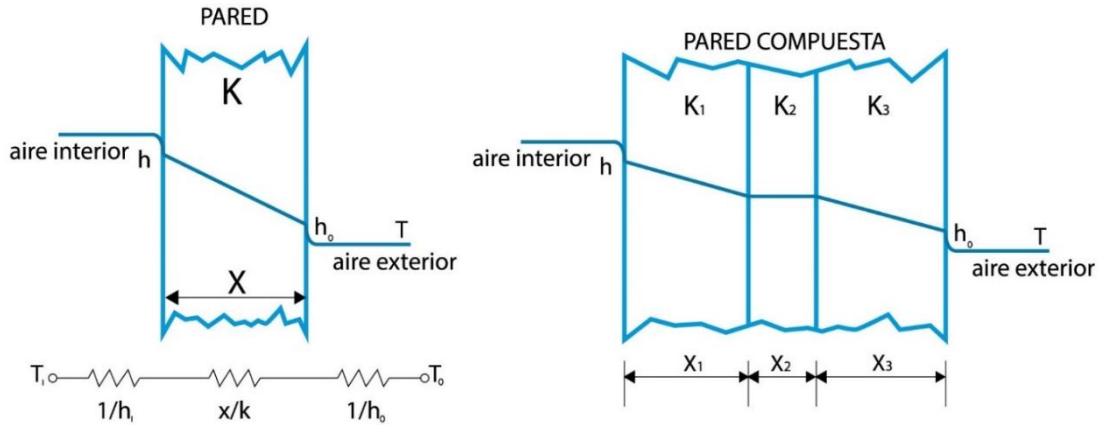


Figura 36 Transferencia de calor en pared y pared multicapa de grosor x . Elaboración propia.

$$R = \frac{x}{K} \quad (23)$$

Donde:

X = espesor de la pared (m)

K = conductividad térmica (W/m-k)

Por otro lado, para calcular la transferencia térmica por conducción y radiación por unidad de área, para una transferencia por convección y radiación combinados es la siguiente.

$$R = \frac{1}{h} \quad (24)$$

Donde:

h = coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación combinados (W/m^2-k)

Como se muestra en la figura 37 la resistencia térmica en base a las temperaturas de interior y exterior se obtiene al sumar las 3 resistencias.

$$R_{total} = R_i + R_w + R_o = \frac{1}{h} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h} \quad (25)$$

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor global.

$$U = \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_i + R_w + R_o} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad (26)$$

Donde:

h_i y h_o = Pueden obtenerse de la tabla 5 para materiales típicos en su resistencia superficial y en la tabla 6 para aire estancado.

Material	Densidad (Kg/m ³)	Productividad Térmica (W/m ² -k)
Granito	2,500 – 2,700	2.80
Mármol	2,800	3.50
Caliza blanda	1,800	1.10
Caliza Dura	2,200	1.70
Caliza muy dura	2,600	2.30
Yeso (Cemento +arena)	-----	1.39
Hormigón, densidad media	2,000	1.35
Hormigón, alta densidad	2,400	2.00
Ladrillo hueco	1,000	0.25
Ladrillo macizo	1,600	0.70
Fibra de lana	50	0.041
Poliestireno expandido Min	20	0.041
Poliestireno extruido	> 20	0.030
Poliuretano	> 30	0.025

Tabla 5 Propiedades de los materiales de construcción y aislamiento

Espesor de aire (mm)	Dirección de flujo de calor		
	Oblicuo	Arriba	Abajo
5	0.11	0.11	0.11
7	0.13	0.13	0.13
10	0.15	0.15	0.15
15	0.17	0.16	0.17
25	0.18	0.16	0.19
50	0.18	0.16	0.21

100	0.18	0.16	0.22
300	0.18	0.16	0.23
Resistencia Superficial			
Superficie Interna	0.12	0.11	0.16
Superficie Externa	0.044		

Tabla 6 Resistencia térmica de aire estancado y resistencia superficial (m²-k/w).

Para paredes multicapa se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{i=1}^m \frac{x_i}{k_i} + \frac{1}{h_o}} \quad (27)$$

Donde:

M = Número de materiales de la construcción compuesta.

Los valores de U están especificados en la tabla 97 Anexo B) para los estados de la república mexicana.

El uso de esmaltado de un gran muro de mampostería con frecuencia es utilizado en las edificaciones, el cual puede absorber la energía solar durante el día, conduciendo el calor a la superficie interior, hasta ser liberada cuando se necesita.

Otro aspecto que interviene en el mecanismo de intercambio energético entre la vivienda y el exterior, es el color de la fachada. Los colores claros en la fachada de un edificio facilitan la reflexión de la luz natural y, por lo tanto, ayudan a repeler el calor de la insolación. Contrariamente los colores oscuros facilitan la captación solar.

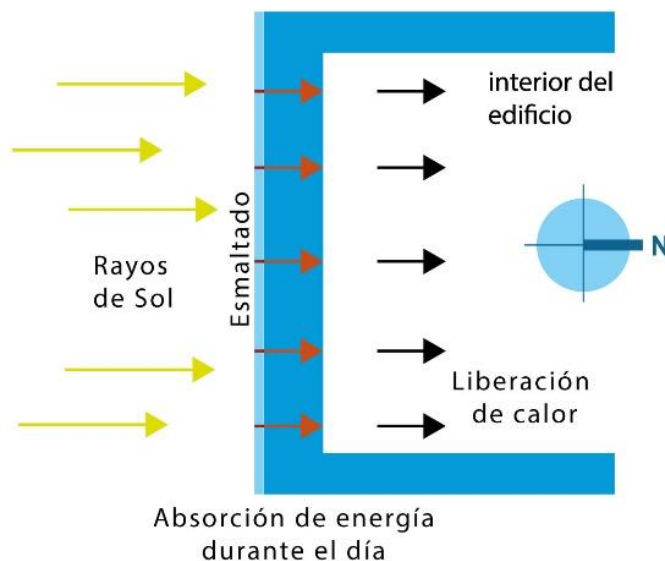


Figura 37 Absorción de energía con esmaltado. Elaboración propia.

2.5. PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO DEL SFV

2.5.1. ANÁLISIS DE CONSUMO ENERGÉTICO

Para realizar cualquier cálculo de dimensionamiento es necesario obtener el análisis de consumo energético del edificio, para ésto primero se deben enlistar los diferentes aparatos electrónicos a utilizar en la edificación, el usuario debe proporcionar el tiempo de uso regular de los aparatos y en qué momento del día es utilizado.

TIPO DE APARATO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PERIODO DE USO

Tabla 7 Tabla de enlistado de aparatos electrodomésticos utilizados por el usuario y su tiempo de uso.

Una vez obtenidos los datos de la tabla 7 se genera la tabla 8 para calcular el consumo energético de la edificación en base a los datos registrados. Constituida de los siguientes apartados:

- **Sistema**, área al cual se conforma el aparato, ya sea calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, cocina, informática, etc.
- **Aparato**
- **Cantidad**, el número de aparatos de un mismo tipo, con mismas características.
- **Potencia**, cantidad de electricidad que consume un aparato eléctrico.
- **Tiempo de ejecución**, tiempo en el que el aparato electrónico se encuentra en uso, ya sea diario, semanal o mensual, dependiendo del caso (en relación con la horas del día).
- **Energía por día**, potencia multiplicada por el tiempo de ejecución diario.
- **Energía semanal**, potencia multiplicada por el tiempo de ejecución semanal.

SISTEMA	APARATO	CANTIDAD	POTENCIA (w)	TIEMPO DE EJECUCIÓN	ENERGÍA POR DÍA	ENERGÍA SEMANAL
Total						

Tabla 8 Tabla de enlistado de aparatos electrodomésticos para calcular el consumo energético.

2.5.1.1. Diagrama de programación de tiempo

Este diagrama (Figura 38) es utilizado para estimar la potencia máxima con base al valor de la potencia más alta que se produce en un momento determinado. Este se obtiene al multiplicar la potencia de cada electrodoméstico por las horas de funcionamiento a lo largo del día, en donde la cantidad más alta es el resultado de la suma de energía a la misma hora de ejecución, es decir la potencia máxima a satisfacer.

De no obtener la hora en el que se ejecutan los electrodomésticos se toman como si todos fueran ejecutados al mismo tiempo.

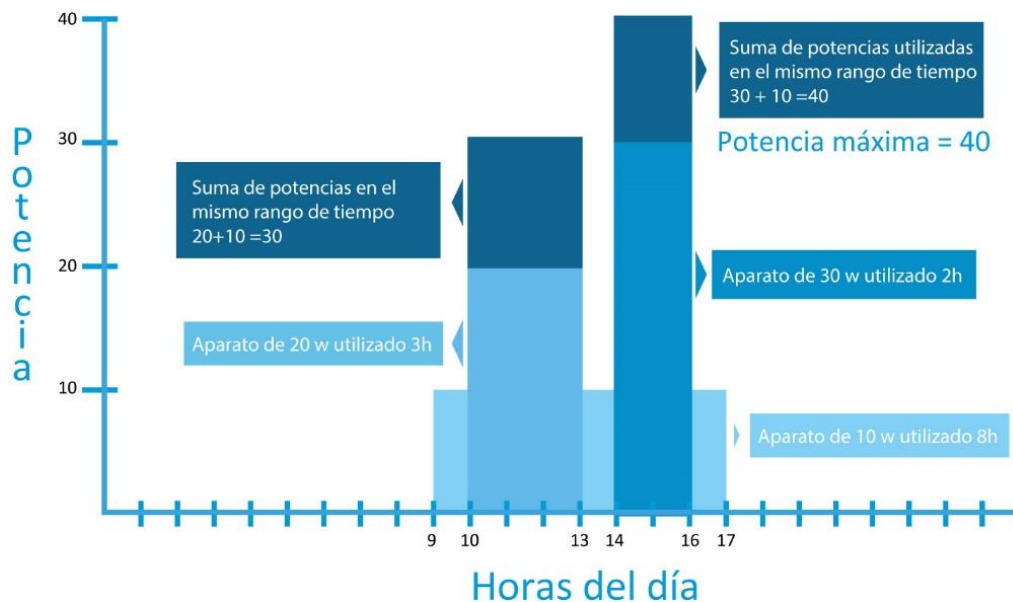


Figura 38 Ejemplo de utilización de diagrama de potencia máxima. Elaboración propia.

2.5.2. DIMENSIONAMIENTO

Se investigó la metodología de dimensionamiento del sistema fotovoltaico, en donde la potencia de salida del panel podía ser tomada de dos maneras, la primera tomada del libro "Solar Energy Engineering" escrito por Kalogirou, Soteris en 2009 donde se toma en cuenta la influencia de radiación y la temperatura en la potencia de salida del panel, y la segunda tomando el panel en condiciones óptimas.

2.5.2.1. Potencia de salida tomando en cuenta la influencia de radiación y temperatura de kalogiroy, soteris

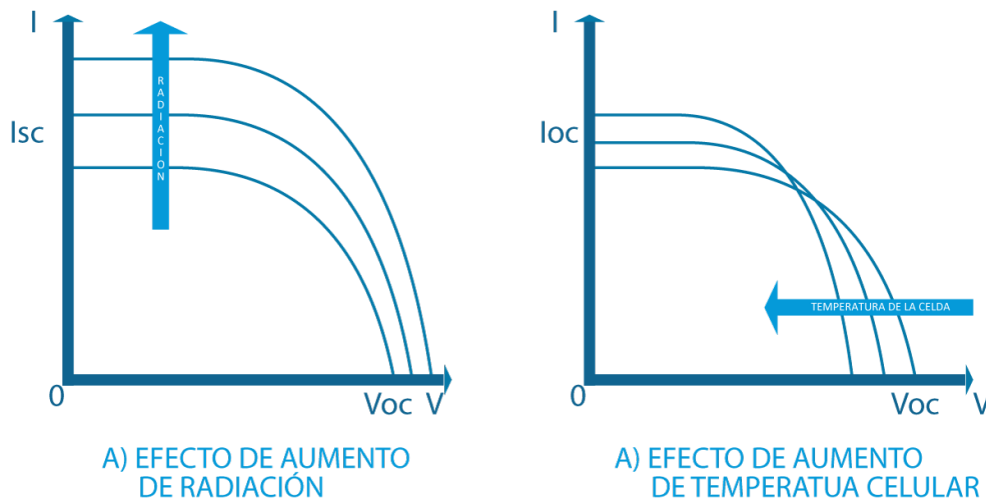
Para éste, es necesario conocer las características del subsistema natural y del sistema a utilizar, dichas características se muestran a continuación:

2.5.2.1.1. Valores

- **Espacio**
Conocer el área disponible para sustituir o incorporar elementos fotovoltaicos, ya sea en fachadas, techados, ventanas, etc. Ya que los módulos fotovoltaicos, tal y como se encuentran en el mercado, ya que éstos pueden llegar a condicionar el diseño y en algunos casos la estructura de la edificación.
- **Tipo de recubrimiento**
Es necesario determinar el tipo de recubrimiento con base al espacio requerido, para conocer la potencia, eficiencia, dimensiones de los módulos y determinar si son los indicados para integrarlos.
- **Radiación del sitio**
Los datos de radiación pueden ser obtenidos de la página de la NASA
 - Radiación de haz directo
 - Radiación de haz difuso
- **Latitud**
- **Ángulo de inclinación del panel fotovoltaico**
La información puede ser obtenida del capítulo 2 sección 2.2.3.5.
- **Temperatura ambiente**
- **Tiempo de hora diurna**
Este dato puede obtenerse de la siguiente página <https://ccea.mx/>

2.5.2.1.2. Radiación solar absorbida por la celda

Como se observa en la figura 39 existen dos variables que influyen en la salida de potencia de un sistema fotovoltaico, los cuales son la radiación solar y la temperatura de la celda.



La tensión del circuito abierto aumenta logarítmicamente al aumentar la radiación solar, mientras que la corriente de corto circuito aumenta linealmente.

Figura 39 Influencia de la radiación y temperatura. Elaboración propia.

Para calcular la radiación solar absorbida primero es necesario determinar el día, el mes y la hora en el que se pretende realizar el cálculo de la radiación solar, además del tipo de celda a ocupar. El voltaje depende de los fabricantes.

Una vez determinado el día, y la posición del panel fotovoltaico se calcula la declinación con la ecuación 5.

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} + (284 + N) \right]$$

Donde N es el número de día, tomando el 1ero de enero como 1 o basándonos en la tabla 1.

De la ecuación 6, el ángulo horario de altitud solar es:

$$h = \pm 0.25 \text{ (número de minutos desde el medio día local)}$$

Obtenido h y δ obtenemos con la ecuación 8 el ángulo de incidencia solar θ . De existir variantes en la posición (Z_s) o el ángulo de inclinación del panel (β) se utilizan las ecuaciones 9 - 11.

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \text{sen}(L)\text{sen}(\delta) \cos(\beta) - \cos(L) \text{sen}(\delta)\text{sen}(\beta) \cos(Z_s) \\ & + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h) \cos(\beta) \\ & + \text{sen}(L) \cos(\delta) \cos(h) \text{sen}(\beta) \cos(Z_s) \\ & + \cos(\delta) \text{sen}(h)\text{sen}(\beta)\text{sen}(Z_s) \end{aligned}$$

Donde:

L = Latitud del sitio.

β = Ángulo de inclinación de la superficie (en grados).

Z_s = Ángulo acimutal de superficie.

Para estimar la radiación solar absorbida, es necesario conocer los 3 modificadores del ángulo de incidencia $K_{\theta,B}$, $K_{\theta,D}$, $K_{\theta,G}$. Estos ángulos de incidencia están separados para la radiación de haz, difusa y reflejada en el suelo.

- Modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,B}$

Para obtener $K_{\theta,B}$ necesitamos conocer el ángulo de refracción $\theta_{r,B}$ con la ayuda de la ley de Snell, despejándolo de la ecuación 12.

$$\text{sen } \theta_{r,B} = \frac{\text{sen } \theta}{n}$$

De igual forma es necesario obtener la radiación absorbida por la celda en el ángulo de incidencia θ , para lo cual se utiliza la ecuación 19.

$$(\tau\alpha)_{\theta,B} = e^{-[KL/\cos(\theta_r)]} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2(\theta_{r,B} - \theta)}{\text{sen}^2(\theta_{r,B} + \theta)} + \frac{\text{tan}^2(\theta_{r,B} - \theta)}{\text{tan}^2(\theta_{r,B} + \theta)} \right] \right\}$$

Donde

θ_r y θ = ángulos de incidencia y los ángulos de refracción respectivamente.

K= Coeficiente de extinción que va de $4m^{-1}$ para vidrio de baja calidad a $32m^{-1}$ para vidrio de alta calidad.

L = Grosor de la cubierta del vidrio del panel fotovoltaico.

Por último, calculamos la radiación absorbida por la celda en condiciones normales de incidencia en base a la ecuación 13.

$$(\tau\alpha)_n = e^{-KL} \left[1 - \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 \right]$$

Una vez obtenidos todos los valores anteriores con la ecuación 17 se puede obtener el modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,B}$.

$$K_{\theta,B} = \frac{(\tau\alpha)_{\theta,B}}{(\tau\alpha)_n}$$

- Modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,D}$

Para obtener $K_{\theta,D}$ necesitamos conocer la radiación difusa en el cielo $\theta_{e,D}$. Ésta se puede obtener con la ayuda de la ecuación 20.

$$\theta_{e,D} = 59.68 - 0.1388\beta + 0.001497\beta^2$$

Calculando el ángulo de refracción difusa $\theta_{r,D}$ con la ecuación 12.

$$\text{sen } \theta_{r,D} = \frac{\text{sen } \theta_{e,D}}{n}$$

Por último calculamos la radiación absorbida por la celda en el ángulo de incidencia $\theta_{e,D}$ en base a la ecuación 19.

$$(\tau\alpha)_{\theta,D} = e^{-[KL/\cos(\theta_{r,D})]} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2(\theta_{r,D} - \theta_{e,D})}{\text{sen}^2(\theta_{r,D} + \theta_{e,D})} + \frac{\text{tan}^2(\theta_{r,D} - \theta_{e,D})}{\text{tan}^2(\theta_{r,D} + \theta_{e,D})} \right] \right\}$$

Una vez obtenidos todos los valores anteriores con la ecuación 17 se obtiene el modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,D}$.

$$K_{\theta,D} = \frac{(\tau\alpha)_{\theta,D}}{(\tau\alpha)_n}$$

- Modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,G}$

Para obtener $K_{\theta,G}$ necesitamos conocer la radiación reflejada en el suelo $\theta_{e,G}$. Ésta puede ser obtenida con la ayuda de la ecuación 21.

$$\theta_{e,G} = 90 - 0.5788\beta + 0.002693\beta^2$$

Calculando el ángulo de refracción con la ecuación 12.

$$\text{sen } \theta_{r,G} = \frac{\text{sen } \theta_{e,G}}{n}$$

Por último calculamos la radiación absorbida por la celda en el ángulo de incidencia $\theta_{e,G}$ en base a la ecuación 19.

$$(\tau\alpha)_{\theta,G} = e^{-[KL/\cos(\theta_{r,G})]} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2(\theta_{r,G} - \theta_{e,G})}{\text{sen}^2(\theta_{r,G} + \theta_{e,G})} + \frac{\text{tan}^2(\theta_{r,G} - \theta_{e,G})}{\text{tan}^2(\theta_{r,G} + \theta_{e,G})} \right] \right\}$$

Una vez obtenidos todos los valores anteriores con la ecuación 18 se obtiene el modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,G}$.

$$K_{\theta,G} = \frac{(\tau\alpha)_{\theta,G}}{(\tau\alpha)_n}$$

Obtenidos los 3 modificadores del ángulo de incidencia $K_{\theta,B}$, $K_{\theta,D}$, y $K_{\theta,g}$ se estima el ángulo cenital Φ con ayuda de la ecuación 7.

$$\text{Sen } (\alpha) = \cos(\Phi) = \text{sen}(L)\text{sen}(\delta) + \cos(L) \cos(\delta) \cos(h)$$

Para así poder obtener la masa de aire con la ecuación 15.

$$m = \frac{1}{\cos(\Phi) + 0.5050(96.08 - \Phi)^{-1.634}}$$

Seguido del modificador de masa de aire, el cual se obtiene de la ecuación 14, apoyándonos de la tabla 2.

$$M = \alpha_0 + \alpha_1 m + \alpha_2 m^2 + \alpha_3 m^3 + \alpha_4 m^4$$

Donde

$$R_B = \frac{\cos \theta}{\cos \Phi}$$

Como último, con la ayuda de los valores obtenidos anteriormente podemos determinar la radiación solar absorbida con la ecuación 18.

$$S = (\tau\alpha)_n M \left\{ G_B R_B K_{\theta,B} + G_D K_{\theta,D} \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] + G_{\rho G} K_{\theta,G} \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] \right\}$$

2.5.2.1.3. Temperatura de la celda

Para poder conocer la temperatura, se deben tener los valores del módulo fotovoltaico bajo condiciones NOCT (tabla 3), la radiación, temperatura ambiente y la eficiencia del módulo (proporcionado en su ficha técnica).

Nos ayudamos de la ecuación 22.

$$T_c = (T_{NOCT} - T_{a,NOCT}) \left[\frac{G_t}{G_{t,NOCT}} \right] \left[1 - \frac{n_e}{(\tau\alpha)} \right] + T_a$$

T_c = Temperatura de la celda

$T_{a,NOCT}$ = Temperatura ambiente bajo condiciones NOCT

T_{NOCT} = Temperatura bajo condiciones NOCT

G_t = Radiación total en un plano inclinado

$G_{t,NOCT}$ = Irradiación bajo condiciones NOCT

n_e = Eficiencia del módulo

$\tau\alpha$ = Transmitancia que va de 0.9 a 0.1 definida como cantidad de energía que es atravesada por un cuerpo en la unidad de tiempo.

T_a = Temperatura ambiente.

2.5.2.1.4. Potencia máxima

Antes de realizar el dimensionamiento del sistema se tiene que obtener la potencia máxima que puede generar el sistema bajo las condiciones de radiación y temperatura del lugar, esto con ayuda de los datos calculados anteriormente y datos de la ficha técnica del modelo fotovoltaico.

Primero se calcula la tensión del circuito abierto (V_{oc}), con la ecuación 1.

$$V_{oc} = \frac{kT_c}{e} \ln \left[\frac{I_{sc}}{I_o} \right]$$

Donde:

k = Constante de gas de Boltzman = $1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

e = Carga electrónica = $1.602 \times 10^{-19} \text{ N}$

T_C = Temperatura de la celda

I_{sc} = Corriente de corto circuito

I_o o I_D = Corriente de saturación oscura

Seguido de la obtención del voltaje a la máxima potencia (V_{max}) con la ecuación 2.

$$\exp\left[\frac{eV_{max}}{kT_C}\right] \left[1 + \frac{eV_{max}}{kT_C}\right] = 1 + \frac{I_{sc}}{I_o}$$

Obtenido V_{max} se utiliza para calcular la corriente de carga máxima (I_{max}), con ayuda de la ecuación 3.

$$I_{max} = \frac{eV_{max}}{kT_C + eV_{max}} (I_{sc} + I_o)$$

Una vez obtenidos V_{max} e I_{max} podemos calcular la potencia máxima (P_{max}), en base a la ecuación 4.

$$P_{max} = I_{max}V_{max}$$

Obtenidos los datos anteriores podemos determinar la potencia del panel con ayuda de la potencia de cada celda.

Primero, para determinar la corriente de carga máxima para la celda, se multiplica I_{max} obtenido anteriormente por el área de la celda (A).

$$I_{max_{celda}} = I_{max} A$$

Para la potencia por celda se utiliza la ecuación 4 sustituyendo $I_{max_{celda}}$

$$P = I_{max_{celda}} V_{max}$$

Para conocer la potencia que produce el panel se multiplican las filas y las celdas por la potencia por celda.

2.5.2.1.5. Número de paneles

Una vez determinada la potencia del panel que se va a tener en ese momento con esa radiación y la temperatura, además teniendo como dato conocido el consumo energético del edificio y el tiempo de hora diurna, se puede hacer el dimensionamiento.

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Consumo energético diario}}{(\text{horas diurna por día})(\text{Potencia del panel})}$$

2.5.2.2. Potencia de salida del panel en condiciones óptimas

La segunda manera para determinar la potencia de salida del panel fue tomada del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) en el cual se toman los valores del panel en **condiciones de clasificación estándar conocidas (SRC)**, es decir, toma los valores del panel en condiciones óptimas de trabajo, donde el panel produce constantemente la potencia determinada por su ficha técnica sin influir la radiación del lugar ni la temperatura.

De igual manera que en la anterior, para poder realizar el dimensionamiento, es necesario conocer diversas características, éstas se muestran a continuación.

2.5.2.2.1. Valores

- **Espacio**
Conocer el área disponible para sustituir o incorporar elementos fotovoltaicos, ya sea en fachadas, techados, ventanas, etc. Ya que los módulos fotovoltaicos, tal y como se encuentran en el mercado, pueden llegar a condicionar el diseño y en algunos casos la estructura de la edificación.
- **Tipo de recubrimiento**
Es necesario determinar el tipo de recubrimiento con base al espacio requerido, para conocer la potencia, eficiencia y las dimensiones de los módulos y determinar si son los indicados para cumplirlos.
- **Ángulo de inclinación del panel fotovoltaico**
La información puede ser obtenida del capítulo 2 sección 2.2.3.5.
- **Tiempo de hora diurna**
Este dato puede obtenerse de la siguiente página <https://ccee.mx/>

2.5.2.2.2. Número de paneles

Conocido el consumo energético del edificio y el tiempo de hora diurna, se puede obtener el dimensionamiento. Para este cálculo son necesario los datos de la ficha técnica de cada panel, tomando en cuenta que el panel genera dichos datos.

$$\text{Número de paneles} = \frac{\text{Consumo energético diario}}{(\text{horas diurna por día})(\text{Potencia del panel})}$$

Capítulo 3. ANÁLISIS DE INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA

En este capítulo se muestra el análisis realizado para la obtención de la metodología para viviendas bioclimáticas con integración de sistemas fotovoltaicos, además de dos propuestas para integración del SFV en viviendas.

3.1. PROPUESTAS DE INTEGRACIÓN FOTOVOLTAICA A EDIFICACIONES

Como se muestra en el capítulo 2 existen diversas opciones para integrar los módulos solares en los edificios, ya sean en techumbres, fachadas, tragaluces, persianas, muro de cortina, superficies inclinadas, etc. Una vez analizada la información del marco teórico se proponen las siguientes formas de integrarlos al espacio arquitectónico.

3.1.1. SFV INTEGRADO COMO DECORACIÓN DE JARDINES O TERRAZAS

Esta propuesta logra una mayor integración al edificio siendo parte del concepto de diseño. Ver figura 40.



Figura 40 Uso de un sistema Fotovoltaica con fin decorativo. Figura editada tomada de la web.

3.1.2. SFV ADAPTADO A TECHADO CON VENTILACIÓN

Otra posibilidad es un sistema adaptado al techado de la construcción con objetivos varios. Ver figura 41.

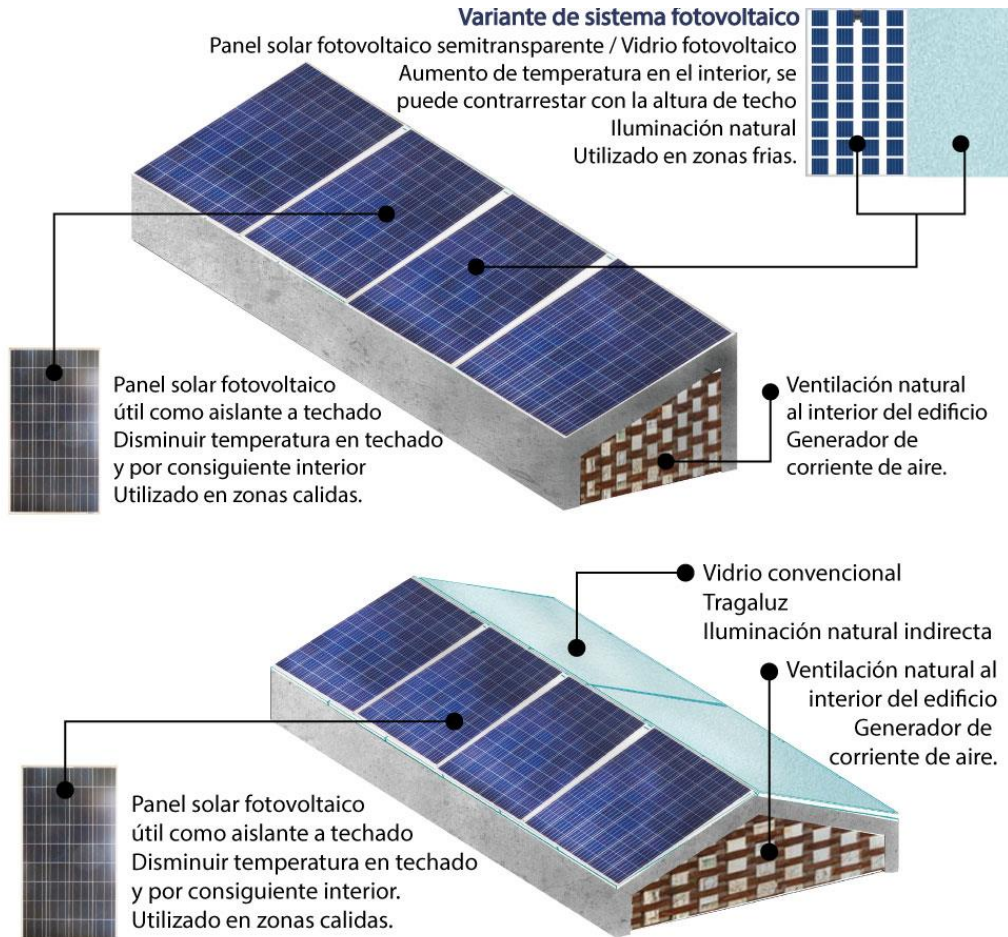


Figura 41 Uso de sistema Fotovoltaico con ventilación, aislamiento o iluminación. Fuente propia

3.2. CONDICIONES DEL PANEL PARA DIMENSIONAMIENTO FOTOVOLTAICO

Para determinar el arreglo del SFV se realizó un análisis considerando el panel con sus características en condiciones óptimas y con la influencia de temperatura y radiación, para poder observar las variantes de eficiencia con respecto a la potencia de salida de acuerdo a la demanda energética.

Se tomó como base un panel policristalino de vidrio templado de 250 w (figura 42) con las siguientes características (figura 43).

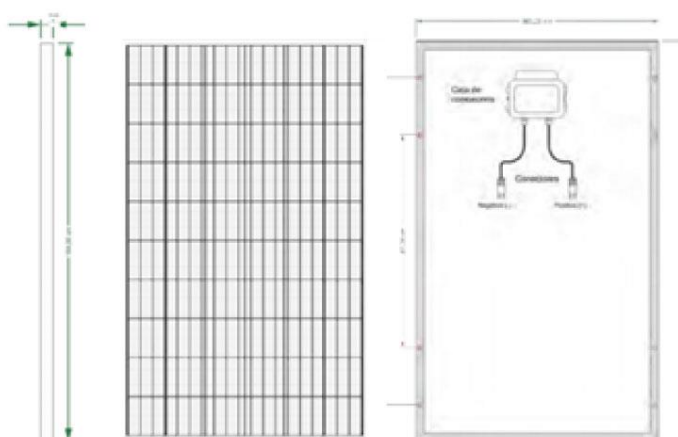


Figura 42 Representación gráfica del panel fotovoltaico. Fuente CORADIR S.A.

Propiedades Técnicas	
Potencia máxima nominal (Pmax)	250W
Voltaje a Pmax (Vmp)	30.65V
Corriente a Pmax (Imp)	8.17A
Voltaje a circuito abierto (Voc)	37.8V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	8.74A
Eficiencia de Celdas (%)	17,40%
Eficiencia del Módulo	15,30%
Temperatura de operación (Cº)	-40Cº~+85Cº
Voltaje máximo del sistema	DC 1000V(TUV) / DC600V(UL)
Fusible serie máximo	15A
Tolerancia a potencia máxima	±3 %
Coefficiente de Temperatura a Pmax	(-0.45±0.05)% / Cº
Coefficiente de Temperatura a Voc	(0.05±0.01) % / Cº
Coefficiente de Temperatura a Isc	(-0.35±0.05)% / Cº
NOTC	(47±2) / Cº

Test en condiciones estándar 1000W/m2. Temp. del módulo 25ºC, AM = 1,5

Figura 43 Ficha técnica del panel fotovoltaico de 250W. Fuente CORADIR S.A.

El dimensionamiento se realizó con los parámetros, analizados en el capítulo 5 y el consumo energético se propuso aleatoriamente:

• Análisis de consumo energético	12,920.5 Wh
• Localidad	Zaachila
• Temperatura ambiente promedio	20°C
• Radiación de haz directo	355.83 w/m ²
• Radiación de haz difuso	195.00 w/m ²
• Ángulo de inclinación	20
• Tiempo de hora diurna	5 horas
• Viento dominante 4.5 meses Abril-Sep.	E
• Viento dominante 7.5 meses Sep- Abril	N
• Precipitación	600 – 800 nm
• Latitud	16.95°
• Día de cálculo	21 de Junio
• Hora de cálculo	1:30 pm
• Área del panel	1.62m ² .

3.2.1. CÁLCULO TOMANDO EN CUENTA LA INFLUENCIA DE RADIACIÓN Y TEMPERATURA EN POTENCIA DE SALIDA DEL PANEL POLICRISTALINO DE VIDRIO TEMPLADO DE 250W.

Radiación solar absorbida

- Declinación

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} + (284 + 172) \right] = 23.28^\circ$$

Donde N= 151 + i = 151 + 21 = 172

- Ángulo horario de altitud solar

$$h = \pm 0.25 (90min) = 22.5$$

- Ángulo de incidencia solar θ

$$\cos(\theta) = \sin(16.95 - 20)\sin(23.28) + \cos(16.95 - 20) \cos(23.28) \cos(22.5)$$

$$\theta = 34.26^\circ$$

Dónde: L = 16.95°, $\beta = 20^\circ$, $Z_s = 0^\circ$

- Modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,B}$

$$\sin \theta_{r,B} = \frac{\sin(34.26)}{1.526}$$

$$\theta_{r,B} = 21.65^\circ$$

$$(\tau\alpha)_{\theta,B} = e^{-[4(0.0032/\cos(21.65))]} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2(21.65 - 34.26)}{\text{sen}^2(21.65 + 34.26)} + \frac{\text{tan}^2(21.65 - 34.26)}{\text{tan}^2(21.65 + 34.26)} \right] \right\}$$

$$(\tau\alpha)_{\theta,B} = 0.9407$$

Donde: $\theta_{r,B} = 21.65$, $\theta = 34.26$, $K = 4m^{-1}$ y $L = 3.2$ mm.

Radiación absorbida por la celda en condiciones normales de incidencia

$$(\tau\alpha)_n = e^{-4(0.0032)} \left[1 - \left(\frac{1.526 - 1}{1.526 + 1} \right)^2 \right]$$

$$(\tau\alpha)_n = 0.9444$$

Modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,B}$.

$$K_{\theta,B} = \frac{0.9407}{0.9444} = 0.996$$

- Modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,D}$

Radiación difusa en el cielo $\theta_{e,D}$.

$$\theta_{e,D} = 59.68 - 0.1388(20) + 0.001497(20)^2 = 57.502$$

Ángulo de refracción difusa $\theta_{r,D}$

$$\text{sen } \theta_{r,D} = \frac{\text{sen}(57.502)}{1.526}$$

$$\theta_{r,D} = 33.55$$

Radiación absorbida por la celda en el ángulo de incidencia $\theta_{e,D}$

$$(\tau\alpha)_{\theta,D} = e^{-[4(0.0032)/\cos(33.55)]} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2(33.55 - 57.50)}{\text{sen}^2(33.55 + 57.50)} + \frac{\text{tan}^2(33.55 - 57.50)}{\text{tan}^2(33.55 + 57.50)} \right] \right\}$$

$$(\tau\alpha)_{\theta,D} = 0.9036$$

Modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,D}$.

$$K_{\theta,D} = \frac{0.9036}{0.9444} = 0.9568$$

- Modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,G}$

Radiación reflejada en el suelo $\theta_{e,G}$

$$\theta_{e,G} = 90 - 0.5788(20) + 0.002693(20)^2 = 79.50$$

Ángulo de refracción

$$\text{sen } \theta_{r,G} = \frac{\text{sen}(79.50)}{1.526}$$

$$\theta_{r,G} = 40.12$$

Por último se calculó la radiación absorbida por la celda en el ángulo de incidencia $\theta_{e,G}$ en base a la ecuación 28.

$$(\tau\alpha)_{\theta,G} = e^{-[4(0.0032)/\cos(40.07)]} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2(40.12 - 79.50)}{\text{sen}^2(40.12 + 79.50)} + \frac{\text{tan}^2(40.12 - 79.50)}{\text{tan}^2(40.12 + 79.50)} \right] \right\}$$

$$(\tau\alpha)_{\theta,G} = 0.6144$$

Una vez obtenidos todos los valores anteriores con la ecuación 26.1 se obtuvo el modificador de ángulo de incidencia $K_{\theta,G}$.

$$K_{\theta,G} = \frac{0.6144}{0.9444} = 0.650$$

Ángulo cenital Φ

$$\text{Sen}(\alpha) = \cos(\Phi) = \text{sen}(16.94)\text{sen}(23.28) + \cos(16.94)\cos(23.28)\cos(22.5)$$

$$\Phi = 22.009$$

Masa de aire

$$m = \frac{1}{\cos(22.009) + 0.5050(96.08 - 22.009)^{-1.634}} = 1.0755$$

$$M = 0.918093 + 0.086257(1.0755) - 0.024459(1.0755)^2 + 0.002816(1.0755)^3 - 0.000126(1.0755)^4 = 0.9859$$

$$R_B = \frac{\cos(34.26)}{\cos(22.009)} = 0.891$$

Radiación solar absorbida

$$S = 0.9444(0.9859) \left\{ (355.83)(0.891)(0.996) + (195)(0.9568) \left[\frac{1+\cos(20)}{2} \right] + (551.83)(0.2)(0.650) \left[\frac{1-\cos(20)}{2} \right] \right\}$$

$$S = 464.508 \text{ w/m}^2$$

Temperatura de la celda

Para poder conocer la temperatura, se tomaron los valores del módulo fotovoltaico bajo condiciones NOCT, la radiación, temperatura ambiente y la eficiencia del módulo (proporcionado en su ficha técnica).

Nos ayudamos de la ecuación 32.

$$T_c = (47 - 20) \left[\frac{465.508}{800} \right] \left[1 - \frac{0.174}{0.9} \right] + 20 \quad T_c = 32.67^\circ\text{C} = 305.82^\circ\text{K}$$

Donde; $T_{a,NOCT} = 20^\circ\text{C}$, $T_{NOCT} = 47^\circ\text{C}$, $G_t = 465.508$, $G_{t,NOCT} = 800 \text{ w/m}^2$, $n_e = 17.40\%$, $\tau\alpha = 0.9$ y $T_a = 20^\circ\text{C}$.

Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Tensión del circuito abierto (V_{oc}), con la ecuación 1.

$$V_{oc} = \frac{(1.381 \times 10^{-23})(305.82)}{1.602 \times 10^{-19}} \ln \left[\frac{245}{1.7 \times 10^{-8}} \right] \quad V_{oc} = 0.617 \text{ V}$$

Donde; $k = 1.381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ N}$, $T_c = 32.67^\circ\text{C} = 305.82^\circ\text{K}$, $I_{sc} = 245 \text{ A/m}^2$, $I_o = 1.7 \times 10^{-8}$.

Seguido de la obtención del voltaje a la máxima potencia (V_{max}) con la ecuación 2.

$$\exp \left[\frac{(1.602 \times 10^{-19}) V_{max}}{(1.381 \times 10^{-23})(305.82)} \right] \left[1 + \frac{(1.602 \times 10^{-19}) V_{max}}{(1.381 \times 10^{-23})(305.82)} \right] = 1 + \frac{245}{1.7 \times 10^{-8}}$$

$$V_{max} = 0.522$$

Obtenido V_{max} se utilizó para calcular la corriente de carga máxima (I_{ax}), con ayuda de la ecuación 3.

$$I_{max} = \frac{(1.602 \times 10^{-19})(0.522)}{(1.381 \times 10^{-23})(305.82) + (1.602 \times 10^{-19})(0.522)} (245 + 1.7 \times 10^{-8})$$

$$I_{max} = 233.22 \text{ A}$$

Una vez obtenidos V_{max} e I_{max} se calculó la potencia máxima (P_{max}), en base a la ecuación 4.

$$P_{max} = (233.22)(0.522)$$

$$P_{max} = 121.74$$

Obtenidos los datos anteriores se determinó la potencia del panel con ayuda de la potencia de cada celda.

Primero, para determinar la corriente de carga máxima para la celda, se multiplicó el I_{max} obtenido anteriormente por el área de la celda (A).

$$I_{max_{celda}} = (233.22)(0.024336)$$

$$I_{max_{celda}} = 5.69$$

Para la potencia por celda se utilizó la ecuación 4 sustituyendo $I_{max_{celda}}$

$$P = (5.69)(0.522) = 3.1$$

Para conocer la potencia que produce el panel se multiplican las celdas de dicho panel fotovoltaico a utilizar.

Ya que el panel a utilizar está constituido de 60 celdas, por lo tanto 60 celdas X 3.1 potencia por celda =186V

Para obtener el número de paneles del mismo tipo a utilizar que satisfagan el requerimiento energético se dividió la energía a satisfacer entre el factor del tiempo de hora diurna por la potencia del panel. Una vez obtenido el dato, se redondeó y se dio un aproximado

$$\text{Número de paneles} = \frac{12,920.5}{(5)(186)} = 13.89$$

Como se observa, la influencia de la temperatura y radiación arrojaron una potencia del panel igual a 186 v, dato que varía con respecto a la ficha técnica del producto, con una variación del 25% de potencia.

3.2.2. CÁLCULO TOMANDO LOS VALORES DEL PANEL EN CONDICIONES ÓPTIMAS PARA EL PANEL POLICRISTALINO DE VIDRIO TEMPLADO DE 250 W

Sabiendo el consumo energético del edificio y el tiempo de horas diurnas, se pudo obtener el dimensionamiento. Para este cálculo se utilizaron datos de la ficha técnica de cada panel.

$$\text{Número de paneles} = \frac{12,920.5}{(5hr)(250)} = 10.33$$

$$\text{Número de paneles} = 10.33$$

3.2.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DIMENSIONAMIENTO

Una vez realizado el dimensionamiento se obtuvo como resultado una variante de 4 paneles entre los cálculos. El dimensionamiento donde la potencia del panel fue considerada en condiciones óptimas, proyecta un dimensionamiento de 10 paneles y donde la potencia de salida del panel tuvo la influencia de la radiación y la temperatura proyecta un valor de 14 paneles para solventar un consumo energético de 12,920Wh. Como se muestra en la tabla 9.

CALCULO	PANEL	DIMENSIONAMIENTO	ÁREA m2
Influencia de temperatura y radiación	Policristalino de vidrio semitransparente de 250 w	14 paneles	22.68
Panel en condiciones óptimas	Policristalino de vidrio templado de 250 w	10 paneles	16.2

Tabla 9 Dimensionamiento y área con el panel fotovoltaico tomado en diferentes condiciones. Fuente propia.

Obteniendo como resultado que efectivamente la potencia de salida del panel influye con radiación y con la temperatura del mismo y por consiguiente en su eficiencia. Es decir, el cálculo del SFV donde el panel está expuesto a la influencia de temperatura y radiación es más exacto que donde se toman valores en óptimas condiciones, ya que la radiación y la temperatura varían para diferentes localidades influyendo positiva o negativamente en la potencia de salida. Para este caso de estudio en que se usa un sistema interconectado a la red se optó por tomar los datos del panel en condiciones óptimas, ya que no es necesario un cálculo tan preciso por las siguientes razones:

1. La red eléctrica trabaja como almacenamiento infinito, es decir, si en algún momento el SFV no solventa toda la energía, no existirá problema de desabasto, de ser así, esta será obtenida de la red eléctrica.
2. Para realizar el análisis de consumo energético diario que necesita ser solventado por el SFV, se consideran todos los aparatos eléctricos a utilizarse durante el día.
3. Para el día de cálculo, se toma como base el día en que existirá un mayor gasto energético por el uso de electrodomésticos extras, por ejemplo, ventiladores o calefactores.
4. Se tomaron 5 horas de luz diurna para el dimensionamiento.

De esta manera se concluye que la potencia de salida del panel, tomando en cuenta la influencia de radiación y temperatura, puede ser preferentemente utilizado para dimensionar sistemas autónomos, donde se necesita de un cálculo más riguroso por el uso de baterías para almacenamiento. Por otro lado, la toma de potencia de salida del panel en condiciones óptimas puede ser utilizada para sistemas interconectados a la red, como se considera en este trabajo de tesis.

3.3. ANÁLISIS DE INTEGRACIÓN DEL SFV Y SISTEMAS PASIVOS CON LA METODOLOGÍA ARQUITECTÓNICA

3.3.1. REQUERIMIENTOS METODOLÓGICOS

Se realizó un análisis para determinar los requerimientos para el diseño de una vivienda bioclimática y para realizar un dimensionamiento fotovoltaico que pueda estar integrado estéticamente a una edificación.

3.3.1.1. Metodología arquitectónica

Para determinar la metodología arquitectónica, se tomó como base la metodología de Yan Beltrán y la metodología del Diseño Arquitectónico del Instituto Tecnológico de Pachuca, donde se obtuvieron las fases en las que se componía, y la definición que cada uno les aportaba a cada una de las fases, esto se expone en la siguiente tabla.

METODOLOGÍA ARQUITECTÓNICA					
D. A. I.T.P.	Diagnóstico	Análisis	Síntesis	Desarrollo	Evaluación
	Recabar información	Qué y cómo hacerlo	Proyecto a grandes rasgos	Afinando el proyecto para construirse	Aprendiendo de lo hecho
Yan Beltrán	Diagnóstico	Análisis	Síntesis	Desarrollo	
	Recolección de datos	Estudio de investigación de los datos para distinguirlos	Traducción del lenguaje abstracto al visual	Creación final del proyecto	

Tabla 10 Análisis de metodología arquitectónica a utilizar. Fuente propia.

Como se observa en la tabla 10 se obtuvo, que las dos metodologías llegaban a los mismos objetivos en cada una de sus partes, además compartían cuatro de las cinco fases que son; diagnóstico, análisis, síntesis y desarrollo, con la excepción que la metodología de Yan Beltrán no toma en cuenta la fase de evaluación, propia de la metodología del Instituto Tecnológico de Pachuca. Con base al análisis anterior se determinó que se tomarán las cuatro fases que comparten las dos metodologías,

además, la quinta fase (evaluación) será utilizada únicamente para determinar si existe un ahorro de energía en la edificación en base a la metodología propuesta.

Una vez determinada la estructura de la metodología en general, se analizó cada una de las fases de las metodologías y se realizó la primera estructuración de contenido.

- **DIAGNÓSTICO**
 - Características intrínsecas
 - Definición
 - Programa arquitectónico básico
 - Programa de actividades
 - Localización
 - Características extrínsecas
 - Subsistema construido
 - Subsistema natural
- **ANÁLISIS**
 - Diseño del programa arquitectónico
 - Programa arquitectónico definitivo
 - Estructuración jerárquica del sistema arquitectónico
 - Diagrama de interrelación
 - Diagrama de funcionamiento
 - Generación del espacio arquitectónico
 - Estudio de áreas
 - Resumen de áreas resultantes
 - Zonificación
- **SÍNTESIS**
 - Concepto arquitectónico
 - Componentes estéticos
 - Componentes del diseño
 - Jerarquía de espacios
 - Principios ordenadores
 - Partido arquitectónico
 - Anteproyecto
- **DESARROLLO**
 - Concreción del proyecto
 - Evaluación de impactos
 - Proyecto arquitectónico
- **EVALUACIÓN**

Para la estructuración, se tomaron los pasos que compartían las dos metodologías arquitectónicas en cada una de sus fases y aquellas que concordaban con el objetivo de servir como apoyo para la elaboración del diseño arquitectónico de una

vivienda, por esa razón que solamente se tomó hasta la realización del proyecto arquitectónico y algunas partes del proyecto ejecutivo que sirven de apoyo para llevar a cabo el proceso.

3.3.1.2. Factores bioclimáticos

Se obtuvo una lista de los requerimientos más significativos para lograr una casa bioclimática, donde arrojó la realización de un análisis de ventilación natural, aislamiento, vegetación y la forma y orientación del edificio.

- **Ventilación Natural**
 1. Áreas de apertura mínima del 10% del área del piso.
 2. Análisis de vientos dentro el edificio
 - i. Velocidad del aire por aperturas
 - ii. Comportamiento del flujo de aire con aperturas de entrada y salida
 - iii. Uso de bardas, setas o ventanas para alteración de la ventilación
- **Aislamiento (Pared y techado)**
 1. Material de construcción
 - i. Recubrimientos
 - ii. Grosor de material
 - iii. Propiedades termofísicas de los materiales
 - iv. Verificación de cumplimiento de la norma NOM-020
- **Vegetación**
 1. Endémica
 - i. Enredaderas
 - ii. Árboles o arbustos
- **Forma y Orientación**
 1. Dependiendo de la zona y temperatura
 2. Altura

3.3.1.3. Factores de Integración del SFV al edificio

De igual forma se generó una lista de los factores que influyen al integrar un sistema fotovoltaico a una edificación:

- **Análisis de posicionamiento del SFV en el edificio**
 1. Mayor radiación
 2. Orientación SUR
 3. Ángulo de inclinación
 4. Sin existencia de sombras
 5. Estética la integración

6. Valor agregado por aislamiento, ventilación o aislamiento

3.3.1.4. Factores para un dimensionamiento de un SFV

Por último se obtuvo un listado de los requerimientos para dimensionar un sistema fotovoltaico:

- **Dimensionamiento**
 1. Tiempo de hora diurna
 2. Angulo de inclinación
 3. Espacio
 4. Consumo energético
 5. Contrato de CFE

3.3.2. INTEGRACIÓN DE FACTORES A FASE ARQUITECTÓNICA

Una vez obtenida la estructura principal de la metodología arquitectónica a utilizar y con la ayuda de los factores anteriores, se realizó la primera integración, donde se separaron los requerimientos bioclimáticos y fotovoltaicos y se integraron en cada una de las fases de la metodología arquitectónica, obteniendo el siguiente:

- **DIAGNÓSTICO**
 - FACTORES BIOCLIMÁTICOS
 - i. Carta solar estereográfica
 - ii. Vientos dominantes
 - iii. Temperatura
 - iv. Altitud
 - v. Orografía
 - vi. Proximidad de vegetación
 - vii. Aislamiento
 1. Materiales para pared
 2. Materiales para techo
 3. Vegetación
 - a. Enredaderas
 - b. Árboles especialmente hoja caduca
 - FACTORES FOTOVOLTAICOS
 - i. Tiempo de hora diurna
 - ii. Recubrimiento
 1. Paneles en el mercado
 2. Ángulo de inclinación
 - iii. Tiempo de uso de electricidad
 - iv. Análisis de consumo energético
- **ANÁLISIS**

- FACTORES BIOCLIMÁTICOS
- FACTORES FOTOVOLTAICOS
- **SÍNTESIS**
 - BIOCLIMÁTICO
 - i. Proyecto a grandes rasgos con la influencia de
 - 1. Vientos dominantes
 - 2. Asoleamientos
 - 3. Forma
 - 4. Orientación
 - ii. Propuesta de aislamiento
 - 1. Material de construcción
 - 2. Vegetación
 - 3. Fachadas
 - 4. Muros
 - FOTOVOLTAICO
 - i. Determinar posibles paneles a utilizar
 - ii. Proponer diferentes posicionamientos a lo largo de la edificación propuesta con base a
 - 1. Mayor radiación
 - 2. Ángulo de inclinación
 - 3. Sombras
 - 4. Estético
 - 5. Funcional
 - a. Valor agregado por aislamiento, ventilación o iluminación
 - iii. Dimensionamiento
 - 1. Análisis de consumo energético
 - 2. CFE
 - iv. Determinar posicionamiento
- **DESARROLLO**
 - FACTORES BIOCLIMÁTICOS
 - i. Evaluación
 - 1. Vientos
 - 2. Asoleamiento
 - 3. Iluminación
 - 4. Aislamiento
 - 5. Orientación y forma
 - ii. Exposición del análisis obtenido para el diseño expuesto
 - 1. Ventilación
 - a. Áreas de apertura 10% del área del piso
 - b. Análisis de vientos
 - Velocidad del aire por aperturas

- Aperturas de entrada y salida
 - Alteración con setas o ventanas
 - 2. Orientación y Forma
 - 3. Aislamiento
 - a. Norma NOM-020
 - 4. Vegetación
- FACTORES FOTOVOLTAICOS
 - i. Exposición del análisis obtenido para el diseño expuesto
 - 1. Asoleamiento fotovoltaico
 - 2. Ventajas de posicionamiento
- **EVALUACIÓN**
 - FACTORES BIOCLIMÁTICOS
 - i. Disminución de consumo energético por medio de
 - 1. Iluminación
 - a. Disminución de tiempo de uso de focos
 - 2. Ventilación y Aislante
 - a. Disminución de aparatos de enfriamiento o calefacción
 - FACTORES FOTOVOLTAICOS
 - i. Plano eléctrico
 - ii. Cuadro de cargas
 - iii. Re-análisis de consumo energético
 - 1. CFE
 - 2. Influencia del sistema pasivo
 - iv. Porcentaje de disminución
 - v. Porcentaje de energía solventada por el SFV

Para determinar en qué etapas serían integrados cada uno de los factores, se tomó en cuenta los fines y objetivos de cada una de las etapas de la metodología arquitectónica, y en base a éso se separaron cada uno de los factores.

Una vez realizado el análisis anterior se pasó a la unión y fusión de requerimientos fotovoltaicos y bioclimáticos con la metodología arquitectónica, donde como resultado se generó una propuesta metodológica para el diseño de edificaciones bioclimáticas en la que se pueda apreciar una buena integración de paneles fotovoltaicos a la edificación, dicha metodología se muestra en el siguiente capítulo.

Capítulo IV. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE VIVIENDA BIOCLIMÁTICA CON INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

En la metodología que se expone a continuación se subrayan las etapas propias de la metodología arquitectónica que son compartidas para otras etapas y las etapas que se encuentran en un rectángulo de color son los requerimientos que fueron integrados, tanto para el dimensionamiento, el diseño bioclimático o de integración fotovoltaica que no son propios de la metodología arquitectónica.

Diagnóstico

● Características intrínsecas

- Definición
- Programa Arquitectónico básico
- **Análisis de consumo energético preliminar**
- Recursos económicos
- Localización

Elementos fijos en el espacio
Orientación
Área específica
Pendiente
Vistas
Proximidad a vegetación

● Características extrínsecas

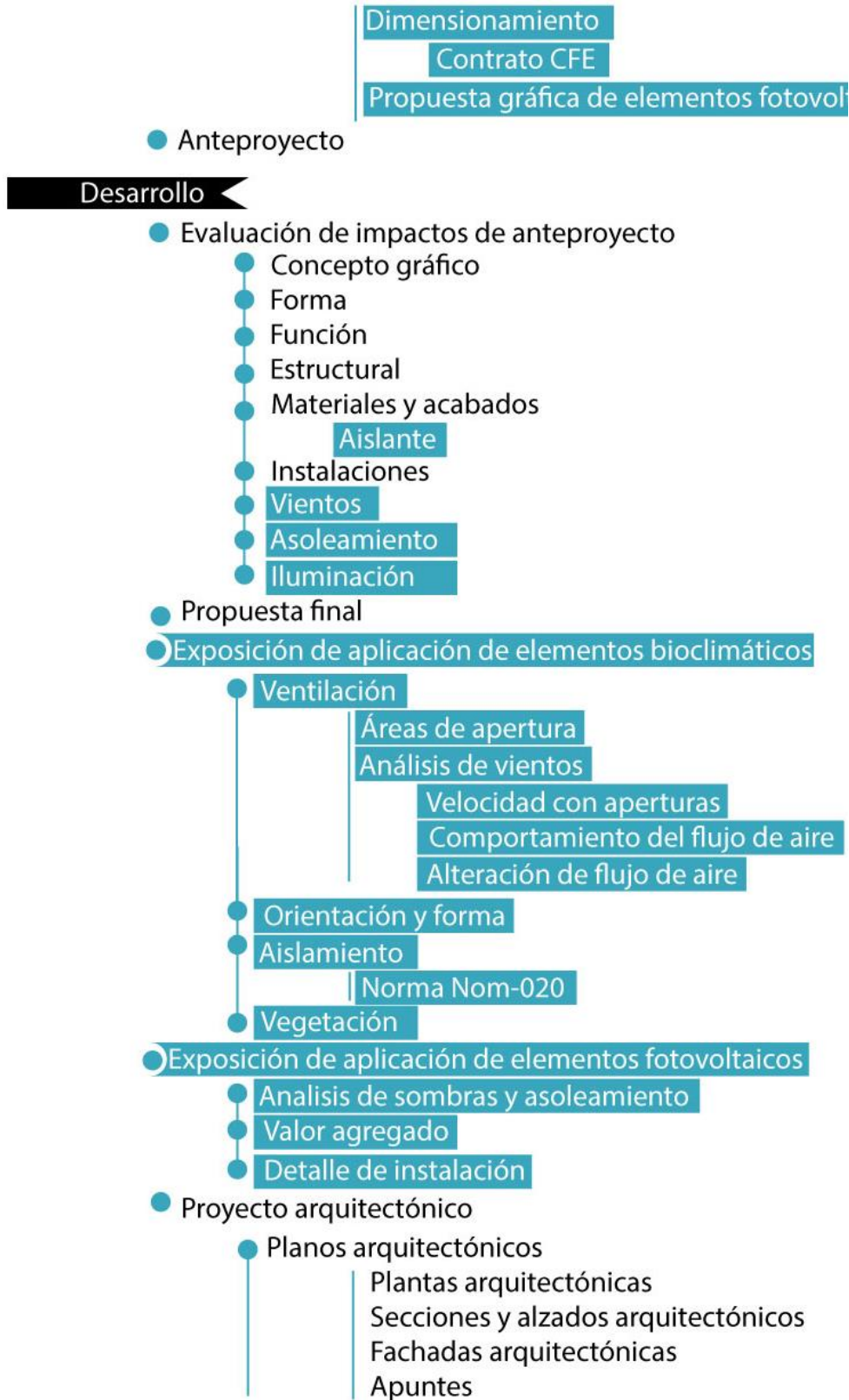
- Subsistema construido
 - Estilo Arquitectónico
 - Servicios públicos
 - Sistema Fotovoltaico**
 - Paneles del mercado**
 - Ángulo óptimo de inclinación**
- Subsistema natural
 - Clima
 - Asoleamientos
 - Carta solar estereográficas
 - Tiempo de hora diurna**
 - Precipitación pluvial
 - Suelo
 - Temperatura
 - Maxima, minima, promedio
 - Vientos dominantes
 - Velocidad promedio
 - Ruta de llegada

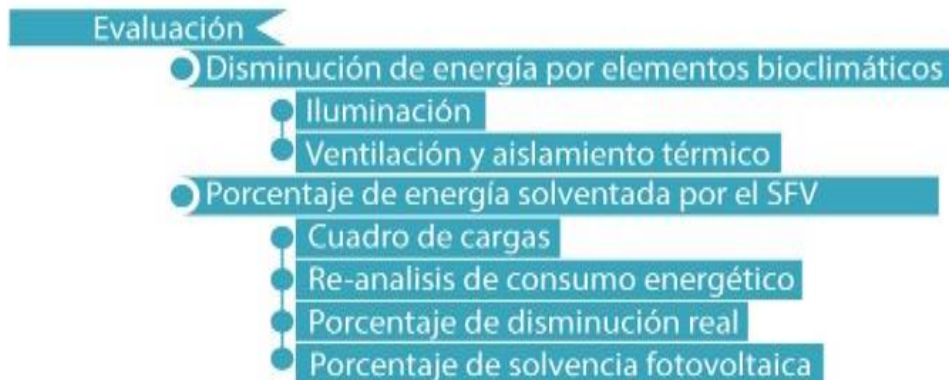
Análisis

- Programa arquitectónico definitivo
- Estructuración jerárquica
 - Diagrama de interrelación
 - Diagrama de funcionamiento
- Generación del espacio arquitectónico
 - Estudio de áreas
 - Equipo y mobiliario
 - Operatividad del espacio
 - Dimensionamiento gráfico
 - Resumen de áreas resultantes
 - Zonificación

Síntesis

- Concepto arquitectónico
 - Componentes estéticos
 - Componentes del diseño
 - Posibles elementos arquitectónicos
 - Posibles componentes fotovoltaicos
 - Principios ordenadores
 - Ejes compositivos
 - Cuadrícula
 - Posicionamiento sur fotovoltaico
 - Organización y significado de formas
- Partido arquitectónico
 - Jerarquía de espacios arquitectónicos
 - Orientación
 - Asoleamientos
 - Vientos dominantes
 - Aislamiento térmico
 - Pendiente
 - Circulaciones peatonales y vehiculares
 - Análisis de integración fotovoltaica
 - Propuesta gráfica de integración
 - Radiación
 - Ángulo de inclinación
 - Sombra
 - Valor agregado
 - Estético





4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

A continuación, se realiza una descripción general de la metodología propuesta con el fin de agilizar el entendimiento y apreciación de ésta para su correcta elaboración.

- **Diagnóstico** (Recolección de datos y comprensión de éstos).
 - **Características intrínsecas** (Características propias del usuario)
 - **Definición** (Planteamiento del problema, a dónde se quiere llegar y de qué forma).
 - **Programa Arquitectónico básico** (Necesidades y espacios solicitados).
 - **Recursos económicos** (Cantidad monetaria con que se cuenta para la producción del proyecto).
 - **Localización** (Ubicación y características del predio en cuanto a orientación, área específica, pendiente, proximidad a vegetación y elementos fijos en el espacio).
 - **Características extrínsecas** (Aspectos naturales, del medio construido, etc. con respecto al problema planteado).

- **Subsistema construido** (Lo que ya ha sido creado /construido por el hombre).
 - **Estilo arquitectónico** (Corriente, estilo, tendencia o vanguardia prefijada por el cliente donde se analizarán elementos similares construidos, obteniendo un desglose de formas, materiales predominantes, aislantes térmicos, etc.).
 - **Servicios públicos** (Luz eléctrica, agua, gas, drenaje, etc.).
 - **Sistema fotovoltaico** (Investigación de Elementos fotovoltaicos existentes en el mercado y del ángulo de inclinación óptimo para mayor ganancia de radiación).
- **Subsistema Natural** (Elementos del medio natural con relación a la problemática).
 - **Clima**
 - **Asoleamientos** (Posicionamiento del sol a lo largo del día, hora de salida y ocultación del sol, y tiempo de hora diurna diaria).
 - **Precipitación pluvial** (Lluvia, llovizna, nieve, etc.).
 - **Suelo** (Tipo de suelo dominante, relieve, etc.).
 - **Temperatura** (Máxima, mínima y promedio).
 - **Vientos dominantes** (Velocidad promedio y dirección de la ruta de llegada).
- **Análisis** (Análisis y entendimiento de la información recabada anteriormente)
 - **Programa arquitectónico definitivo** (Ampliado por investigación).
 - **Estructuración Jerárquica** (Para determinar la estructura).
 - **Diagrama de interrelación** (Diagrama de la relación que se tiene entre espacios o áreas, ya sea directa, indirecta o nula).
 - **Diagrama de funcionamiento** (Diagrama que ayuda a determinar la función e importancia de los espacios de la vivienda).
 - **Generación del espacio arquitectónico** (Primera propuesta general de distribución arquitectónica).
 - **Estudio de áreas** (Dimensiones gráficas del equipo y mobiliario a utilizar, además de los espacios y rutas para operatividad del espacio).
 - **Resumen de áreas** (sintetización de áreas obtenidas).
 - **Zonificación** (Ubicación de los espacios arquitectónicos, tomando en cuenta la información recabada hasta ahora).

- **Síntesis** (Traducción del lenguaje oral al escrito propio de la arquitectura).
 - **Concepto arquitectónico**
 - **Componentes estéticos** (Estilo, corriente o vanguardia obtenidos de la investigación).
 - **Componente de diseño** (Conjunto de posibles elementos arquitectónicos y fotovoltaicos a emplear que conformen el objeto arquitectónico, ya sea por facilidad de obtención, estilo, etc.).
 - **Principios ordenadores** (Elementos que ayudan a dar forma al edificio arquitectónico).
 - **Ejes compositivos** (Cuadrícula que servirá para organizar los elementos dentro del espacio, tomando en cuenta la información reabada hasta el momento para la distribución arquitectónica y la búsqueda del posicionamiento hacia el sur verdadero de los SFV).
 - **Organización y significado de formas** (Exponer las razones de la obtención de los ejes compositivos).
 - **Partido arquitectónico** (Esquema o posible idea a desarrollar).
 - **Jerarquía de espacios arquitectónicos** (Formación de la primera propuesta de anteproyecto, donde se posicionan los espacios con respecto a la orientación, asoleamientos, vientos dominantes, el aislamiento térmico a utilizar, la pendiente del predio, las circulaciones peatonales y vehiculares.
 - **Análisis de integración fotovoltaica** (Análisis para obtener el anteproyecto)
 - **Propuesta gráfica de integración** (Representación gráfica de colocación de los posibles sistemas fotovoltaicos a utilizar en el anteproyecto, resaltando ventajas y desventajas en cuanto a orientación, ángulo de inclinación, sombra, valor agregado y estética).
 - **Dimensionamiento** (Obtención de cantidad de elementos fotovoltaicos a utilizar, con respecto al análisis anterior para colocación y al contrato de CFE)
 - **Propuesta gráfica de elementos fotovoltaicos** (Representación del sistema fotovoltaico conectado con todos sus elementos para determinar el espacio a colocar en el plano arquitectónico.
 - **Anteproyecto**
- **Desarrollo** (Creación final del proyecto).

- **Evaluación de impactos de anteproyecto** (De acuerdo a los criterios de concepto, forma, función, estructura, materiales, acabados, aislantes térmicos, vientos, asoleamiento e iluminación).
- **Propuesta Final** (Propuesta de proyecto arquitectónico).
- **Exposición de aplicación de elementos bioclimáticos**
 - **Ventilación** (Exposición de la aplicación del uso de ventilación con respecto a los vientos para determinar la velocidad de apertura y el comportamiento del flujo de aire al interior para mayor ventilación y disminución de calor interno).
 - **Orientación y forma** (Exposición de aplicación de orientación y forma para menor ganancia de calor interna del edificio).
 - **Aislamiento** (Exposición de aplicación del uso de aislamiento siguiendo la norma NOM-020).
 - **Vegetación** (Exposición del uso de vegetación).
- **Exposición de aplicación de elementos fotovoltaicos**
 - **Análisis de sombras** (Análisis que muestra si el asoleamiento es el adecuado o si existe alguna sombra generada sobre el SFV).
 - **Valor agregado** (Exponer con qué valores cumple el SFV, además de la generación de electricidad, ya sea aislante, ventilación, etc.).
 - **Detalle de instalación** (Cómo se instalará y los elementos que se utilizarán para su colocación).
- **Proyecto arquitectónico** (Conjunto de planos, dibujos, esquemas y textos explicativos del proyecto).
 - **Planos arquitectónicos**
 - **Plantas arquitectónicas**
 - **Secciones y alzados arquitectónicos**
 - **Fachadas arquitectónicas**
 - **Apuntes**
 - **Realidad virtual** (Propuesta tridimensional).
 - **Apuntes perspectivas interiores y exteriores.**
 - **Plano ejecutivo**
 - **Planos eléctricos**
 - **Planos de cancelería**
 - **Instalación fotovoltaica**
- **Evaluación** (Determinar si existe una disminución de energía con respecto a elementos bioclimáticos y el porcentaje de energía solventada por el SFV).
 - **Disminución de energía por elementos bioclimáticos** (Análisis y determinación si hubo una disminución de energía por iluminación, ventilación y aislante térmico).

- **Porcentaje de energía solventada por el SFV** (Obtención del porcentaje de energía generada por el SFV real, con la ayuda de un re-análisis de consumo energético, tomando en cuenta el valor exacto de la potencia y el número de luminarias tomado del cuadro de cargas, para determinar el porcentaje de solvencia fotovoltaica).

La fusión e integración para obtener la anterior metodología se derivó del siguiente análisis; la etapa de diagnóstico en el proceso arquitectónico es utilizada para recolectar información, con el fin de ayudar a conocer y comprender el problema, se decidió integrar la investigación de los parámetros básicos para el dimensionamiento fotovoltaicos y elementos bioclimáticos, además, que en esta etapa se obtienen mediante la entrevista al usuario los requerimientos arquitectónicos, lo cual puede ayudar a recolectar la información del consumo energético del usuario.

En la etapa de análisis de la metodología arquitectónica se estudian los datos obtenidos en la etapa anterior con el fin de distinguirlos, separarlos y ordenarlos hasta llegar a conocer sus principios y/o elementos según condiciones fijadas previamente. En esta parte no se integra ningún paso externo a la metodología arquitectónica.

En la etapa denominada síntesis de la metodología arquitectónica, se traduce el lenguaje escrito al visual propio de la arquitectura, ya que esta etapa se centra exclusivamente para aportaciones gráficas, ya que en esta parte se comienzan a jerarquizar los espacios, es de esta forma que se añaden como determinantes para diseñar los sistemas pasivos, y de acuerdo a los componentes fotovoltaicos añadir propuestas gráficas de integración fotovoltaica para determinar una propuesta de aplicación a lo largo del edificio, para por último realizar el dimensionamiento una vez terminado el análisis anterior.

La fase del desarrollo, comprende la realización del anteproyecto desde la conceptualización hasta la creación y evaluación de propuestas, en esta etapa se integra la evaluación de impactos tanto fotovoltaicos como de los sistemas pasivos, esta etapa va dirigida especialmente para definir una idea tomando en cuenta los impactos pasivos y fotovoltaicos.

En la última fase de verificación, se realiza una evaluación para determinar el porcentaje de energía producida por los paneles y la disminución de consumo energético en base a los sistemas pasivos empleados.

Capítulo V. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE VIVIENDA BIOCLIMÁTICA CON INTEGRACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

De acuerdo a la metodología obtenida anteriormente se realizó un ejemplo de aplicación de utilización de la metodología planteada para complementar la evaluación, con el fin de exponer, analizar y verificar la factibilidad de la metodología de acuerdo a los resultados obtenidos. Para lo cual se consideró un usuario aleatorio con las siguientes características: contar con un predio para la realización del proyecto, tener un contrato de CFE y disposición para llevar a cabo el proceso para poder realizar una propuesta de diseño de vivienda bioclimática con integración de energía fotovoltaica.

5.1. FASE 1 DIAGNÓSTICO

Lo siguiente es para la creación de una propuesta de proyecto arquitectónico para la Villa de Zaachila con la integración de un sistema fotovoltaico creando un diseño estético, tomando en cuenta sistemas pasivos de ventilación, iluminación y aislante térmico para la disminución de calor interno y uso de iluminación artificial.

5.1.1. CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS

Estas características son las propias de usuario.

5.1.1.1. Usuario principal

- Madre soltera
32 años de edad
Trabajadora del Gobierno del Estado de Oaxaca.
Lic. En Lenguas internacionales
- Hijo
4 años de edad
Estudiante de jardín de niños.

Usuario secundario:

- Familiares con visitas semanales
Madre, padre, una hermana y un hermano, máximo dos visitas ocasionales.

5.1.1.2. Requerimientos del usuario:

Se llevó a cabo una entrevista con el usuario para determinar los requerimientos y necesidades de éste, en donde se obtuvo la siguiente información:

- 2 Habitaciones

- 1 Cocina
- 1 Comedor
- 1 Baño completo
- 1 Sala
- Espacio para automóvil que pueda fungir para otras actividades.
- Espacio para plantas al frente de la casa.
- Temperatura “fresca” en temporada de calor.
- Acceso al fondo de la casa sin necesidad de atravesar por el interior de ésta.
- Que el estilo de la casa cree una armonía con la Villa de Zaachila, pero sin mucho detalle, que sea más minimalista.
- El lugar para convivencias, almacenamiento y lavado que se encuentre separado de la vivienda.
- Asador para convivencias.

5.1.1.3. Análisis de consumo energético preliminar

Al mismo tiempo que se realizó la entrevista al usuario para determinar sus requerimientos y necesidades se obtuvo la tabla de tiempo de uso de electrodomésticos.

TIPO DE APARATO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PERIODO DE USO
TV Color (32-43pulg)	2	250 w al día	2 hrs a partir 9 pm
DVD	1	25 w 1 vez al mes	3hrs a partir de las 7pm
Estéreo musical	1	75 w 2 veces a la semana	4hrs a partir de las 11 am
Horno de Microondas	1	1200 w 2 veces al día	5 min a las 4pm y 8pm
Licuadaora	1	400 w 2 veces al día	1 min a las 9am y a las 3pm
Refrigerador(16 pies cúbicos)	1	290 w	10 hrs horas de funcionamiento del compresor
Lámpara de noche	2	9 w	9hrs a partir de las 10 pm hasta las 7 am
Secador de cabello	1	1600 w 1 vez al mes	5 min a las 2pm
Plancha de cabello	1	55 w 2 veces a la semana	10 min a las 7 am

Ventilador	2	125 w	10 hr a partir de las 9pm hasta las 7 am
Laptop	1	300 w	1hr al día a las 6pm
Cargador de celular	2	5 w	10hrs a partir de las 9pm hasta las 7am
Lavadora	1	400 w 3 días a la semana	2hr de 9am a 11am
Bomba de agua	1	400 w diarios	20 min a las 8pm
Plancha de vapor	1	1200 w 1 vez a la semana	2hr de las 6pm a 7pm
Esquimera	1	200 w 4 días a la semana	5 min a las 8am y 8pm
Modem	1	50 w	Todo el día y noche
Focos fluorescentes	17	25 W c/u	5hrs diaria y fin de semana 12hrs

Tabla 11 Listado de aparatos electrodomésticos usados por el usuario y tiempo de uso. Fuente propia.

La cantidad de focos se propusieron tomando en cuenta los requerimientos de espacios y la cantidad que utiliza actualmente el usuario, y la potencia de cada electrodoméstico se consideró de la tabla recomendada por CFE.

Una vez obtenido el tiempo de uso de energía se continuó con el análisis de la tabla 12, donde para determinar el total de consumo energético del usuario se realizó la suma de los factores de potencia del aparato por el tiempo de ejecución, para así poder determinar la energía por día, obteniendo un valor de 15,804.5 wh.

APARATO	CANTIDAD	POTENCIA (w)	TIEMPO DE EJECUCIÓN	ENERGÍA DÍA (Wh)	ENERGÍA SEMANAL
TV Color	1	360 w al día	4hrs	1,440 wh	10,080 wh
TV Color	2	250 w al día	2 hrs	1,000 wh	7,000 wh
DVD	1	25 w 1 al mes	3hrs	75 w	-----
Estéreo musical	1	75 w 2 veces a la semana	4hrs	300 wh	600 wh

Horno de Microondas	1	1200 w 2 veces al día	5 min	120 wh	840 wh
Licuadaora	1	400 w 2 veces al día	1 min	8 wh	56 wh
Refrigerador	1	290 w	10 hrs	2,900 wh	20,300 wh
Lámpara de noche	2	11 w	9 hrs	198 wh	1,386 wh
Secador de cabello	1	1600 w 1 vez al mes	5 min	80 wh	-----
Plancha de cabello	1	55 w 2 veces a la semana	10 min	5.5 wh	11 wh
Ventilador	1	125 w	10 hr	1,250 wh	8,750 wh
Laptop	1	300 w	1hr al día	300 wh	2,100 wh
Cargador de celular	1	5 w	10 hrs	50 wh	350 wh
Lavadora	1	400 w 3 días a la semana	2hr	800 wh	2,400 wh
Bomba	1	400 w diarios	20 min	80 wh	560 wh
Plancha de vapor	1	1200 w 1 vez a la semana	2hr	2,400 wh	2,400 wh
Esquimera	1	200 w 4 días a la semana	5 min	10 wh	40 wh
Modem	1	50 w	día y noche	1,200 wh	8,400 wh
Focos fluorescentes	13	25 W c/u	12 hrs diarias	3,588 wh	4,928 wh
TOTAL				15,804.5 wh	

Tabla 12 Tabla de listado de aparatos electrodomésticos para calcular el consumo energético.
Fuente propia.

5.1.1.4. Localización del predio

El predio se encuentra en la Villa de Zaachila, situada en las coordenadas de longitud $96^{\circ} 45' 7''$ Oeste, con una latitud de $16^{\circ} 95'$ Norte. Colindante con San Raymundo Jalpan y Cuilapam de Guerrero, a 30 min. de la ciudad de Oaxaca de Juárez, México. Específicamente en la calle 3 Cruces, Barrio del Niño, CP 71310 al norte del centro de la Villa de Zaachila (Fig. 44).

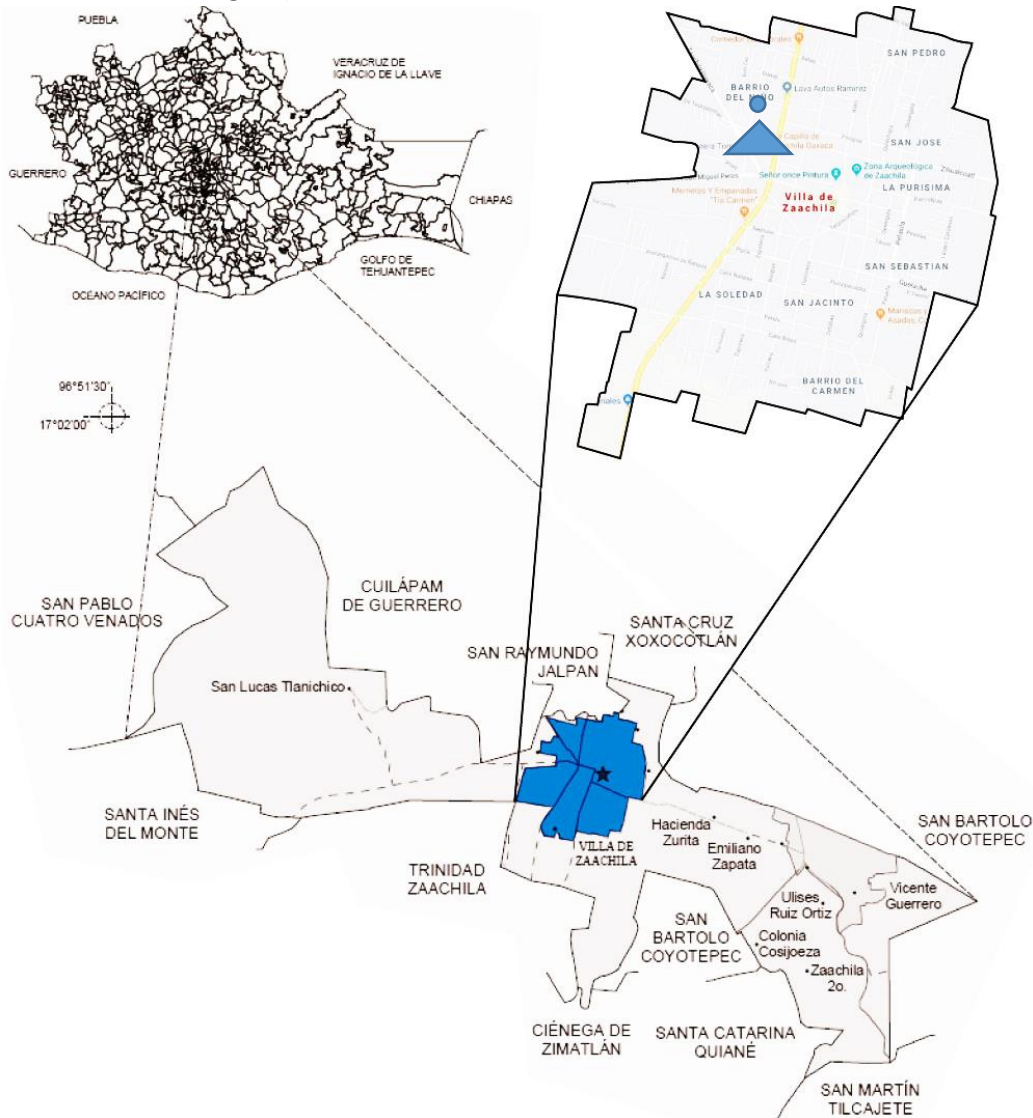


Figura 44 Localización del predio de estudio. Fuente propia con información del prontuario de la Villa de Zaachila y Google maps.

Es un predio llano con medidas de 10 X 35 m con un área total de 350 m^2 y tiene una inclinación del eje N-S de 13 grados. No existe ningún tipo de elemento fijo en el terreno y tiene poca aproximación a vegetación endémica con pocos árboles de hoja caduca lo que significa que no existe influencia de temperatura por vegetación cercana. Ver figura 45 y 46.



Figura 45 Vistas predio. Fuente propia.



Figura 46 Orientación del predio sin escala. Fuente Google maps 2006

5.1.2. CARACTERÍSTICAS EXTRÍNECAS

Las características extrínsecas son aspectos naturales, construidos y demás que se vinculan al problema planteado con base a la ubicación del predio.

5.1.2.1. Subsistema construido

Se refiere a todo aquello que haya sido creado por la mano del hombre, en este caso se utilizará para determinar el estilo arquitectónico predominante en la localidad de la Villa de Zaachila, y así poder obtener la información suficiente para generar la propuesta arquitectónica y de diseño.

5.1.2.1.1. Determinación del estilo arquitectónico

A continuación, se muestra un análisis realizado a los hitos representativos de la Villa de Zaachila, los cuales son: el mercado municipal, hogar zaachileño, iglesia principal, palacio municipal, quiosco y reloj, con la finalidad de determinar el estilo arquitectónico de la villa de Zaachila y así obtener los elementos arquitectónicos, materiales y acabados predominantes de la localidad. De la figura 47 a la 52.



Figura 45 Análisis de elementos arquitectónicos del mercado municipal de la Villa de Zaachila. Fuente propia.

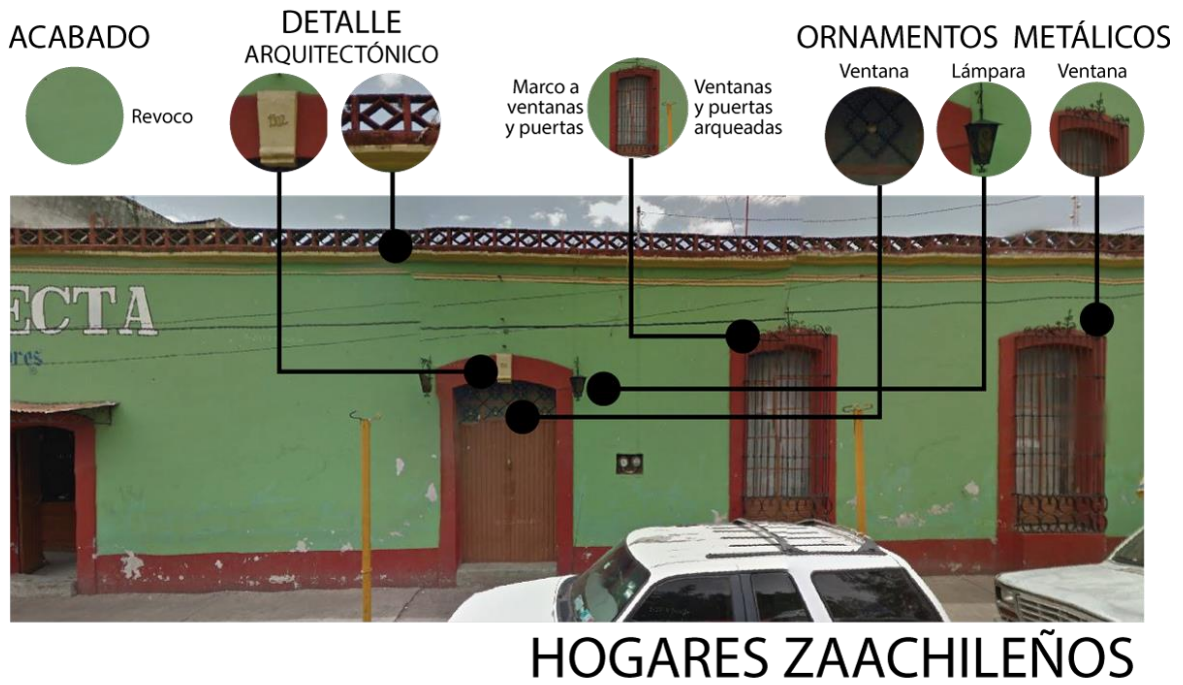


Figura 46 Análisis de elementos arquitectónicos de la casa propia de la Villa de Zaachila. Fuente propia.

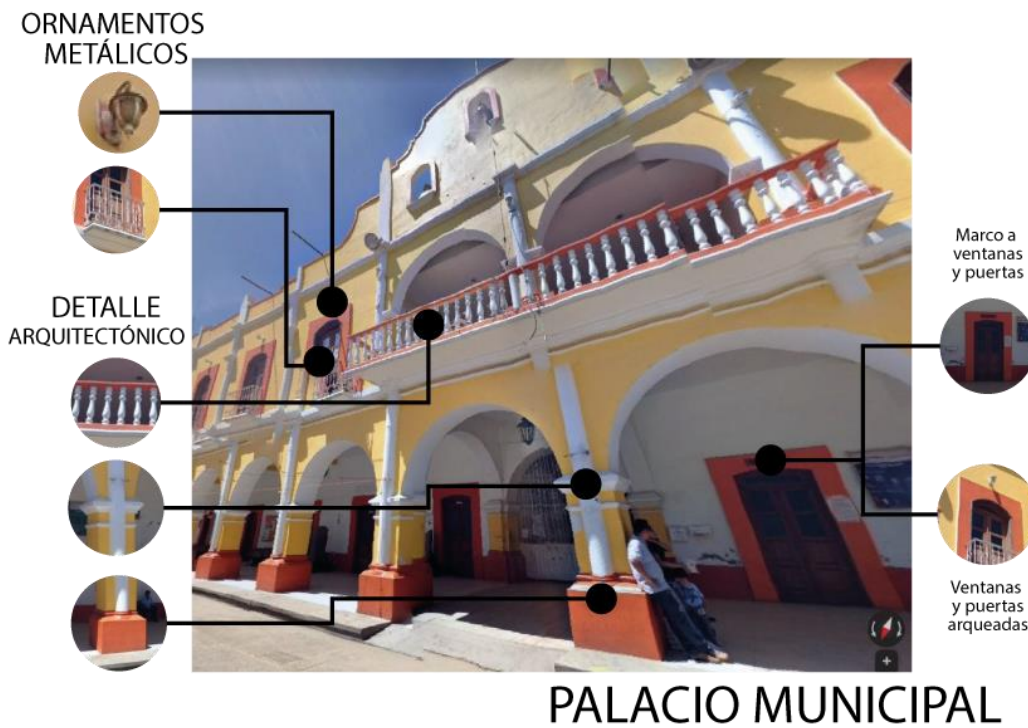


Figura 47 Análisis de elementos arquitectónicos del Palacio Municipal de la Villa de Zaachila. Fuente propia.

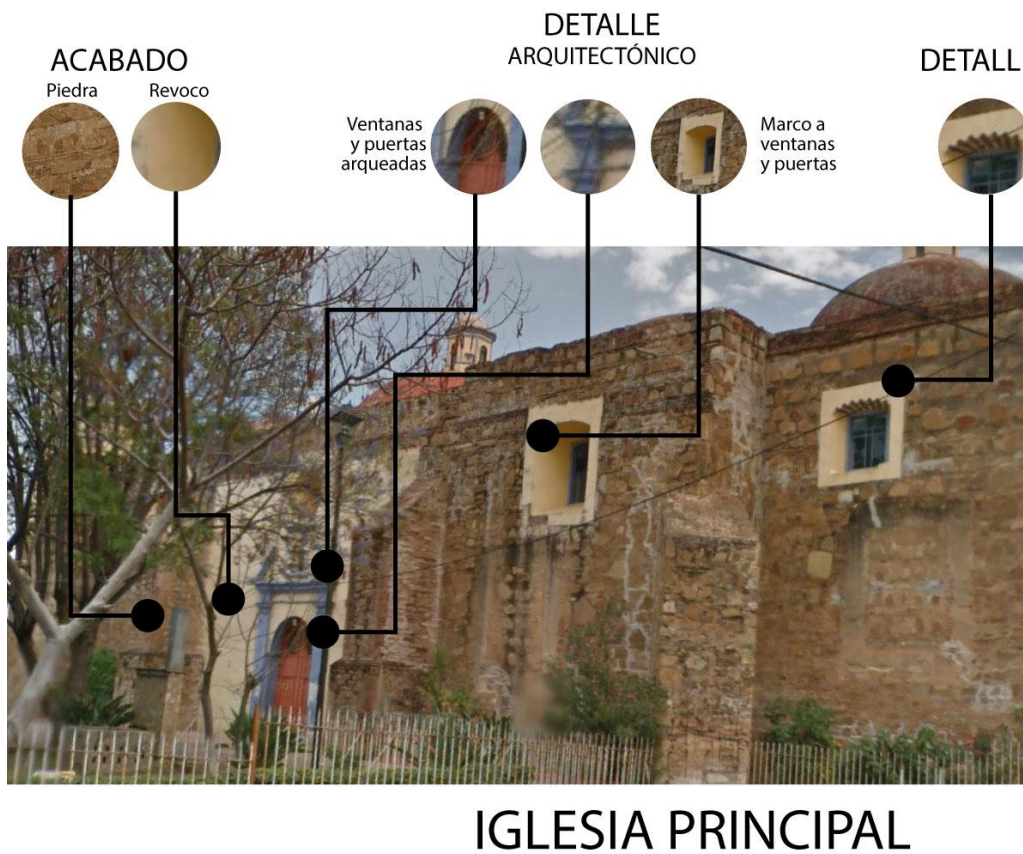


Figura 48 Análisis de elementos arquitectónicos de la iglesia principal de la Villa de Zaachila. Fuente propia.

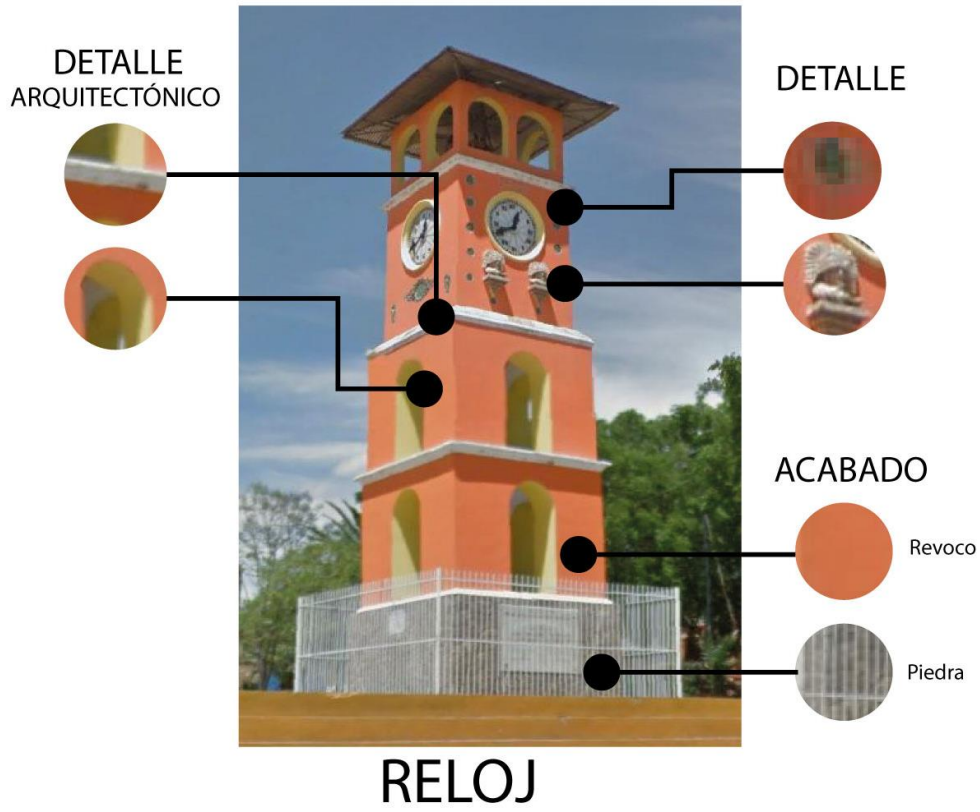


Figura 51 Análisis de elementos arquitectónicos del reloj de la Villa de Zaachila. Fuente propia.



Figura 52 Análisis de elementos arquitectónicos del quiosco de la Villa de Zaachila. Fuente propia.

Como resultado del análisis se obtuvo que predomina el estilo **neocolonial español**, por la influencia existente debido a la cercanía con la ciudad de Oaxaca (estilo colonial), pero con un menor uso de detalles y mayor utilización de líneas rectas (neo). A continuación, se enlistan los elementos predominantes encontrados:

1. Material de construcción o uso de recubrimiento rústico o liso predominante en fachadas.
2. Ornamentos ubicados principalmente en los detalles del edificio o accesorios como es pecho paloma.
3. Uso de líneas rectas para darle forma al edificio y uso de caballetes escalonados con remate en entradas.
4. Uso de marcos o dintel para puertas y ventanas.
5. Puertas y ventanas en su mayoría arqueadas.
6. Viviendas altas de un solo nivel
7. Techado realizado principalmente a medio pliego o tipo bóveda.
8. Materiales de construcción propios de la región, como la piedra, cantera, adobe (aislantes) y actualmente tabique.
9. Estructuras de gran tamaño especialmente pilares, ventanas y puertas altas.

5.1.2.2. Sistemas fotovoltaicos del mercado

Se realizó una revisión de los tipos de sistemas fotovoltaicos en el mercado, disponibles para la localidad. Ver figura 53.

Módulos Fotovoltaicos			150 Wp	155 Wp	160 Wp	165 Wp
A	Transparentes Sin marco a 36 células	P_{max}				
		η	9,29 %	9,60 %	9,91 %	10,21 %
		V_{oc}	22,58 V	22,99 V	23,41 V	23,82 V
		I_{sc}	8,83 A	8,91 A	8,99 A	9,06 A
		V_{mp}	18,32 V	18,68 V	19,05 V	19,44 V
		I_{mp}	8,25 A	8,34 A	8,43 A	8,52 A

Módulo Fotovoltaico Sin marco			230 Wp	235 Wp	240 Wp	245Wp	250Wp
B	Transparente a 54 células	P_{max}					
		η	14,24 %	14,55 %	14,86 %	15,17 %	15,47 %
		V_{oc}	33,98 V	34,38 V	34,81 V	25,22 V	25,64 V
		I_{sc}	8,86 A	8,93 A	8,99 A	9,06 A	9,12 A
		V_{mp}	27,79 V	28,19 V	28,61 V	29,02 V	29,43 V
		I_{mp}	8,33 A	8,41 A	8,47 A	8,54 A	8,61 A

Módulo Fotovoltaico			250 Wp	255 Wp	260 Wp	265 Wp	270 Wp	275 Wp	280 Wp
C	Transparente Sin Marco a 60 células	P_{max}							
		η	15,48 %	15,79 %	16,10 %	16,41 %	16,71 %	17,02 %	17,33 %
		V_{oc}	37,62 V	38,04 V	38,46 V	38,86 V	39,24 V	39,65 V	40,04 V
		I_{sc}	8,84 A	8,90 A	8,98 A	9,03 A	9,10 A	9,17 A	9,23 A
		V_{mp}	30,53 V	30,91 V	31,32 V	31,72 V	32,15 V	32,55 V	32,95 V
		I_{mp}	8,25 A	8,30 A	8,35 A	8,38 A	8,44 A	8,49 A	8,53 A

Módulo Fotovoltaico 36			150 Wp	155 Wp	160 Wp	165 Wp
D		P_{max}				
		η	14,59 %	15,07 %	15,56 %	16,04 %
		η	14,55 %	15,04 %	15,52 %	16,01 %
		V_{oc}	22,56 V	22,99 V	23,42 V	23,81 V
		I_{sc}	8,84 A	8,90 A	8,98 A	9,05 A
		V_{mp}	18,32 V	18,69 V	19,06 V	19,43 V
I_{mp}	8,24 A	8,33 A	8,42 A	8,51 A		

Módulo Fotovoltaico 60 Celdas	P_{max}	250 Wp	255 Wp	260 Wp	265 Wp	270 Wp	275 Wp	280 Wp
	η	15,27 %	15,58 %	15,89 %	16,19 %	16,50 %	16,80 %	17,11 %
	V_{oc}	37,62 V	38,04 V	38,46 V	38,86 V	39,24 V	39,65 V	40,04 V
	I_{sc}	8,84 A	8,90 A	8,98 A	9,03 A	9,10 A	9,17 A	9,23 A
	V_{mp}	30,53 V	30,91 V	31,32 V	31,72 V	32,15 V	32,55 V	32,95 V
	I_{mp}	8,25 A	8,30 A	8,35 A	8,38 A	8,44 A	8,49 A	8,53 A

E

Módulo Fotovoltaico 72 Celdas	P_{max}	300 Wp	305 Wp	310 Wp	315 Wp	320 Wp	325 Wp	330 Wp	335 Wp
	η	15,15 %	15,40 %	15,66 %	15,91 %	16,16 %	16,41 %	16,66 %	16,92 %
	V_{oc}	45,52 V	45,54 V	45,55 V	45,61 V	45,64 V	45,68 V	45,71 V	45,74 V
	I_{sc}	8,67 A	8,77 A	8,90 A	9,01 A	9,18 A	9,35 A	9,49 A	9,64 A
	V_{mp}	37,03 V	37,05 V	37,05 V	37,29 V	37,43 V	37,62 V	37,79 V	37,92 V
	I_{mp}	8,14 A	8,25 A	8,40 A	8,48 A	8,58 A	8,67 A	8,76 A	8,85 A

F

Figura 49 Sistemas fotovoltaicos más conocidos del mercado A) Transparentes de 36 celdas, B) Transparente de 54 celdas, C) Transparente de 60 celdas, D) templado de 36 celdas, E) Templado de 60 celdas y F) Templado de 72 celdas. Fuente VGS.

Para la obtención del ángulo de inclinación óptimo del panel fotovoltaico se tomó en cuenta el día de mayor consumo energético, se obtuvo un ángulo de 20 grados con las recomendaciones de la SEN, 24 grados con la app cceea y 16 grados con la latitud.

5.1.2.3. Subsistema natural

Son los elementos y recursos naturales que conforman el entorno donde se ubica el predio, específicamente la flora y fauna, el clima, temperatura, precipitación pluvial, vientos dominantes, insolación y relieve. A continuación, se describen:

5.1.2.3.1. Características climatológicas del sitio

A continuación, se anexan datos climatológicos del sitio donde se observa en la figura 54 que la localidad forma parte del clima seco, semiseco semicálido.

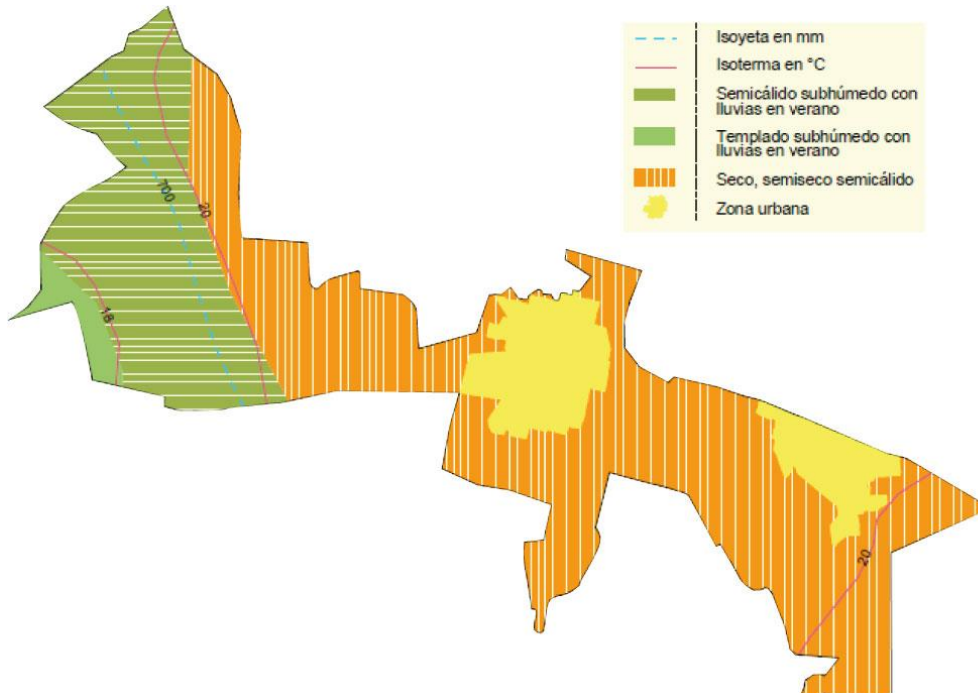


Figura 50 Datos climatológicos de la Villa de Zaachila, Oaxaca, México. Fuente prontuario de información Geográfica municipal de la Villa de Zaachila.

5.1.2.3.2. Asoleamientos

De acuerdo con los datos del día solar del 2019, la salida del sol más temprana es a las 6:18 hrs del 6 de abril, y la salida del sol más tardía es a las 7:22 hrs del 26 de octubre. La puesta del sol más temprana es a las 17:51 hrs del 23 de noviembre, y la puesta del sol más tardía es a las 20:04 hrs del 6 de julio. Teniendo en promedio un tiempo de horas diurnas que va de seis a cinco horas, dependiendo del mes en que se encuentre, ésto se puede observar en la figura 55.

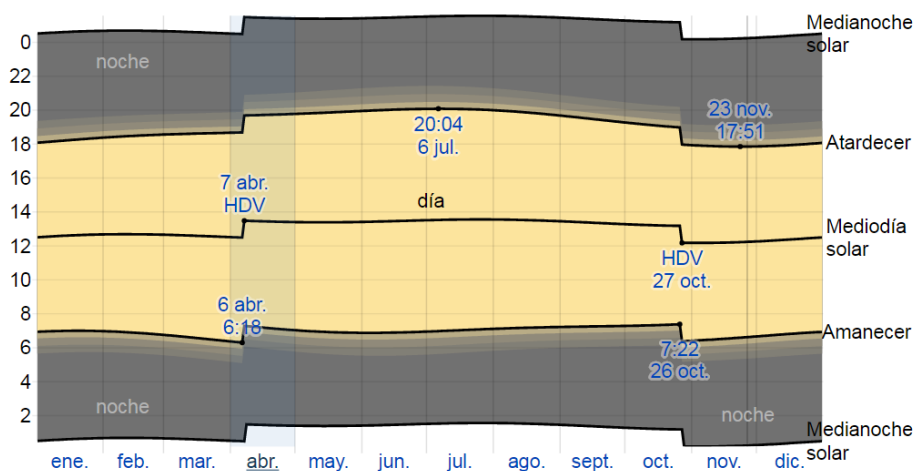


Figura 55 Día solar durante el año 2019. Fuente weatherspark.com

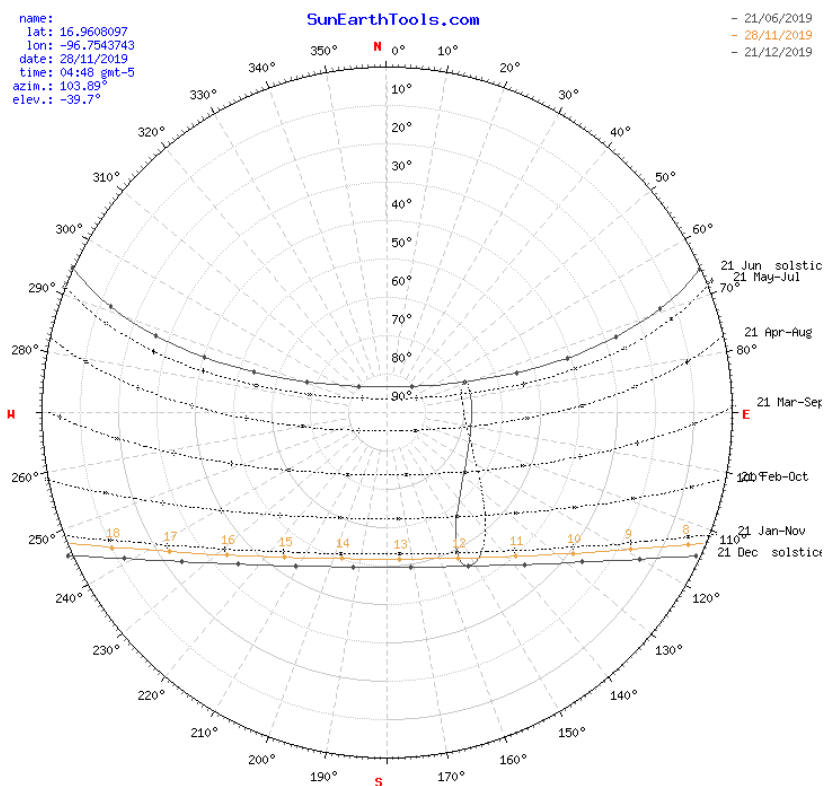


Figura 56 Carta Solar Estereográfica de la Villa de Zaachila. Fuente SunEarthTools.com

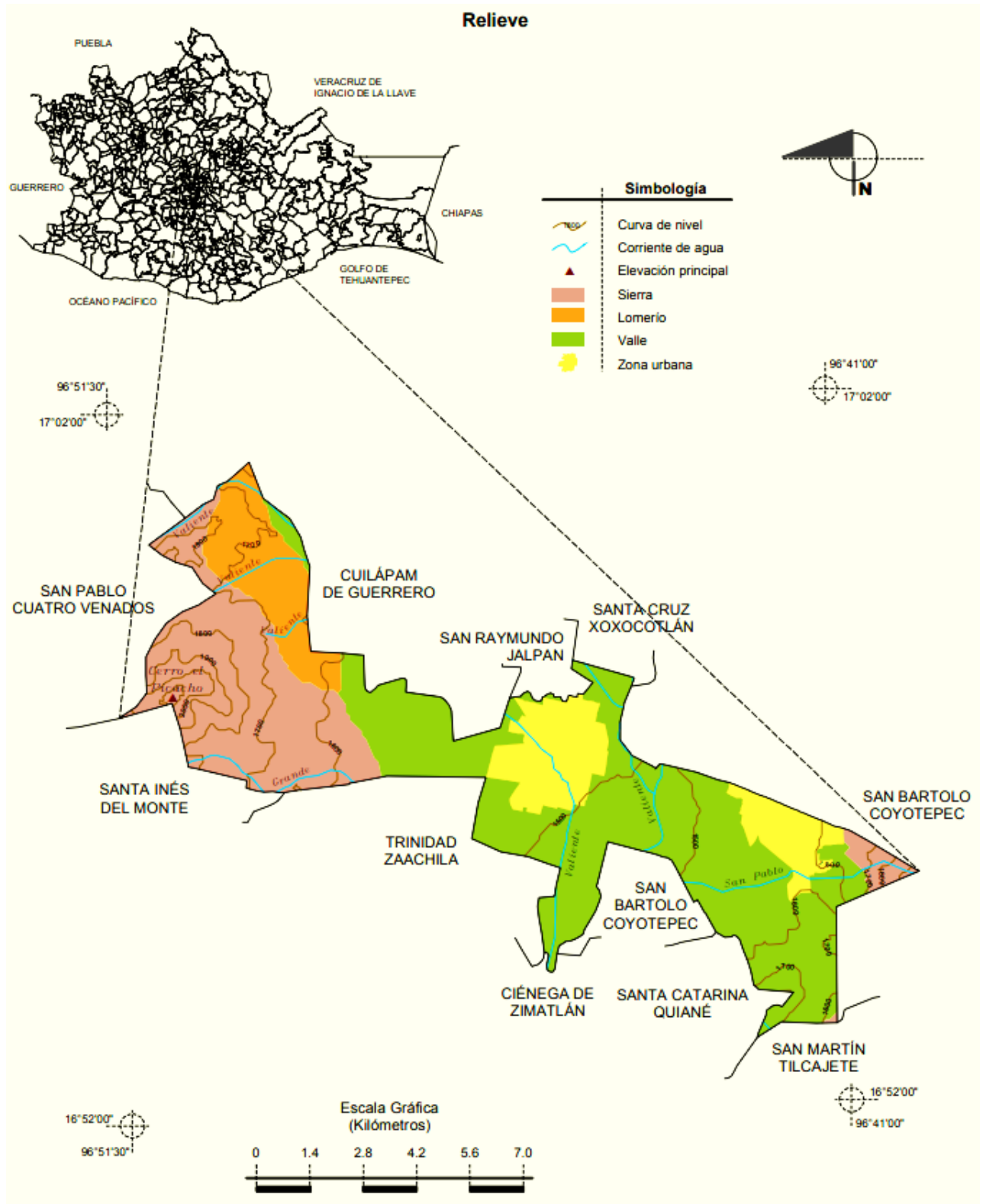


Figura 51 Villa de Zaachila y colindantes. Fuente prontuario de la villa de Zaachila.

Donde se observa que la Zona Urbana de Villa de Zaachila se encuentra en valles

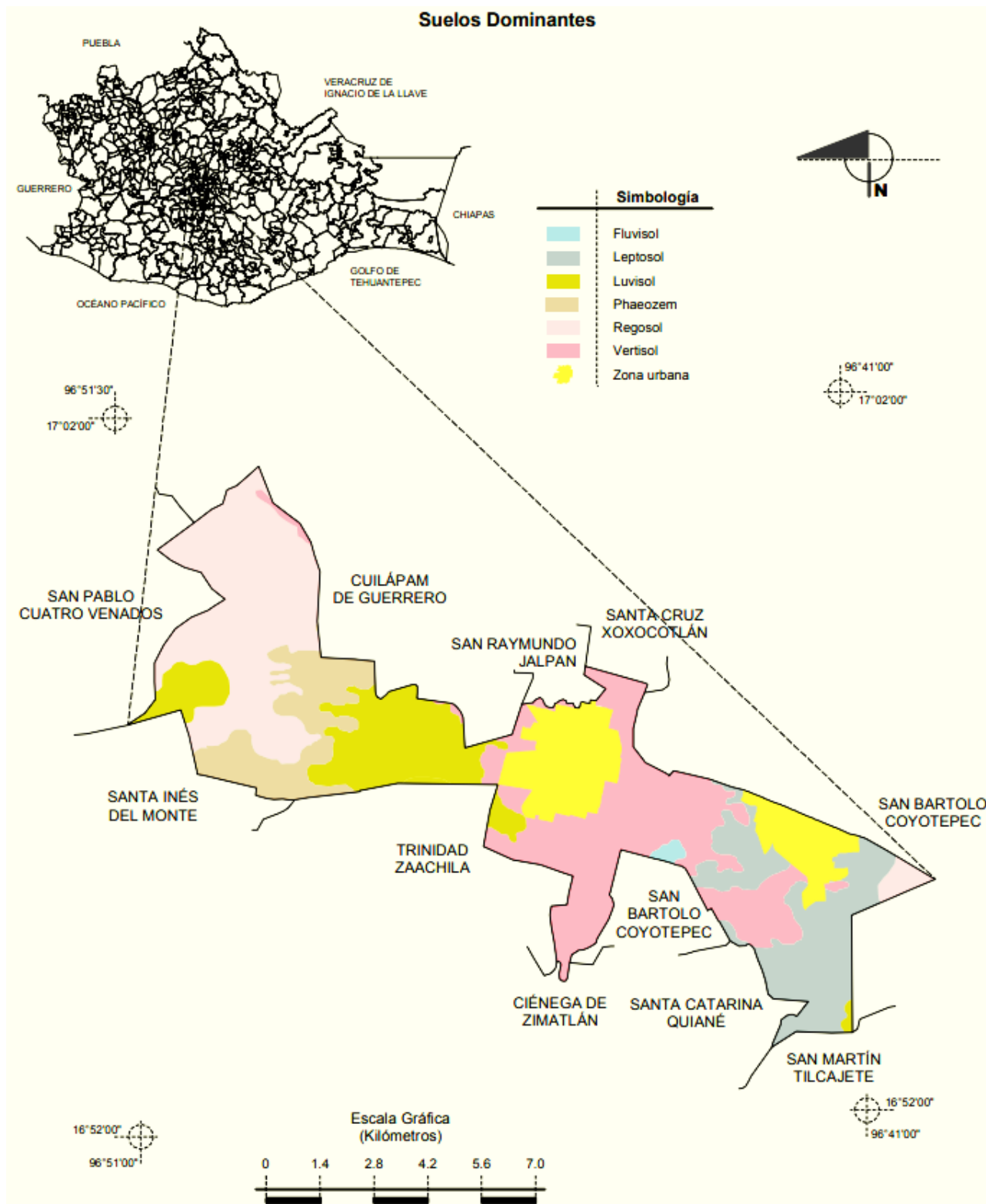


Figura 52 Relieves de la Villa de Zaachila y colindantes. Fuente prontuario de la villa de Zaachila.

Donde se observa que el tipo de suelos en la Zona Urbana de la Villa de Zaachila se encuentra en el área de vertisol.

5.1.2.3.3. Temperatura ambiente

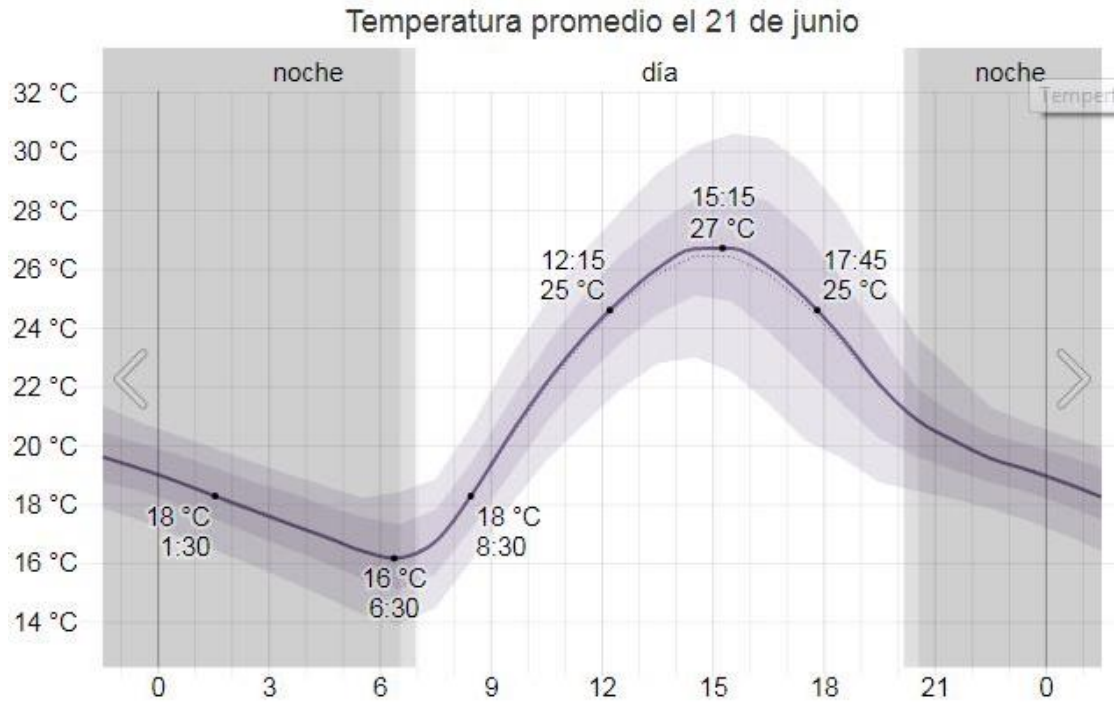


Figura 53 Temperatura promedio por hora (línea púrpura), con las bandas de los percentiles 25° a 75° y 10°. La línea delgada punteada es temperatura promedio por hora percibida. Fuente Weather spark.

De acuerdo a la figura 59, se estimó que el día 21 de junio la temperatura ambiente fue la de mayor valor, por lo que se considera como el día con mayor consumo de energía.

5.1.2.3.4. Vientos dominantes

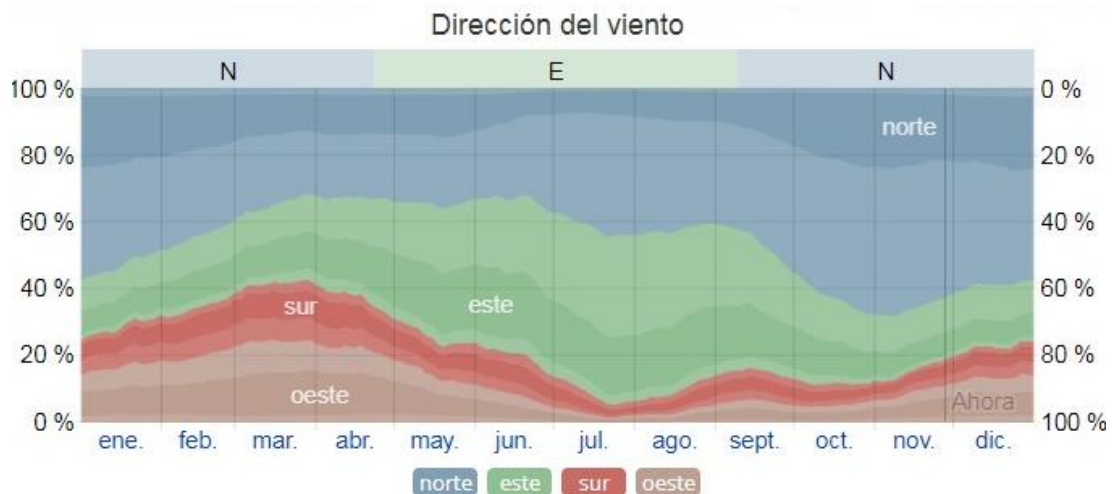


Figura 54 Vientos dominantes de la Villa de Zaachila a lo largo del año. Fuente Weather spark.

Los vientos dominantes se orientan al este en temporada de calor y hacia el norte en temporada de frío. Ver figura 60.

5.2. FASE 2 ANÁLISIS

5.2.1. PROGRAMA ARQUITECTÓNICO DEFINITIVO

- 2 Habitaciones
- 1 Cocina
- 1 Comedor
- 1 Baño completo
- ½ baño
- 1 Sala
- Dimensionamiento para dos personas.
- Espacio para automóvil que funja actividad de sala de exterior.
- Espacio para vegetación frente de la casa.
- Enfatizar el flujo de aire en los meses de calor.
- Pasillo externo sin salir del predio.
- Estilo Neocolonial español, predominando el minimalismo.
- El lugar para convivencias, almacenamiento y lavado separado de la vivienda.
- Posicionamiento geográfico para mayor aprovechamiento de radiación.
- Vegetación de bajo tamaño en fachada sur para disminuir la sombra que pueda generar.

5.2.2. ESTRUCTURACIÓN DEL CONCEPTO ARQUITECTÓNICO

A continuación se estructura el concepto arquitectónico con ayuda del diagrama de interrelación y de funcionamiento.

5.2.2.1. Diagrama de interrelación

Una vez determinado el programa arquitectónico ampliado por investigación se realizó un diagrama de interrelación piramidal (figura 61) para determinar la relación entre los espacios, mismo que se dividió en directa, indirecta y nula relación.

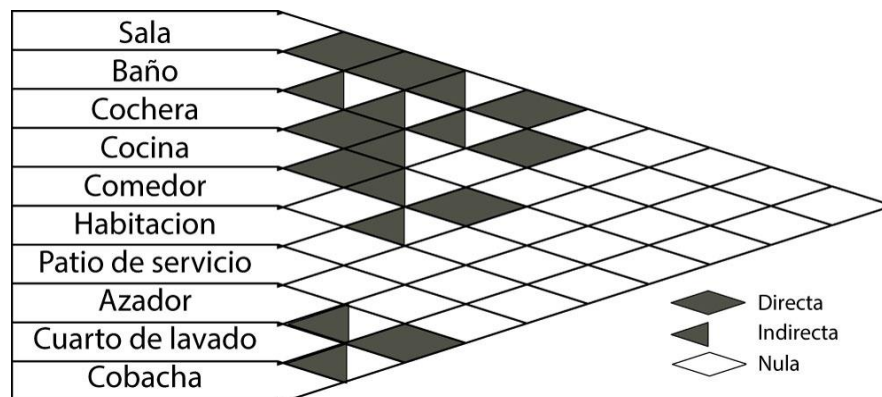


Figura 55 Diagrama de interrelación. Fuente propia.

5.2.2.2. Diagrama de funcionamiento

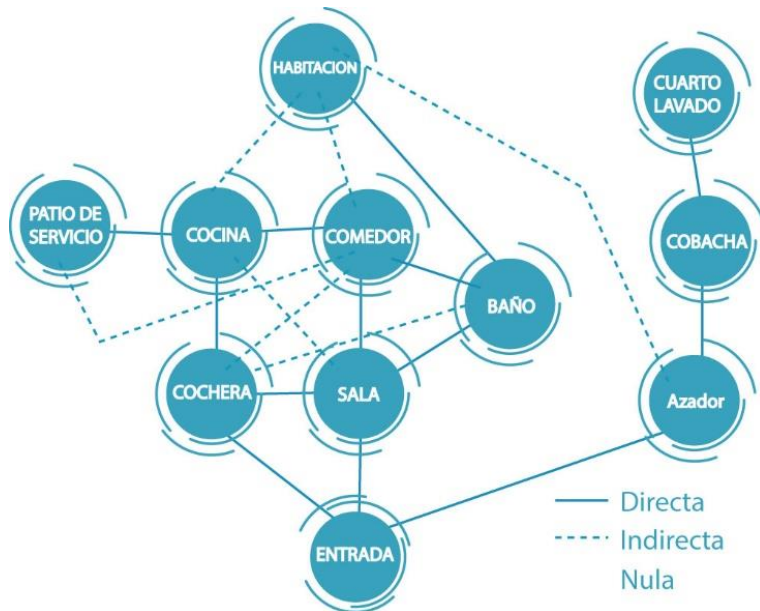


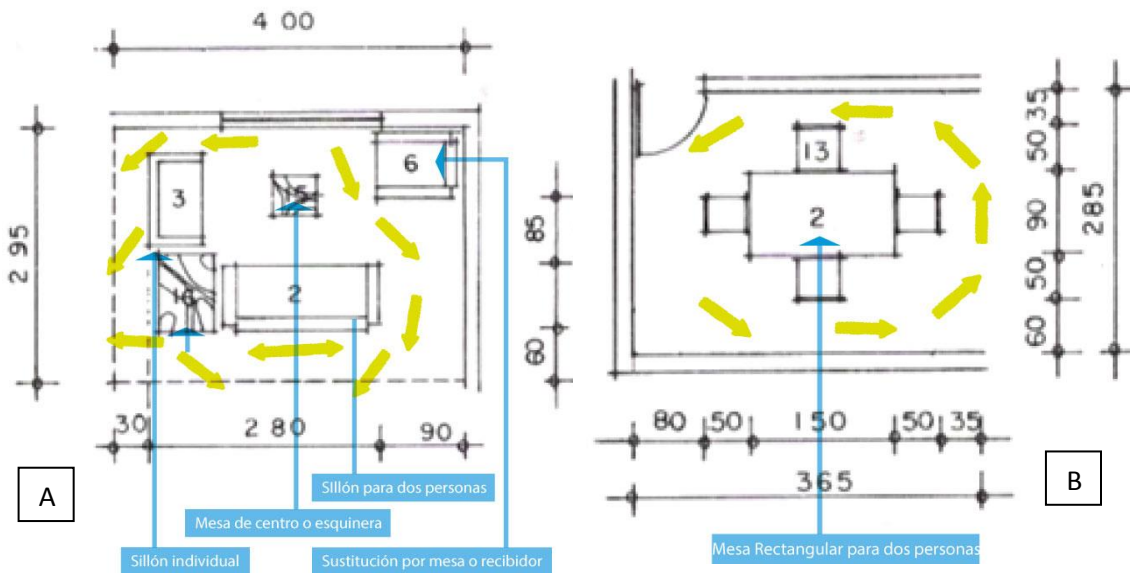
Figura 56 Diagrama de Áreas. Fuente propia.

5.2.3. GENERACIÓN DEL ESPACIO ARQUITECTÓNICO

En este apartado se obtuvieron las medidas base en cuanto a espacios arquitectónicos para la futura generación de propuestas.

5.2.3.1. Estudio de áreas

Para el estudio de áreas se utilizó como base el libro “Medidas de una casa” de Xavier Fonseca de las cuales se tomaron las medidas y se adecuaron a los requerimientos. Ver figura 63.



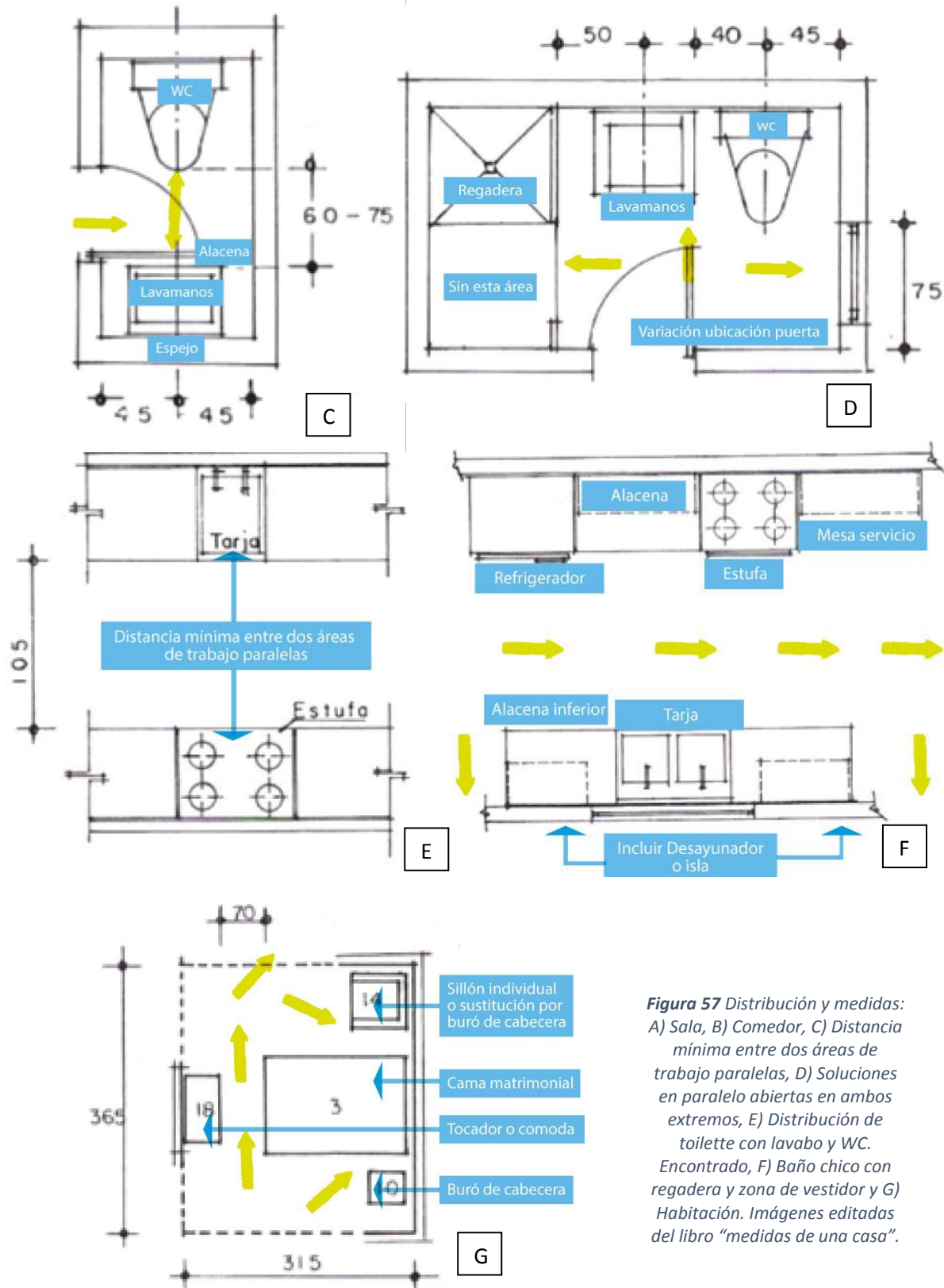


Figura 57 Distribución y medidas: A) Sala, B) Comedor, C) Distancia mínima entre dos áreas de trabajo paralelas, D) Soluciones en paralelo abiertas en ambos extremos, E) Distribución de toilette con lavabo y WC. Encontrado, F) Baño chico con regadera y zona de vestidor y G) Habitación. Imágenes editadas del libro "medidas de una casa".

5.2.3.2. Áreas resultantes de los espacios arquitectónicos

Del análisis realizado anteriormente se obtuvieron las siguientes áreas para cada uno de los espacios.

SALA 11.8 m²		
MUEBLES	DIMENSIÓN	ÁREA M2
Sillón individual	0.75 x 0.75	0.56
Sillón triple	0.75 x 1.80	1.35
Mesa de centro	0.50 x 0.50	0.25
Recibidor	0.4 x 1	0.4
	SUBTOTAL	2.56
CIRCULACIÓN		9.71

Tabla 13 Área resultante de la sala. Fuente propia

COCINA 9.48 m²		
MUEBLES	DIMENSIÓN	ÁREA M2
Refrigerador	0.75 x 0.70	0.525
Alacena	0.6 x 0.72	0.432
Estufa	0.65 x 0.72	0.468
Tarja	0.51 x 1.07	0.545
Mesa de servicio	0.6 x 0.46	0.276
Desayunador	2.72 x 0.4	1.08
	SUBTOTAL	3.538
CIRCULACIÓN		5.942

Tabla 14 Área resultante de cocina. Fuente propia.

COMEDOR 10.40 m²		
MUEBLES	DIMENSIÓN	ÁREA M2
Sillas	0.50 x 0.50	0.25
Mesa	0.9 x 1.50	1.35
	SUBTOTAL	1.6
CIRCULACIÓN		8.80

Tabla 15 Área resultante de comedor. Fuente propia.

RECÁMARA 11.49 m²		
MUEBLES	DIMENSIÓN	ÁREA M2
Buró	0.45 x 0.45	0.20
Cama matrimonial	1.90 x 1.35	2.57
Closet	2 x 0.6	1.2
	SUBTOTAL	3.97
CIRCULACIÓN		7.5275

Tabla 16 Área resultante de recamara. Fuente propia.

BAÑO 3.65 m²		
MUEBLES	DIMENSIÓN	ÁREA M2
WC	0.73 x 0.55	0.40
Lavabo	0.51 x 0.43	0.22
Regadera	1.35 x 0.9	1.21
	SUBTOTAL	1.83
CIRCULACIÓN		1.82

Tabla 17 Área resultante de Baño. Fuente propia

COCHERA 18.5 m ²		
MUEBLES	DIMENSIÓN	ÁREA M2
Automóvil	1.75 X 4.55	7.96
	SUBTOTAL	7.96
CIRCULACIÓN		10.54

Tabla 18 Área resultante de cochera. Fuente propia.

5.2.4. Zonificación

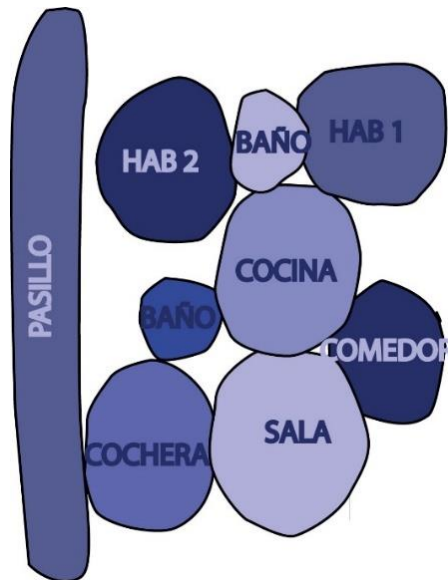


Figura 58 Zonificación obtenida. Fuente propia.

5.3. FASE 3 SINTESIS

5.3.1. CONCEPTO ARQUITECTÓNICO

El concepto arquitectónico se generó en base al análisis de hitos realizado anteriormente, en el que se determinaron los componentes estéticos a integrar en base al estilo arquitectónico seleccionado y los factores influyentes para comenzar la distribución arquitectónica.

5.3.1.1. Componentes estéticos

El estilo a proyectar es neo-colonial español, con influencia minimalista contemporánea. Ya que el estilo colonial se encuentra presente en la población y el usuario solicita un estilo que combine con la villa pero con pocos detalles, que se pretende disminuir el impacto de ornamentos y detalles con el minimalista contemporáneo.

5.3.1.2. Componentes de diseño

Conjunto de elementos fijos o móviles que conformarán el objeto arquitectónico.

ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS

A continuación, se enlistan los elementos arquitectónicos que contendría el edificio a diseñar:

1. Cornisa tipo fillet.
2. Friso de pared.
3. Marco para puerta.
4. Ventanas, puertas altas y vivienda alta de un nivel.
5. Tabique hueco como parte de aislamiento.
6. Lámparas y herrería tipo colonial con ornamentos minimalistas.
7. Techado a medio pliego con ladrillo o con vigas de madera.
8. Formas cuadradas y rectangulares para la edificación.
9. Techado a medio pliego para disminuir la ganancia de calor u hormigón armado, dependiendo del claro.
10. Pretil sobresaliente del techado.

COMPONENETES FOTOVOLTAICOS

A continuación, se muestran los elementos fotovoltaicos a utilizar, con sus respectivas características.

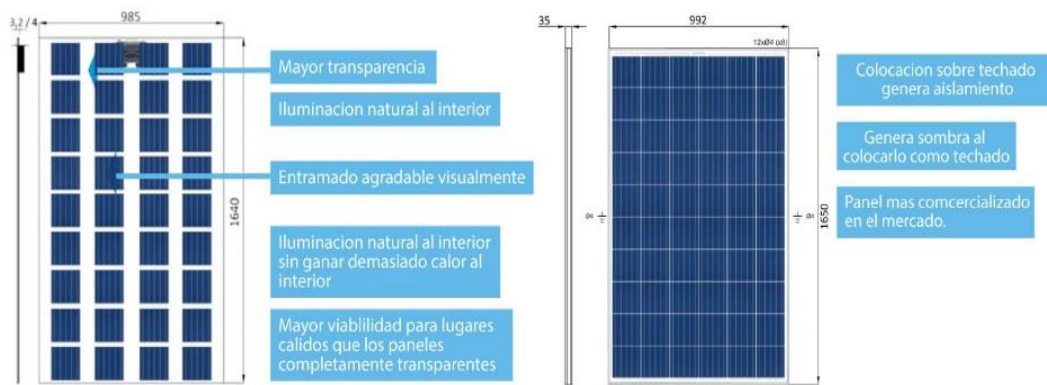


Figura 59 Directorio de posibles elementos fotovoltaicos a emplear. Figura editada fuente VGS.

5.3.1.3. Principios ordenadores

Se generaron dos retículas; la primera con líneas a 90 grados intersectadas perpendicularmente entre sí, con el fin de mantener visualmente la continuidad con respecto a la forma de edificio (Figura 66 A), y para la segunda retícula se tomó la primera y se inclinó 13 grados con respecto a la horizontal. Con ésto para favorecer la posición de la edificación con respecto al Sol (Figura 66 B).

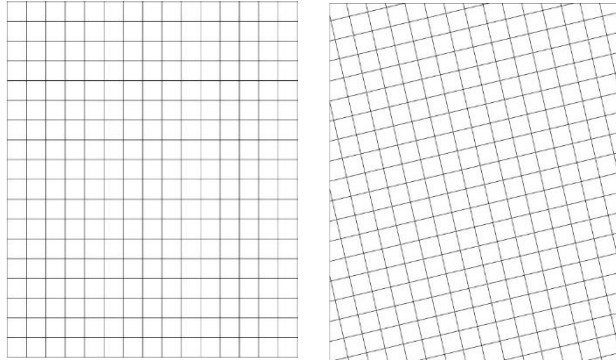


Figura 60 A) Retícula con líneas a 90 grados B) Retícula con líneas a 103 y 13 grados. Fuente propia.

5.3.2. PARTIDO ARQUITECTÓNICO

Se unieron las dos retículas para obtener la retícula final, en donde gracias al análisis preliminar se determinaron las áreas, y con la ayuda de los elementos bioclimáticos se realizó una jerarquización en cuanto a orientación, ventilación e iluminación, obteniendo la primera propuesta de distribución (Figura 67).

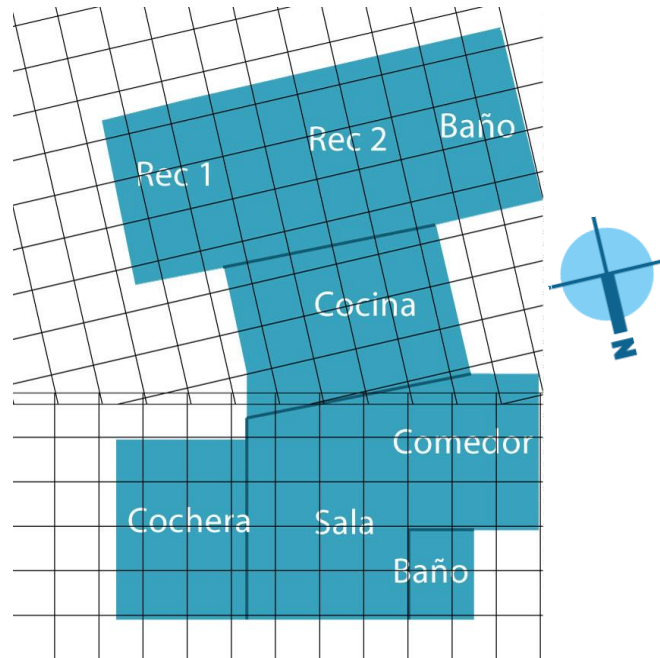
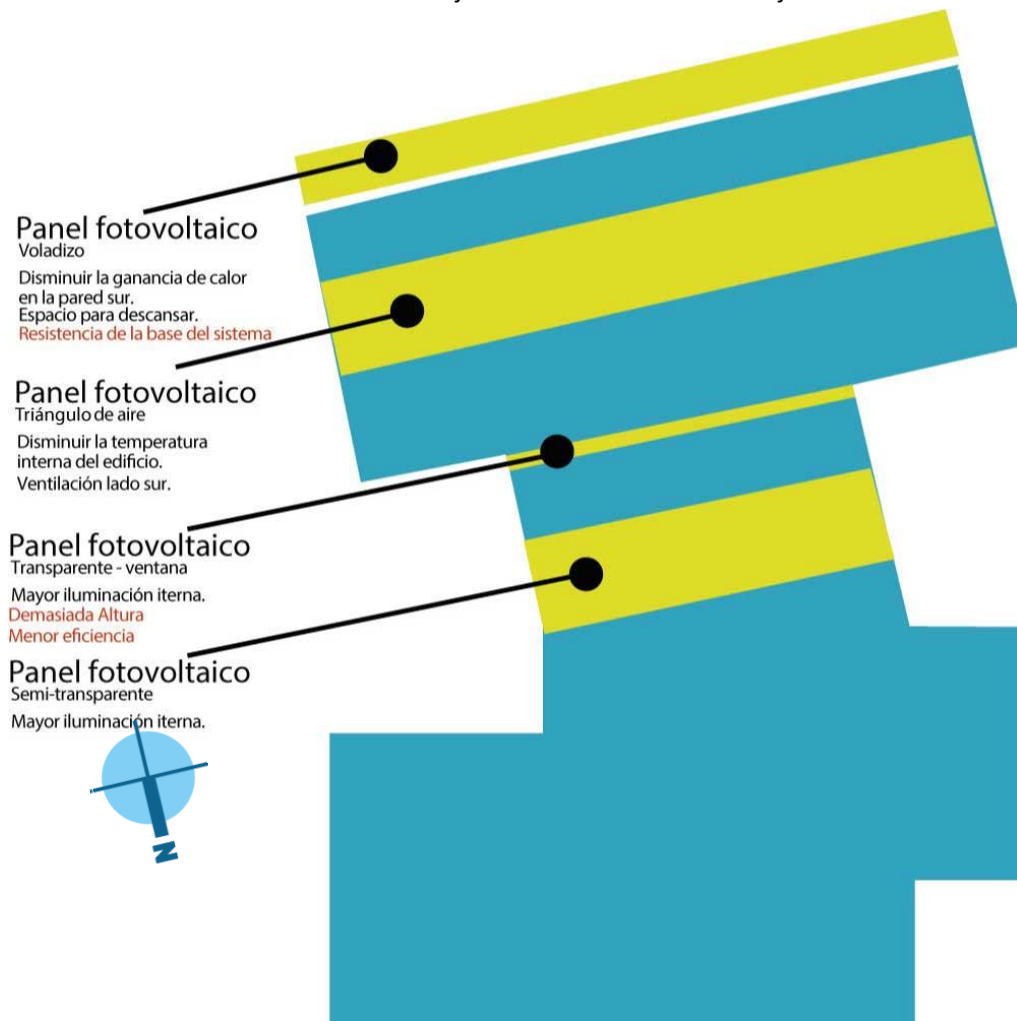


Figura 61 Diseño final con ayuda de estudio de áreas, zonificación y retícula. Fuente propia.

Ya que el edificio a diseñar es para satisfacer las necesidades de dos usuarios, se pretende un dimensionamiento pequeño, es por esta razón que se busca crear

diseños de espacio abierto, para conseguir un efecto visual amplio y limpio. En el cual se limita al uso de articulaciones de fusión y continuidad para cocina, comedor y sala. Para la parte delantera de la edificación se maneja la secuencia de líneas paralelas para crear continuidad con la forma rectangular que se maneja con el predio. Se considera la parte trasera para la colocación de los sistemas fotovoltaicos, ya que es necesario que estos se encuentren posicionados hacia el sur verdadero y que además no estén bajo ningún tipo de sombra.

Una vez determinados los posibles paneles a utilizar se determinó que se utilizaría el panel policristalino de vidrio templado y el semitransparente, se realizó un análisis (Figura 68) en donde se presentaron las posibles ventajas y desventajas de posicionamiento en la propuesta de edificación inicial como es; la búsqueda de mayor aprovechamiento de radiación a lo largo del día, que el ángulo de inclinación pueda integrarse con la forma del edificio, no generar ningún tipo de sombra y buscar una aportación al poder fungir como aislante térmico, ayudar con la ventilación, iluminación o disminución de costos. Las desventajas se marcaron en color rojo.



Finalizado el análisis se determinó que se utilizaría el panel fotovoltaico de vidrio templado en voladizo al lado sur, con el fin de ayudar a disminuir la ganancia de calor en la pared sur y por consiguiente la disminución en el interior, y la utilización de panel fotovoltaico semitransparente, para brindar iluminación tanto a la cocina como la sala y comedor (por ser espacio abierto) a lo largo de todo el día y poder disminuir las horas de uso de iluminación artificial.

5.3.2.1. Dimensionamiento

El primer elemento fotovoltaico que se utilizaría es el sistema de paneles policristalino de vidrio templado de 3.2 mm de espesor, de alta transmisión y bajo en hierro, el cual cuenta con 60 celdas (6 x 10) con dimensiones 1640 x 992 x 40mm. Ver figura 69 y 70.

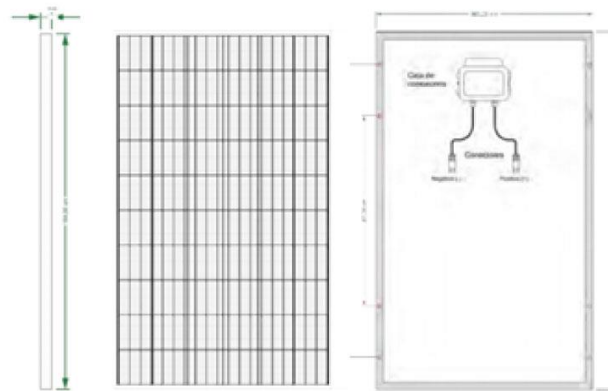


Figura 63 Representación gráfica del panel fotovoltaico. Fuente CORADIR S.A.

Propiedades Técnicas	
Potencia máxima nominal (Pmax)	250W
Voltaje a Pmax (Vmp)	30.65V
Corriente a Pmax (Imp)	8.17A
Voltaje a circuito abierto (Voc)	37.8V
Corriente de Cortocircuito (Isc)	8.74A
Eficiencia de Celdas (%)	17,40%
Eficiencia del Módulo	15,30%
Temperatura de operación (Cº)	-40Cº~+85Cº
Voltaje máximo del sistema	DC 1000V(TUV) / DC600V(UL)
Fusible serie máximo	15A
Tolerancia a potencia máxima	±3 %
Coeficiente de Temperatura a Pmax	(-0.45±0.05)% / Cº
Coeficiente de Temperatura a Voc	(0.05±0.01) % / Cº
Coeficiente de Temperatura a Isc	(-0.35±0.05)% / Cº
NOTC	(47±2) / Cº

Test en condiciones estándar 1000W/m2. Temp. del módulo 25°C, AM = 1,5

Figura 64 Ficha técnica del panel fotovoltaico de 250W.Fuente CORADIR S.A.

El segundo elemento fotovoltaico que se utilizaría es el sistema de paneles policristalino de vidrio transparente (19%) de 3.2 mm de espesor, el cual cuenta con 54 celdas con dimensiones 1640 x 985 x 40mm. Ver figura 71.

Behavior in standard test conditions STC*

Power class (maximum value)	P _{max}	150 Wp	155 Wp	160 Wp	165 Wp
Efficiency	η	9,29 %	9,60 %	9,91 %	10,21%
Open-circuit voltage	V _{oc}	22,58 V	22,99 V	23,41 V	23,82 V
Short-circuit current	I _{sc}	8,83 A	8,91 A	8,99 A	9,06A
Maximum power voltage	V _{mp}	18,32 V	18,68 V	19,05 V	19,44 V
Current at maximum power	I _{mp}	8,25 A	8,34 A	8,43 A	8,52 A

* Note - Under standard conditions: Irradiation 1000 W/mq - Module temperature = 25°C - Air mass AM 1,5
Measurement tolerance solar simulator class A (- / + 2%) in accordance with IEC 60904-9

Figura 65 Ficha técnica del panel fotovoltaico. Fuente VGS.

Ya que CFE sólo permite producir 10kw de energía a casas monofásicas se realizó un análisis para determinar el número de paneles a ocupar en la edificación para satisfacer el valor permitido por éste. Obteniendo lo siguiente: Al utilizar 3 paneles policristalinos de vidrio semitransparentes se producen 2,475 W y utilizar 6 paneles que producen 7,500 W logra satisfacer 9,975 W lo que es igual a un 63.11 % de la energía total ésto siguiendo la norma y el rango de energía a producirse dado por CFE.

- Panel policristalino de vidrio templado

$$(\text{Número de paneles})(\text{horas diurna})(\text{Potencia del panel}) = \text{Potencia}$$

$$(6)(5)(250) = 7,500 \text{ W}$$
- Panel policristalino de vidrio semitransparente

$$(\text{Número de paneles})(\text{horas diurna})(\text{Potencia del panel}) = \text{Potencia}$$

$$(3)(5)(165) = 2,475 \text{ W}$$

Por lo tanto $7,500 + 2,475 = 9,975 < 10,000 \text{ W}$

Una vez obtenido el dimensionamiento se hizo un análisis para determinar las partes en las que se constituiría el sistema en forma general, para así poder determinar el área que sería utilizada para la colocación de los aparatos en el plano arquitectónico. Con la ayuda de la conferencia impartida por Alcomex del departamento de energy solutions sobre los equipos que conlleva un sistema fotovoltaico interconectado a la red, se obtuvo el esquema general mostrado en la figura 72. Se realizó el primer arreglo fotovoltaico que consiste de 6 paneles, conectados en serie de dos en dos para obtener un voltaje de salida de 20V y la conexión de los tres subsistemas obtenidos en paralelo para aumentar la corriente a 24.51 Amp. Con respecto al segundo arreglo mismo que consiste de tres paneles, se conectaron en paralelo para aumentar la corriente a 25.56 Amp. y se unió en paralelo con el anterior para lograr una salida de 50.07 Amperes a 24V. Obteniendo un Wp=1,995 Watts, Corriente = 50.07 Amperes, Vmp = 39.17 volts y Voc = 61.62 volts. Con estos datos se seleccionó el inversor, mismo que cumpliera con los siguientes requisitos; que la potencia máxima de entrada DC fuera mayor que el Wp del arreglo de paneles, que la corriente máxima de entrada DC del inversor fuera mayor que la corriente del arreglo de paneles y que el Vmp y el Voc del arreglo se encontrara en el rango de voltaje de entrada del inversor.

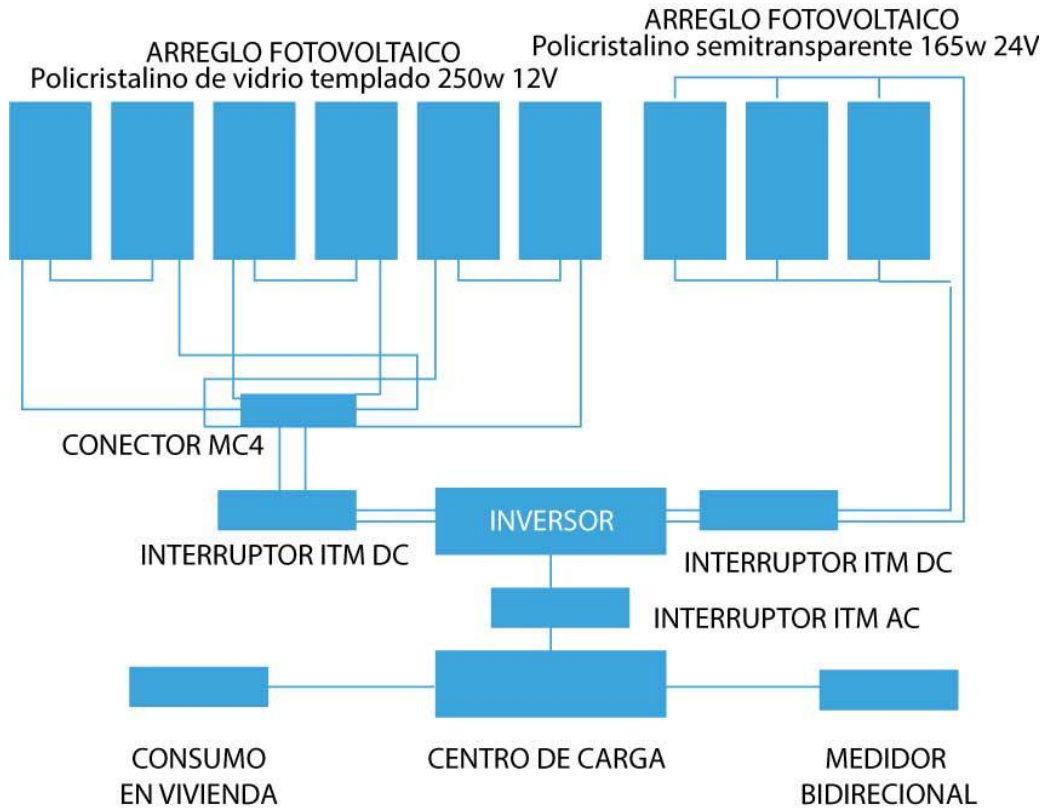


Figura 66 Equipos para uso de un sistema fotovoltaico interconectado. Imagen propia con información de conferencia por Alcomex.

Una vez obtenido el sistema y las partes que lo conforman se continuó a la obtención del área, para esto se tomó como referencia el inversor, y el centro de cargas, ya que éstos se encontrarían posicionados en el área específica a determinar. En la siguiente tabla se muestra el área final.

EQUIPO	DIMENSIONES (cm)	ÁREA cm ²
CENTRO DE CARGA	20.2 x 34.5 x 8.4	5,853.96
INVERSOR	7.2 x 34.5 x 21.2	5,266.08
TOTAL		11,120.04

Tabla 19 Área para ubicación de los equipos fotovoltaico. Fuente propia

En base a la información recolectada, se determinó que se utilizaría un espacio como máximo de 1 m de ancho por 0.75 m de altura y 0.30 m de grosor para colocar los aparatos y realizar la conexión. Como se muestra en la figura 82.

5.3.3. ANTEPROYECTO

Se determinaron las formas básicas a integrar, se decidió que consistiría en una edificación de gran tamaño (alta), ya que los espacios serían pequeños por lo que es importante lograr un efecto visual amplio, además para que junto con las formas de ventanas beneficien las corrientes de aire, además de brindar mayor iluminación a lo largo del día. En cuanto a las formas del edificio, se utilizaron formas rectas evitando detalle excesivo, o únicamente en pequeños tamaños o elementos no propios del edificio. Por último, se determinó que sería de un solo nivel, para poder colocar un pretil que sobresalga a lo alto, representativo del estilo colonial, como se muestra en la siguiente figura.

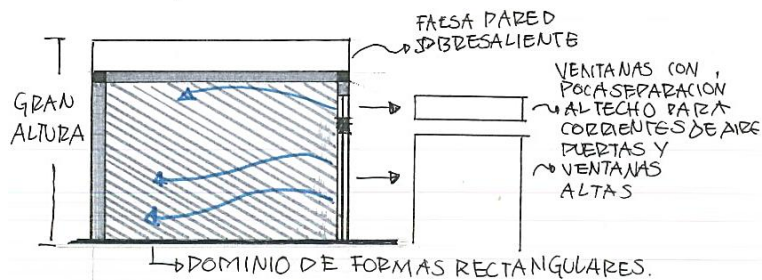


Figura 67 Bocetos de variables que debe contener la casa. Fuente propia.

Una vez obtenidas las formas básicas se realizó un análisis de la integración de los elementos arquitectónicos que eran propios de la corriente arquitectónica encontrada en la localidad. Ver figura 74.

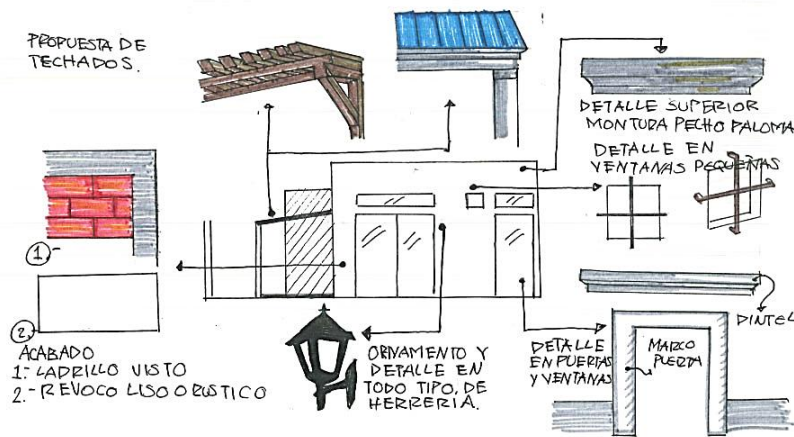


Figura 68 Elementos arquitectónicos propios del estilo colonial para ser integrados a la edificación. Fuente propia.

Obteniendo al final del proceso la primera propuesta, figura 75, que parecía cumplir las necesidades y requerimientos de diseño y del usuario.

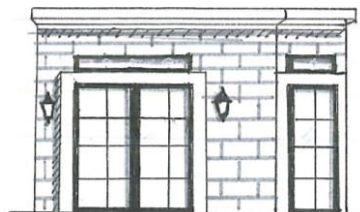


Figura 69 Primera propuesta de diseño arquitectónico. Fuente propia.

5.4. FASE 3 DESARROLLO

5.4.1. EVALUACIÓN DE IMPACTOS DE ANTEPROYECTO

Para concretar el diseño inicial, se realizó una evaluación de impactos en la distribución arquitectónica bajo criterios de sistemas pasivos, para que el diseño pueda ayudar a disminuir el consumo energético en base a materiales, ventilación, iluminación, aislamiento y asoleamiento a utilizar, como se muestra en la figura 76.

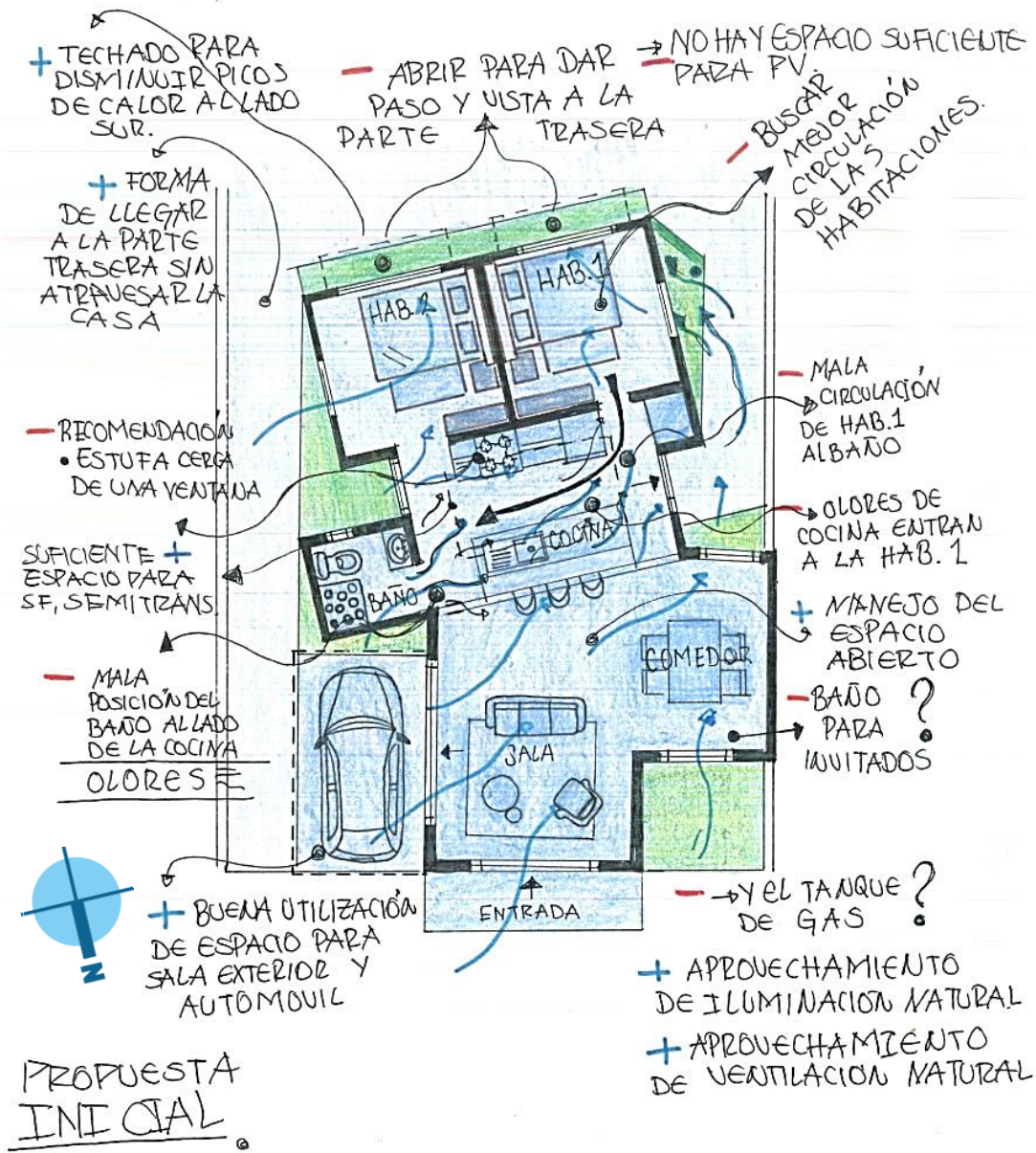


Figura 70 Primera evaluación de impactos a la propuesta de distribución planteados. Fuente propia.

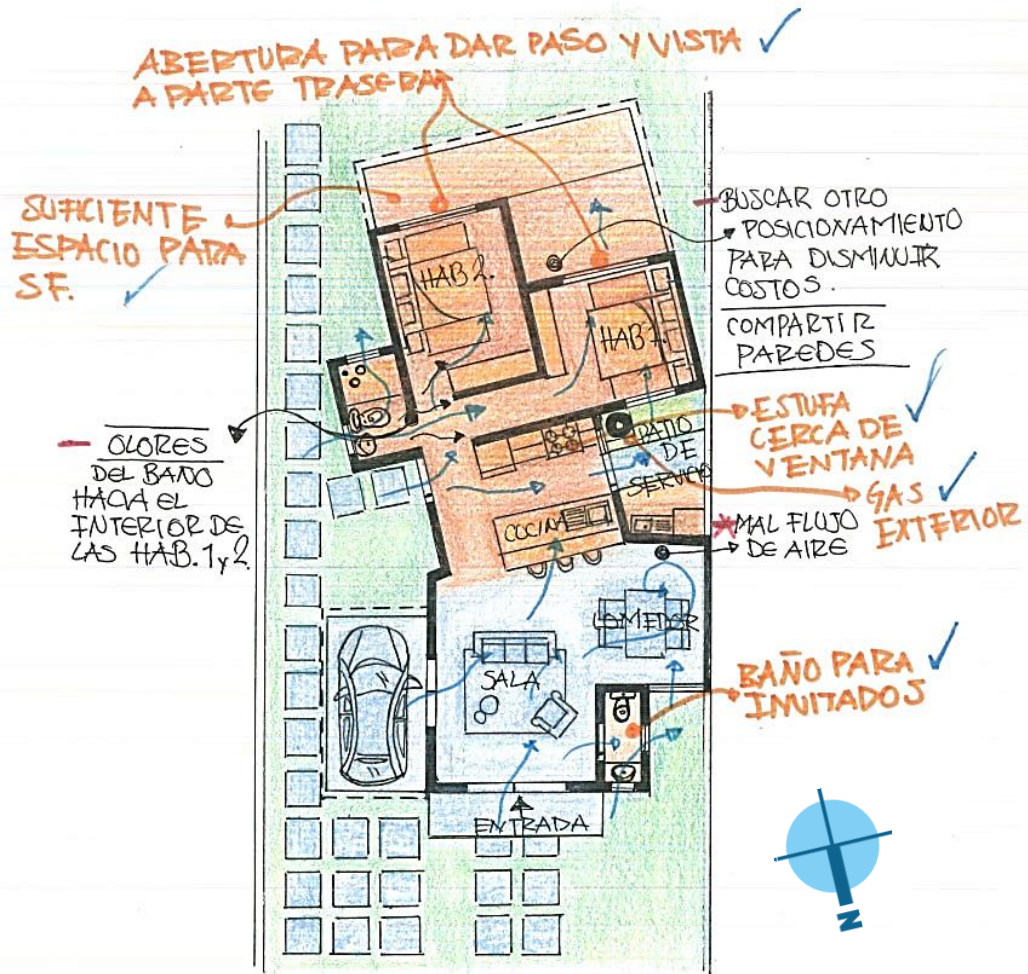


Figura 71 Segunda propuesta y evaluación a la distribución planteada. Fuente propia.

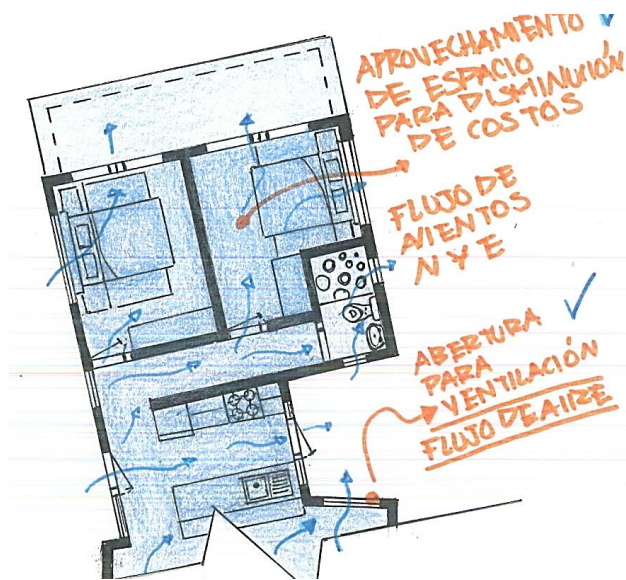


Figura 72 Tercera propuesta planteada, y evaluación a la nueva distribución planteada. Fuente propia.

Una vez evaluado el primer diseño y distribución, se generó una segunda propuesta (Figura 77), misma que al evaluar se obtuvo por último una propuesta que cumpliría con todos los requerimientos (Figura 78).

El mismo proceso se utilizó para obtener el diseño final de la edificación. En este caso el diseñador y el usuario evaluaron la propuesta inicial y

determinaron los factores a modificar obteniendo el siguiente diseño final. Como se muestra en la secuencia de las figuras 79, 80 y 81.



Figura 79 Evaluación a la primera propuesta de diseño de la edificación. Fuente propia.

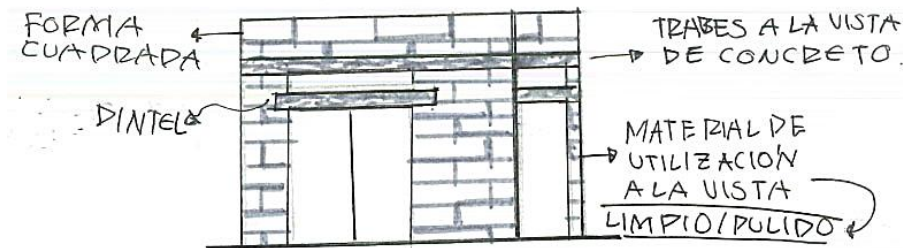


Figura 80 Segunda evaluación a la propuesta de diseño de la edificación. Fuente Propia.

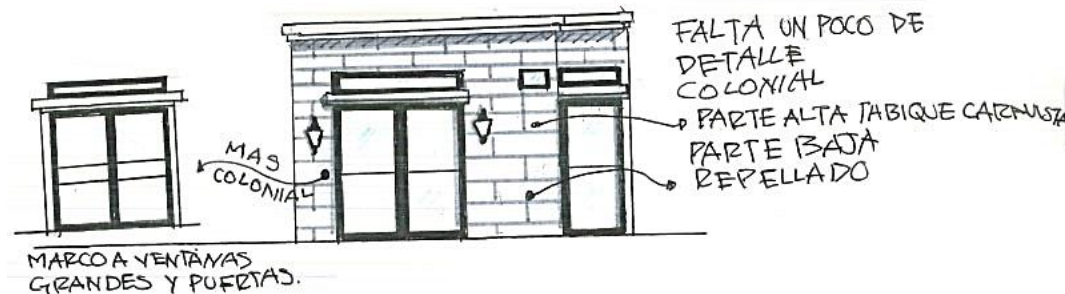
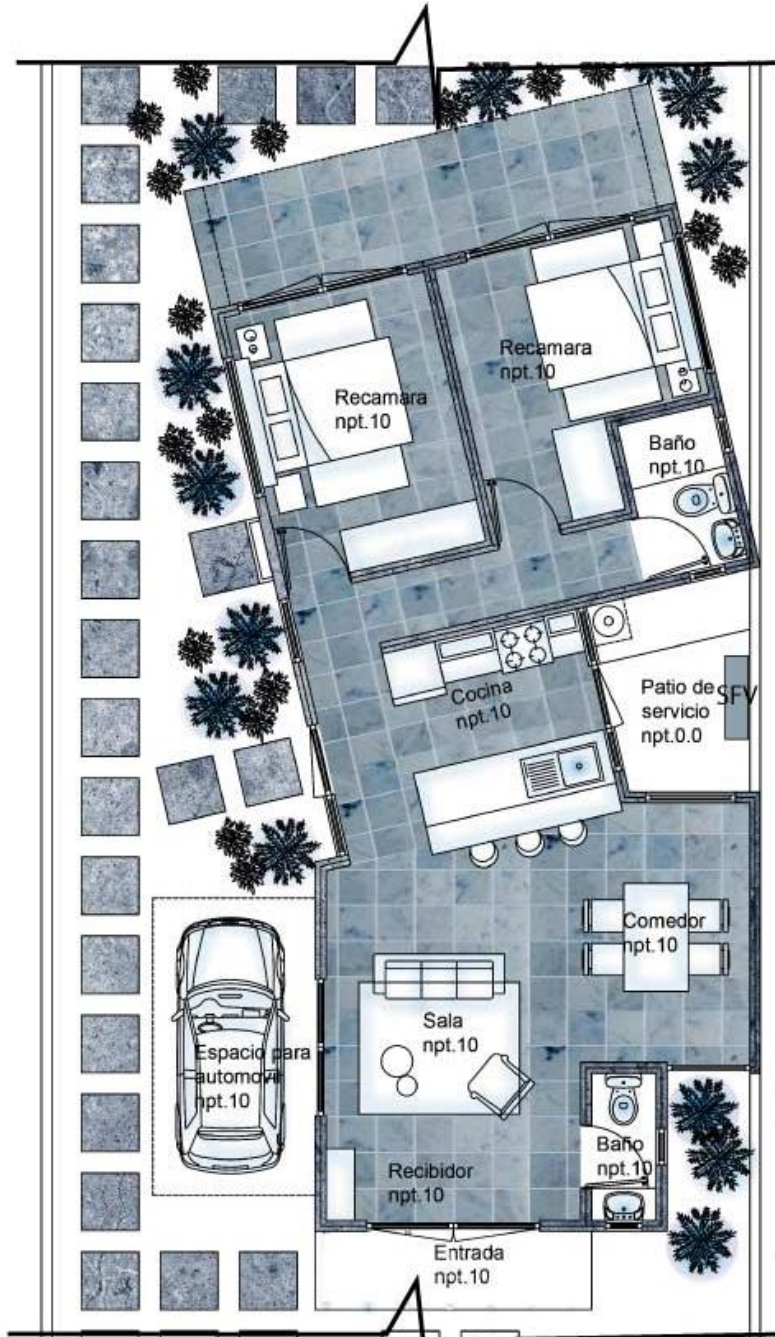


Figura 81 Tercera y última propuesta de diseño con la opción a la evaluación. Fuente propia.

5.4.1.1. Propuesta final

Como resultado de este proceso se obtuvo el diseño final que satisficiera con todos los criterios de ventilación, iluminación y aislamiento térmico. En la figura 82 se muestra la planta arquitectónica y las fachadas del área de interés.



Eje largo con un ángulo de inclinación de 13 grados sobre el eje N-S



FACHADA FRONTAL

B



FACHADA POSTERIOR

C

PLANTA ARQUITECTÓNICA
área de interés

A



FACHADA LATERAL IZQUIERDA

D

Figura 73 a) Planta Arquitectónica, b) Fachada Frontal, c) Fachada Lateral Izquierda, d) Fachada posterior.

5.4.2. EXPOSICIÓN DE APLICACIÓN DE ELEMENTOS BIOCLIMÁTICOS

A continuación se exponen los elementos bioclimáticos aplicados en la propuesta de diseño, además del objetivo de éstos.

5.4.2.1. Ventilación natural

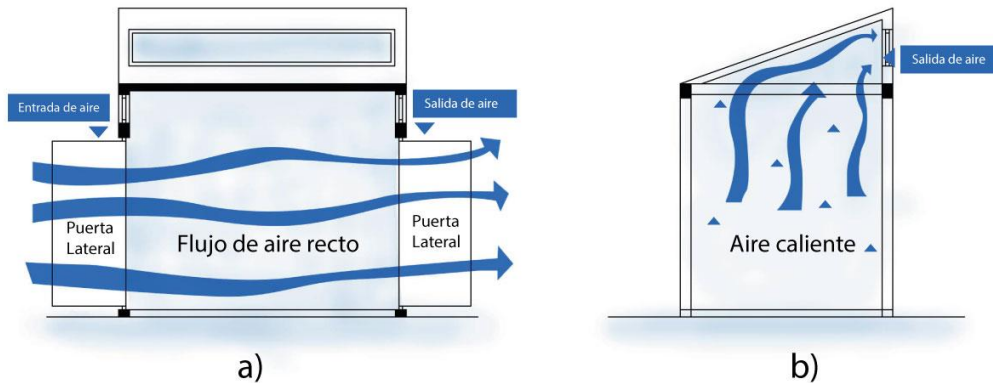


Figura 74 Formas de ventilación propuestas en la edificación: a) Flujo de aire recto, b) Salida de flujo de aire por abertura superior. Fuente propia.

Una de las formas de ventilación utilizadas fue especialmente en la cocina, manteniendo la altura y anchura de la entrada de aire, para que al abrir las puertas laterales se pudiese liberar el aire caliente y olores generados por preparación de alimentos (imagen 83 a), de no abrir las puertas laterales el aire caliente ascenderá y gracias a la pendiente del techado saldrá por la ventana superior (imagen 83 b).

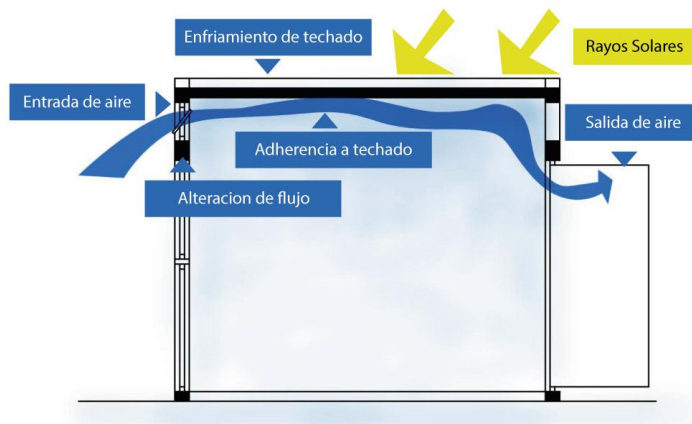


Figura 75 Flujo de aire adherido al techo para disminución de temperatura. Fuente propia.

Otra alternativa fue refrescar el techado, ya que es el mayor ganante de radiación solar a lo largo del día. Al re-direccionar el flujo de aire hacia el techado ayuda a disminuir la temperatura del mismo, por esta razón como se muestra en la figura 88 se colocaron ventanas cercanas al techado, permitiendo que el flujo de aire se adhiera al techo manteniéndolo fresco. Al agregarle ventanas o puertas en las partes laterales se lograría liberar el aire caliente que sube y así mantener fresca la parte baja.

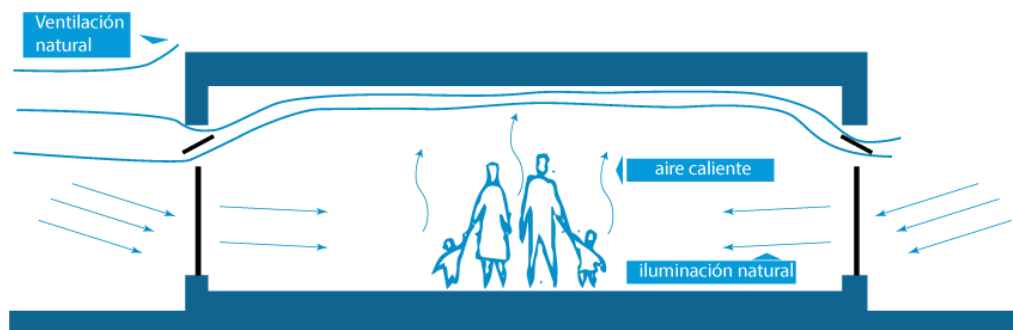


Figura 76 Adherencia de flujo de aire a techado y corriente de aire lateral. Fuente propia.

Con respecto a las variables bioclimáticas para que exista una buena circulación de aire, es necesario que aproximadamente el 10% del área del suelo sea de aberturas para que se puedan generar por lo menos 30 cambios de aire por hora, se obtuvo que para un área total de suelo de la edificación igual a 103.1005 m^2 , el área de apertura total es igual a 54.59 m^2 donde el 10.24% es para ventilación natural y 44.35 % para iluminación por lo tanto lograr un buen flujo de aire y una buena iluminación a los espacios internos. De esta manera, como se observa en la figura 86, la utilización de ventanas cercanas al techo ayuda a liberar el calor que asciende por medio de corrientes de aire, mientras que los ventanales y puertas de cristal laterales cumplen el objetivo de brindan iluminación al interior del edificio, es decir, la vivienda se encontraría fresca sin necesidad de abrir las puertas y ventanales laterales y con iluminación natural a lo largo del día.

Siguiendo las recomendaciones de Armando Deffis, de utilizar aperturas de aire con relación de 1 para entrada y salida de 1.25 a 2, en el proyecto arquitectónico se consideró en el espacio de sanitarios una apertura de entrada de 0.2 m^2 y de salida de 0.25 m^2 lo cual arroja un valor de relación de entrada de 1.25. Ver figura 86.

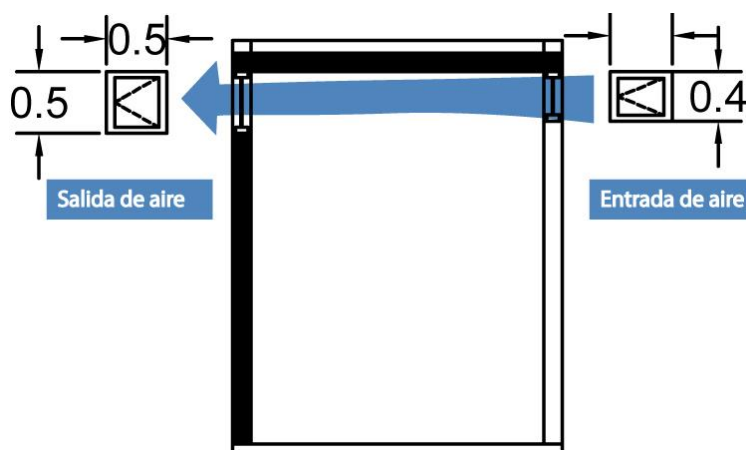


Figura 77 Velocidad de apertura de 1.25. Fuente propia

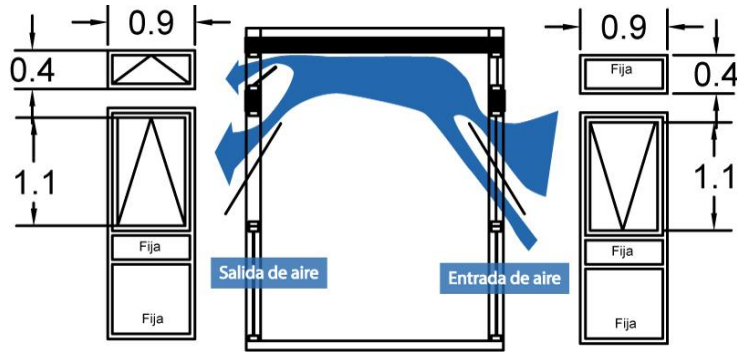


Figura 78 Velocidad de apertura de 1.36, con utilización de ventanas para redireccionar los flujos de aire. Fuente propia.

Otra forma de lograr una buena velocidad de ventilación es la utilización de ventanas para redireccionar el flujo de aire hacia nuestra conveniencia, además de lograr una relación de entrada de 1.36 con respecto a un área de entrada de 0.99 m^2 y un área de salida de 1.35 m^2 . Ver figura 87.

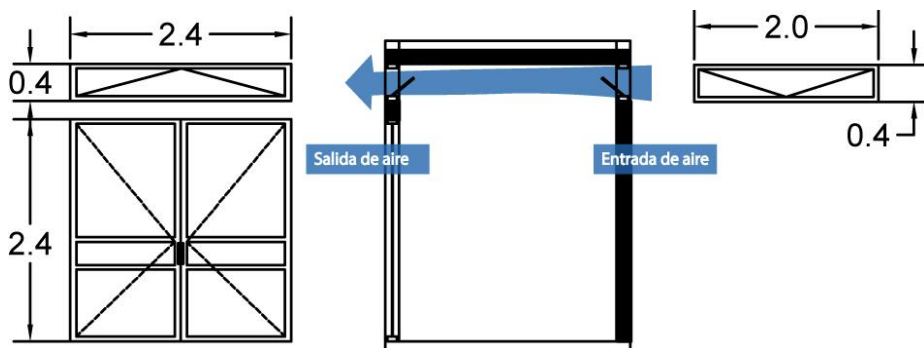


Figura 79 Velocidad de apertura de 1.2 para ventilación lineal. Fuente propia.

Para las habitaciones, la entrada de aire logra una relación de 1.2 tomando un área de entrada de 0.8 m^2 y una de salida de 0.96 m^2 a través de las ventanas superiores. La puerta cerrada serviría solamente para iluminación, cuando se abra serviría para una ventilación cruzada. Ver figura 88.

En el diseño arquitectónico generado se le dio mayor importancia a los vientos dominantes en tiempos de calor, ya que en esta temporada son utilizados mecanismos para enfriar el interior de la casa. Como se muestra la figura 89-A en el análisis de flujo de vientos dominantes se pueden apreciar los vientos dominantes de abril a septiembre, mismos que van dirigidos hacia el este.

En la figura 89-B se puede apreciar el análisis de flujo de vientos en los meses de septiembre a abril donde los vientos dominantes tienen dirección hacia el Norte, se observa que el flujo de aire es menor que en el anterior, ésto con el fin de buscar disminuir el flujo de aire para mantener los espacios cálidos, especialmente en dormitorios.

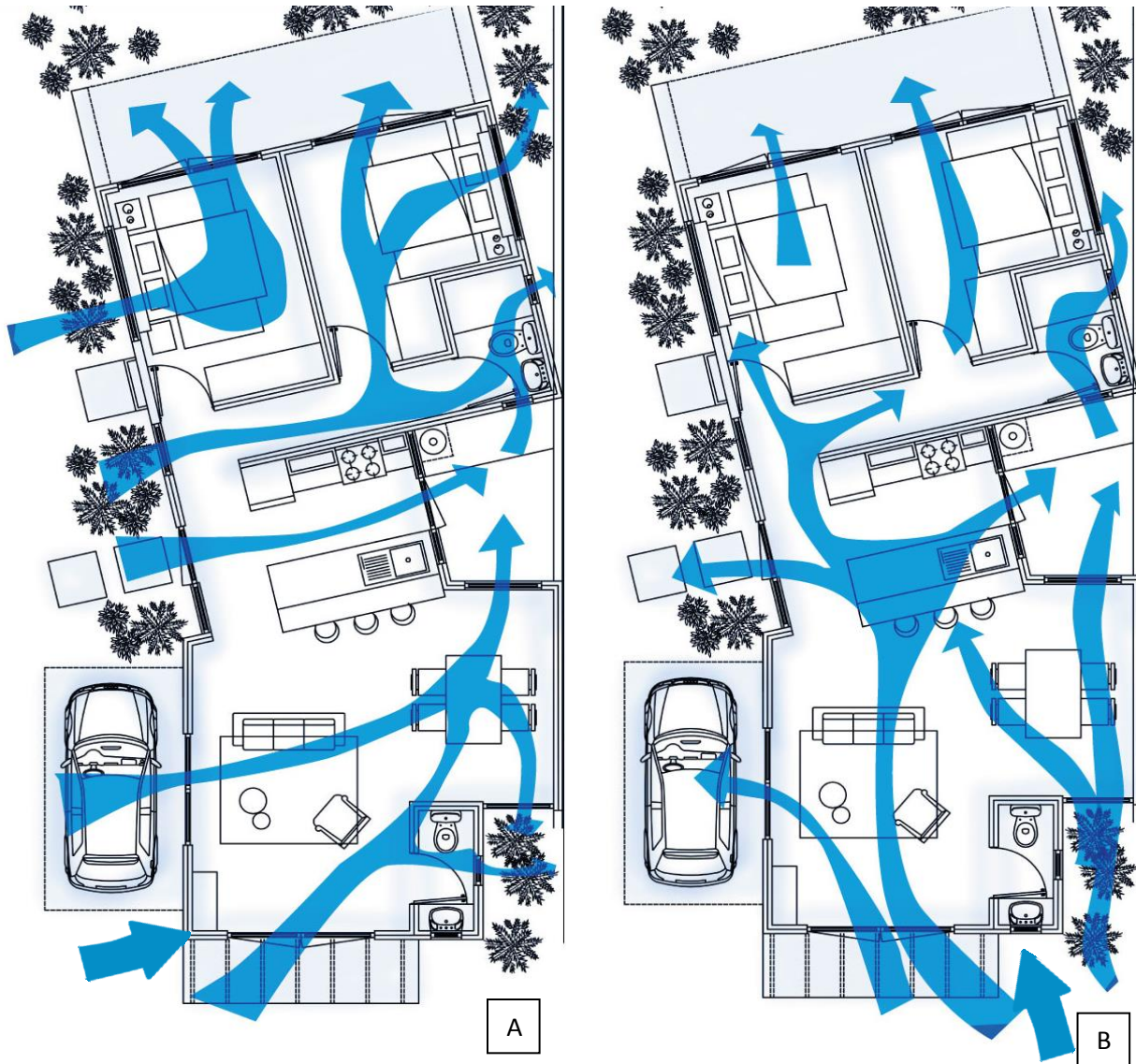


Figura 80 Comportamiento del flujo de aire con vientos dominantes: a) Este temporadas de calor, b) Norte temporada de frío. Fuente propia.

5.4.2.2. Forma y orientación de la planta arquitectónica

Ya que la geometría del espacio no era favorecedora para diseñar la casa en base a la información tomada en el marco teórico, se separaron los espacios de tal forma que existiera menor ganancia de calor al buscar que se generara sombra entre ellos, para esto se dividió la casa en 3 partes (figura 90) de modo que existiera luz natural la mayoría del tiempo sin tener ganancia de calor directa, además de favorecer la ventilación en temporada de calor.

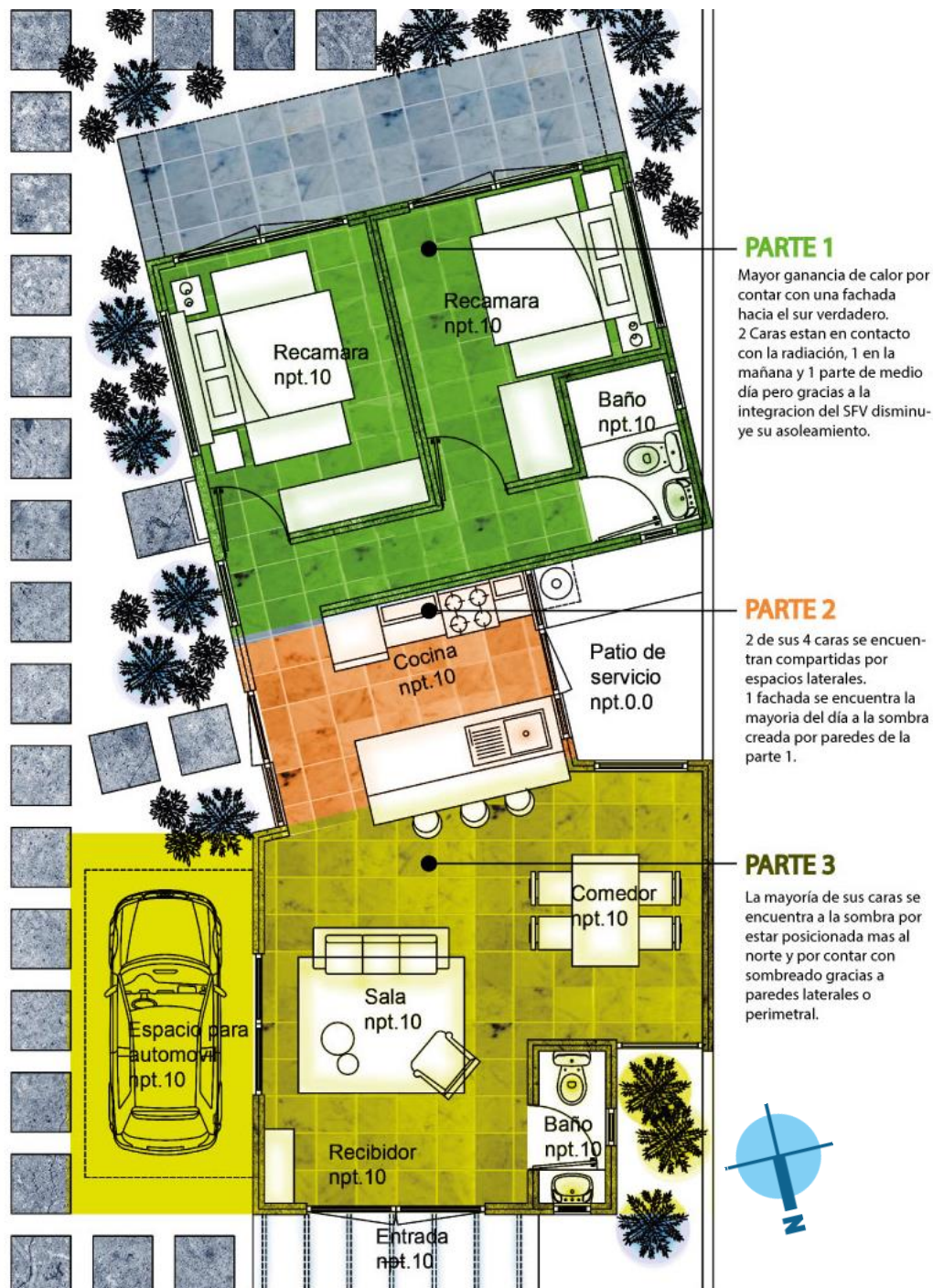


Figura 81 Análisis de distribución para menor ganancia de calor. Fuente propia.

Con respecto a la forma del edificio, la altura de cubierta jugó un papel importante, ya que el área se encuentra ligada al volumen de aire caliente que al subir puede ser concentrada en la parte superior de la casa, se propuso una altura de 3 metros que con ayuda de corrientes ascendentes se logre un flujo de calor de la parte baja a la parte alta de la casa, dando un efecto de disminución de temperatura.

5.4.2.3. Aislamiento térmico

Para lograr aislar térmicamente el edificio se propone, para la pared, el ladrillo de arcilla estructural hueco caravista esmaltado blanco (figura 91) con medidas de 24 x 12 x 11.6 observables en la ficha técnica (figura 92) para retrasar la transferencia de calor por medio de conducción (principalmente para aislar la pared sur).

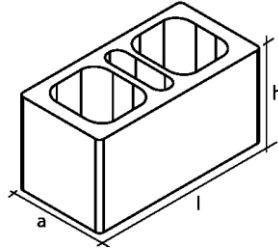


Figura 82 Representación gráfica del ladrillo de arcilla hueco. Fuente NOVACERAMIC.

Medidas Nominales* (cm)	24X12X11.6
Ancho de muro (cm)	12
Pzas/m2 con junta de 1 cm	31.7
**Mortero para Juntas (l/m2)	9.82
Peso promedio de la pieza (Kg)	3.50
Peso del Sistema con junta de mortero (kg/m2)	132.72
Resistencia a la compresión (fp) kg/cm2	120
Resistencia al esfuerzo cortante (V*m) kg/cm2	3.0
Resistencia a compresión de la mampostería(F*m) kg/cm2	40.0
Absorción % en peso	16-18
Conductividad térmica de la pieza (W/mÂ°K)	.226
Resistencia térmica del sistema (mÂ² Â°K/W)	.682
***Piezas por palet	224

Figura 83 Ficha técnica de ladrillo de arcilla hueco. Fuente NOVACERAMIC.

Para el techado se proyectó el uso de vigueta y bovedilla de concreto, principalmente para lograr cubrir un claro de 7 metros existente en la edificación, además que ha demostrado ser un mejor aislante térmico que la loza de concreto armado por la cámara de aire. Ver figura 93.

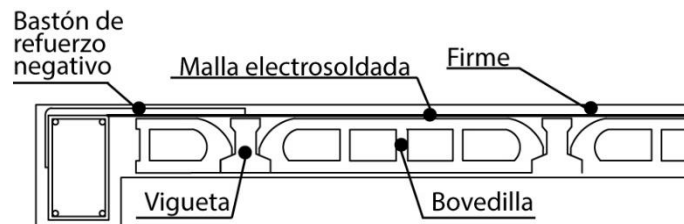


Figura 84 Representación gráfica de vigueta y bovedilla. Fuente propia.

Con la ecuación 22 y las tablas 5 y 6, del capítulo dos, se calculó la resistencia térmica de cada uno de los componentes de la pared y techo, mostrados a continuación:

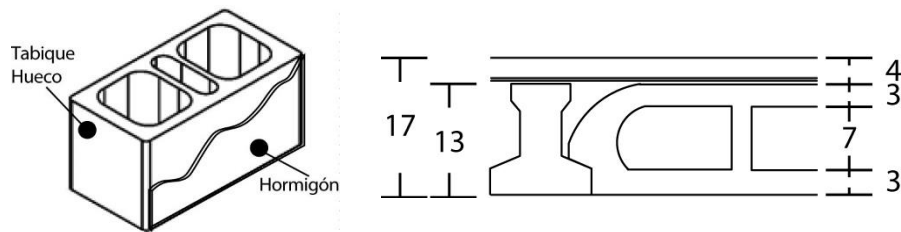


Figura 85 Representación gráfica de los componentes que integran la pared y el techado de vigueta y bovedilla. Fuente propia.

Resistencia térmica de pared:

- Resistencia de la superficie externa = 0.044
- Ladrillo hueco 12 cm = $0.12/0.25 = 0.48$
- Yeso 25 mm = $0.025/1.39 = 0.018$
- Resistencia de la superficie interior = 0.12

Obteniendo una resistencia de pared total $R = 0.662 \text{ m}^2 - \text{k/w}$

Resistencia térmica de techado:

- Resistencia de la superficie externa = 0.044
- Hormigón densidad media 4 cm = $0.04/1.35 = 0.029$
- Hormigón densidad alta 3cm = $0.03/2 = 0.15$
- Espesor de aire 7 mm = 0.13
- Hormigón densidad alta 3cm = $0.03/2 = 0.15$
- Yeso 25 mm = $0.025/1.39 = 0.018$
- Resistencia de la superficie interior = 0.12

Obteniendo una resistencia de techo total $R = 0.641 \text{ m}^2 - \text{k/w}$, por lo tanto, la resistencia total techo y muro $R = 1.303$, $U = 0.767$.

De acuerdo a la “Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltura de edificios para uso habitacional, publicada el 9 de agosto de 2011” en donde para el estado de Oaxaca el valor máximo de la eficiencia energética, U, para techo y muro de hasta tres niveles y conjunto horizontal con muros compartidos debe ser de $0.909 \text{ W/m}^2 - \text{k}$, es decir; el aislamiento del techo y pared cumple con la norma 020 brindando según la tabla de “valores para el Cálculo del Flujo de Calor a Través de la Envoltura” un aislamiento en el interior del edificio con temperaturas promedio de 27 a 26°C en muros masivos de lado sur, de 26 a 25 °C del lado Oeste, de 25 a 27°C lado Este y 26 a 25°C de lado Norte. Además, que los colores claros en la fachada del edificio facilitan la reflexión de luz natural repeliendo el calor por el sol, asimismo el uso de esmaltado ayuda a la absorción de la energía solar durante el día.

Cabe resaltar que, de no haber ocupado el tabique hueco, el uso de vegetación como enredaderas hubiera sido una buena alternativa para disminuir la ganancia de calor en el interior.

5.4.3. EXPOSICIÓN DE APLICACIÓN DE ELEMENTOS FOTOVOLTAICOS

A continuación se expone en la figura 95 cómo se utilizaron y que ventajas genera en la vivienda la propuesta de integración fotovoltaica.

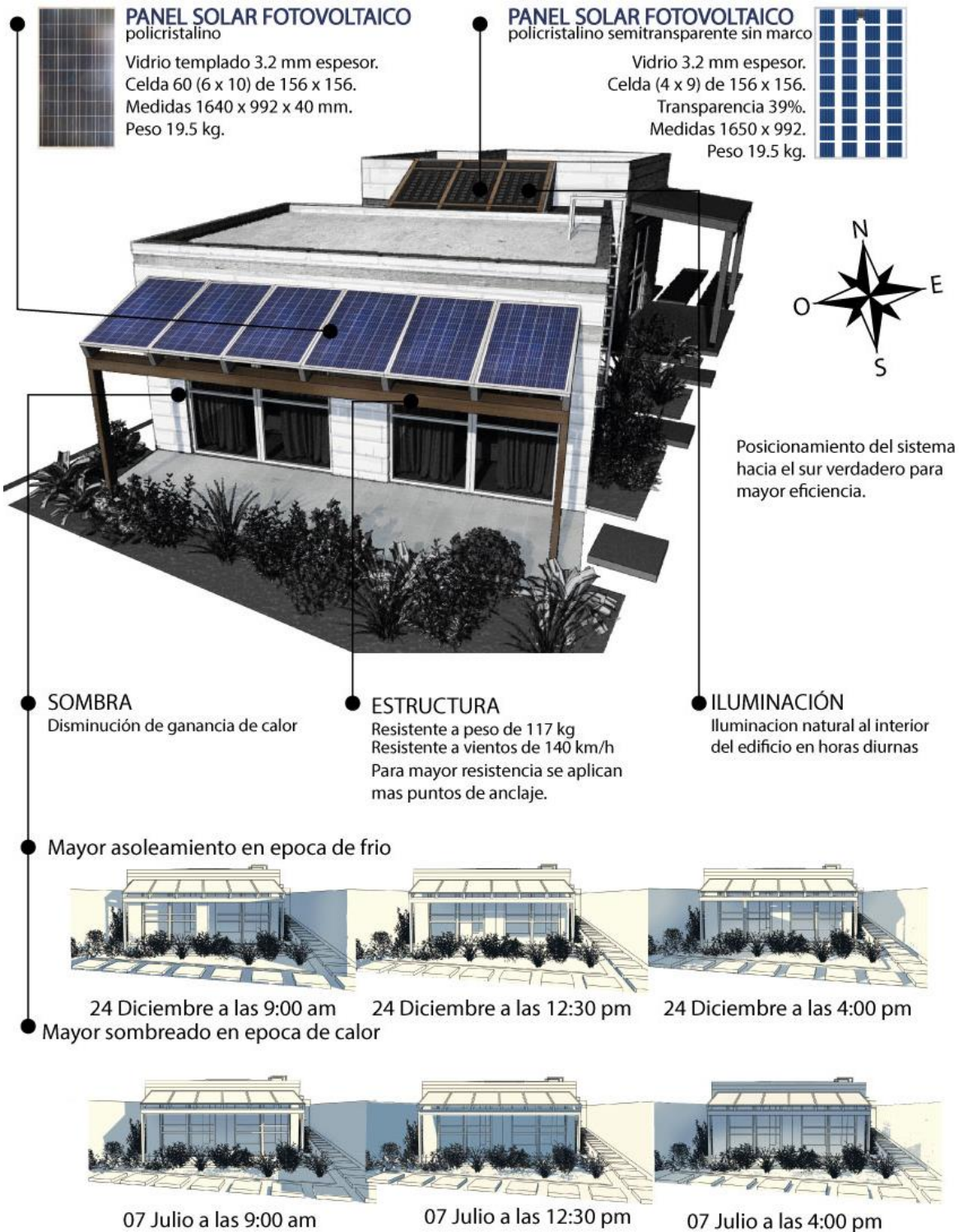


Figura 86 Propuesta Arquitectónica integrando sistemas arquitectónicos mostrando ventajas de integración con estudio solar. Fuente propia.

5.4.3.1. Análisis de sombras

Se hizo un análisis de asoleamiento para detectar el posible sombreado sobre los paneles propuestos (figura 96) mismo que arrojó un asoleamiento limpio para diferentes horas a lo largo del día.

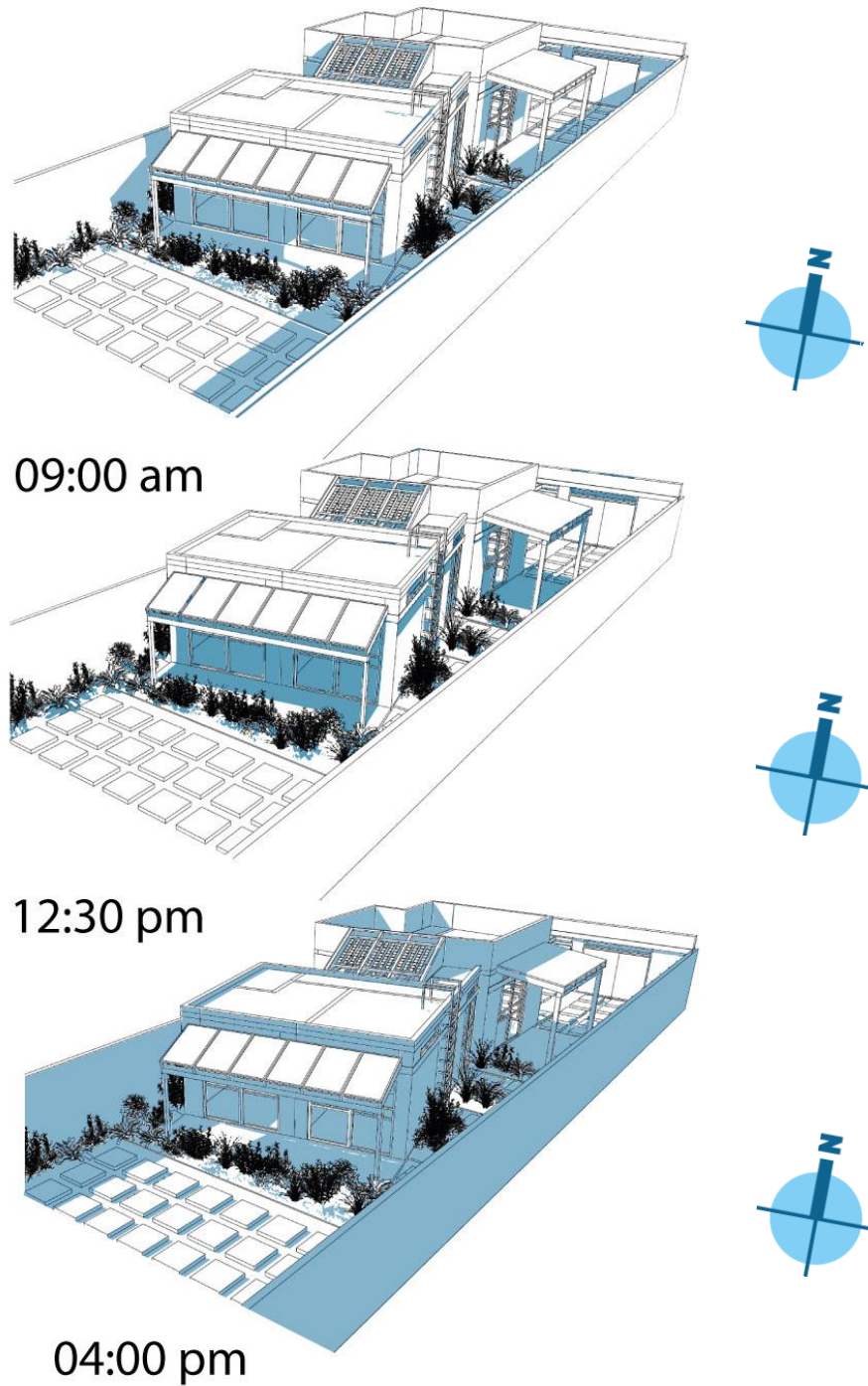


Figura 87 Análisis de asoleamiento realizado a las 9, 12:30 y 4 pm. Fuente propia.

5.4.3.2. Detalle de instalación de paneles fotovoltaicos

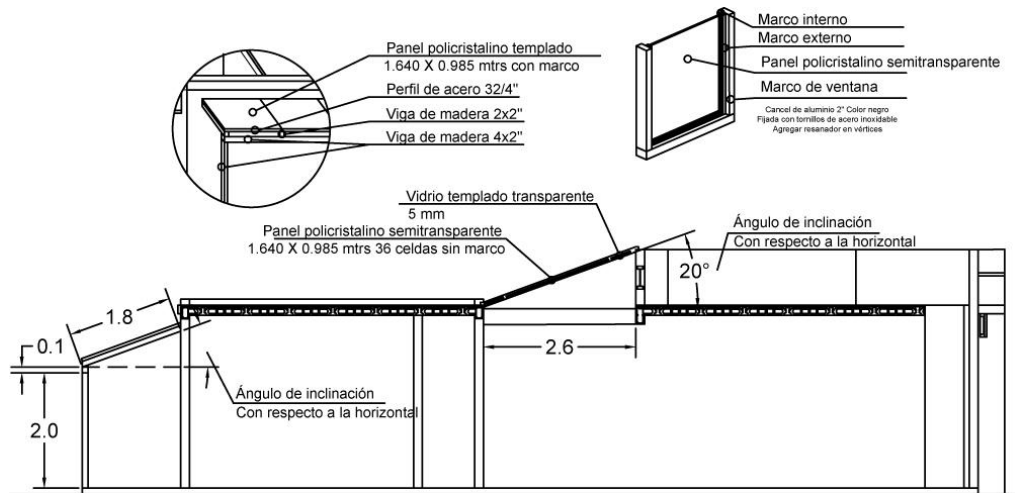


Figura 88 Detalle del sistema fotovoltaico a integrar en la edificación. Fuente propia.

El primer sistema fotovoltaico integrado consta de 6 paneles policristalinos de vidrio templado posicionados hacia el sur verdadero con un ángulo de inclinación de 20 grados con respecto a la horizontal, sujeto de una estructura de perfil de acero para no permitir que oscile o mueva. Éste se posicionará sobre una estructura de madera que consta de 7 pilares de madera verticales sobre uno horizontal, mismos posicionados sobre 2 pilares. El segundo sistema consta de 3 paneles policristalinos semitransparentes con un marco interno y otro externo sostenidos de un marco general de ventana (Figuras 97 y 98).

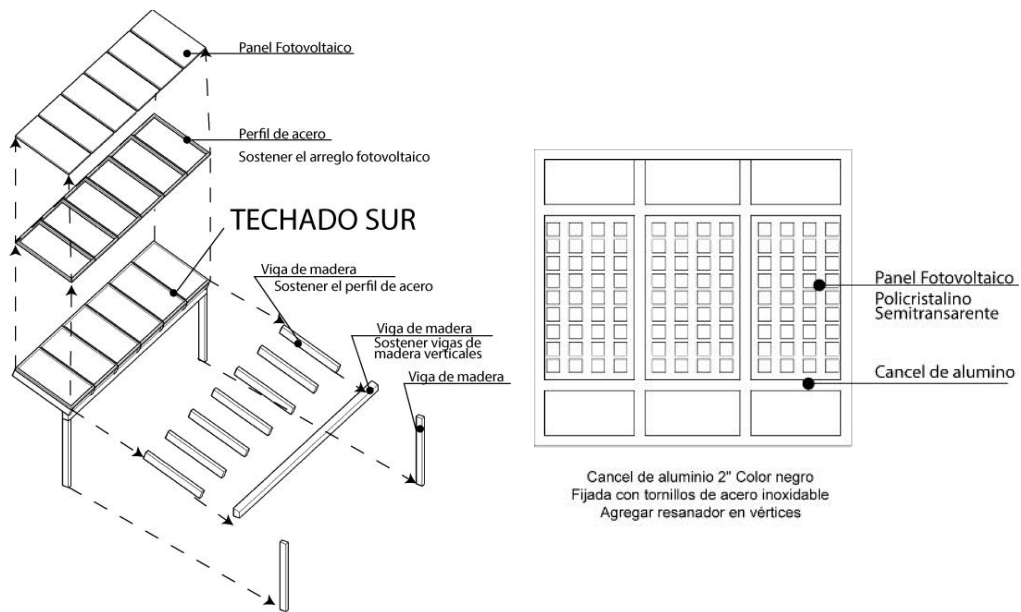


Figura 89 Explosivo del techado sur del edificio con SFV templados policristalino y descripción gráfica del SFV semitransparente posicionado al centro en el techado de la vivienda. Fuente propia.

5.4.4. PROYECTO ARQUITECTÓNICO

Los planos arquitectónicos y ejecutivos de la propuesta de diseño se encuentran en el Anexo D.

5.4.4.1. Realidad virtual

Se realizó un estudio de renderizado, para dar una visión general del proyecto arquitectónico, las propuestas tridimensionales se muestran a continuación.



A **PERSPECTIVA**
LATERAL IZQUIERDA-FRONTAL
sin muros perimetrales

B **PERSPECTIVA**
POSTERIOR - LATERAL IZQUIERDA
sin muros perimetrales



Figura 90 Propuesta Arquitectónica de casa integrando sistema fotovoltaico: a) perspectiva lateral izquierda-frontend, b) Perspectiva Posterior – Lateral Izquierda. Fuente propia.

A **PERSPECTIVA**
FRONTAL- LATERAL IZQUIERDA
sin muros perimetrales



PERSPECTIVA **B**
INTERIOR
gráfica

Figura 91 Propuesta Arquitectónica de casa integrando sistema fotovoltaico: a) Perspectiva frontal-lateral izquierda b) Perspectiva interior. Fuente propia.

5.5. FASE 4 EVALUACIÓN

5.5.1. DISMINUCIÓN DE CONSUMO ENERGÉTICO POR ELEMENTOS BIOCLIMÁTICOS

Como último, tomando todo lo realizado anteriormente y siguiendo la metodología planteada, se obtuvo una disminución del tiempo del uso de iluminación artificial (focos), donde con la ayuda del programa de actividades (Anexo C) que muestra que el usuario se levanta todos los días a las 6:30 - 7 y duerme a las 10:30 pm. Además, con la ayuda de la información recabada con respecto al asoleamiento, se obtuvo un promedio de salida del Sol a las 6:45 am y ocultación a las 7:00 pm, es decir, sólo sería necesario el uso de iluminación 15 minutos en la mañana y 3:30 horas en la noche antes de dormir, lo que se reduce el uso de 3 hrs con 45 min. Diarios de iluminación artificial. De igual manera con respecto a la forma y ventilación planteada, se generaría un uso omiso de ventiladores en temporadas de calor, y por último, siguiendo las recomendaciones de CFE para ahorro energético, cambiando el uso de focos fluorescentes por focos led.

5.5.2. PORCENTAJE DE ENERGÍA SOLVENTADA POR EL SFV

Para determinar el porcentaje de energía solventada por el sistema fotovoltaico en la edificación planteada se realizó un cuadro de cargas (Figura 101) para determinar la energía requerida en la nueva edificación con la utilización de iluminación led, donde se obtuvo un consumo por de luminarias de 516.8 W, mismo que, junto a la disminución de tiempo de uso de electricidad se obtuvo un consumo de 1,782.96 Wh diarias.

CUADRO DE CARGAS

CIRCUITO	 7 watts jardines	 3.3 watts Sanitaria	 4.5 watts interior	 18 watts interior central	 12 watts interior colgantes	 2.5 watts áreas de trabajo	 180 watts	 360 watts	 50 watts	 400 watts	CONSUMO
c1	18	6	31	7	1	3		2	1		1,200.8
c2							14				2,520.0
c3								5			1,800.0
c4								1		1	760.0
c5	2			4			3	2			1,346.0
SALIDAS	20	6	31	11	1	3	17	10	1	1	101
CONSUMO	140	19.8	139.5	198	12	7.5	3,060	3,600	50	400	7,626.8

Figura 92 Cuadro de cargas de la propuesta arquitectónica. Fuente propia.

Se llevó a cabo un nuevo análisis de consumo energético donde, tomando en cuenta la disminución energética por elementos bioclimáticos y por uso de luminarias led se llegó a una disminución del **20%** de la energía, pasando de consumir 15,804.5 wh a **12,596.51 wh**, gracias a ésto el sistema fotovoltaico pasa de producir el **63%** de la energía total a un **80%** de ésta.

En la siguiente tabla se muestra el nuevo análisis de consumo energético donde se marca con azul la disminución de consumo por un menor tiempo de uso de electricidad y en rojo por uso omiso del aparato.

APARATO	CANTI- DAD	POTENCIA (w)	TIEMPO DE EJECUCIÓN	ENERGÍA DÍA (Wh)	ENERGÍA SEMANTAL
TV Color	1	360 w al día	4hrs	1,440 wh	10,080 wh
TV Color	2	250 w al día	2 hrs	1,000 wh	7,000 wh
DVD	1	25 w 1 vez al mes	3hrs	75 w	-----
Estéreo musical	1	75 w 2 veces a la semana	4hrs	300 wh	600 wh
Horno de Microondas	1	1200 w 2 veces al día	5 min	120 wh	840 wh
Licuadaora	1	400 w 2 veces al día	1 min	8 wh	56 wh
Refrigerador	1	290 w	10 hrs	2,900 wh	20,300 wh
Lámpara de noche	2	2.5 w	9 hrs	45 wh	315 wh
Secador de cabello	1	1600 w 1 vez al mes	5 min	80 wh	-----
Plancha de cabello	1	55 w 2 veces a la semana	10 min	5.5 wh	11 wh
Ventilador	1	125 w	10 hr	1,250 wh	8,750 wh
Laptop	1	300 w	1hr al día	300 wh	2,100 wh
Cargador de celular	1	5 w	10 hrs	50 wh	350 wh
Lavadora	1	400 w 3 días a la semana	2hr	800 wh	2,400 wh
Bomba	1	400 w diarios	20 min	80 wh	560 wh

Plancha de vapor	1	1200 w 1 vez a la semana	2hr	2,400 wh	2,400 wh
Esquimera	1	200 w 4 días a la semana	5 min	10 wh	40 wh
Modem	1	50 w	día y noche	1,200 wh	8,400 wh
Focos fluorescentes	---	516.8 W c/u	3.45 hrs diarias	1,782.96 wh	12,480.72 wh
TOTAL				12,596.51 wh	

Tabla 20 Consumo energético modificado, eliminando el uso de ventilador y disminuyendo el uso de iluminación artificial. Fuente propia con información tomada de la tabla 9

Se realizó un análisis de costos con la ayuda del plano eléctrico y de instalación fotovoltaica (Anexo c) donde se obtuvo que la inversión aproximada de la instalación fotovoltaica es de \$ 29,593.77 pesos, este gasto está conformado del costo del arreglo fotovoltaico, cableado, inversor, conector, los centros de carga y la instalación del SFV (Tabla 21). Con la información de gasto monetario del usuario de 300 a 350 pesos bimestrales con respecto al consumo energético, se obtuvo que al término de 14 a 16 años el precio de instalación habrá sido solventado, obteniendo una ganancia en los próximos 9 a 11 años siguientes, tomando como referencia el mínimo de vida útil de un SFV de 25 años, mismo que puede aumentar con el debido mantenimiento y limpieza. Además de la ganancia hacia el medio ambiente por la producción de energía eléctrica sin la generación de ningún tipo de gas invernadero.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y COLOCACIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO DE 250W

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE	
PFV 250W	PZA	6	2199	13194	
				Subtotal	13194
MANO DE OBRA					
INSTALADOR	KW	1500	2.40	3600.00	
				Subtotal	3600.00
				Suma	16794.00
IMPREVISTOS	5%	1	839.70	839.70	
				TOTAL REAL	17633.70

SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y COLOCACIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO DE 165W

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
PFV 165W	PZA	3	1,785	5355
Subtotal				5355
MANO DE OBRA				
INSTALADOR	KW	495	2.40	1188.00
Subtotal				1188.00
Suma				6543.00
IMPREVISTOS	5%	1	327.15	327.15
TOTAL REAL				6870.15

SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y COLOCACIÓN DE INVERSOR

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
INVERSOR FRONIUS IG 2000	PZA	1	2365	2365
Subtotal				2365
IMPREVISTOS	5%	1	118.25	118.25
TOTAL REAL				2483.25

CABLE FLEX SOLAR, SUMINISTRO Y COLOCACIÓN

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
CABLE FLEX SOLAR ROJO AC	M	19.98	36.5	729.27
CABLE FLEX SOLAR NEGRO AC	M	19.98	36.5	729.27
Subtotal				1458.54
IMPREVISTOS	5%	1	72.93	72.93
TOTAL REAL				1531.47

CENTRO DE CARGA, SUMINISTRO Y COLOCACIÓN

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
CENTRO DE CARGA AC	PZA	1	139	139
Subtotal				139
IMPREVISTOS	5%	1	6.95	6.95
TOTAL REAL				145.95

INTERRUPTORES

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE	
ITM CD	PZA	1	145	145	
ITM AD	PZA	1	720	720	
				Subtotal	865
IMPREVISTOS	5%	1	43.25		43.25
				TOTAL REAL	908.25

CONECTOR MC4, SUMINISTRO Y COLOCACIÓN

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE	
CONCETOR MC4	PZA	1	20	20	
				Subtotal	20
IMPREVISTO	5%	1	1.00		1.00
				TOTAL REAL	21.00

COSTO TOTAL DEL CAPÍTULO: FOTOVOLTAICO				\$	29,593.77
---	--	--	--	----	-----------

Tabla 21 Análisis de costos del Sistema fotovoltaico propuesto. Fuente propia.

Capítulo VI. CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo general de crear una metodología para diseñar una vivienda bioclimática, para desarrollar edificaciones específicamente de uso residencial con un sistema fotovoltaico integrado a dicha construcción, para lograr, además de una armonía visual, generación de energía eléctrica y una disminución en el consumo energético.

La estrategia para llegar a dicho objetivo fue el seguimiento de dos consideraciones de la Agencia Internacional de Energía con respecto al “Reginoal Sustainable Energy Training Week for Latin America” donde; en la primera se presenta el uso de sistemas fotovoltaicos para poder ser integrados en la construcción con el fin de utilizar energías renovables para la generación de electricidad. Seguida de la propuesta de sistemas pasivos tanto de iluminación, ventilación y aislamiento para lograr una disminución del consumo energético total además del seguimiento de recomendaciones para un ahorro energético, de esta manera crear edificaciones estéticas y amigables con el medio ambiente.

Se desarrolló una investigación con respecto a temas de información general, funcionamiento y tipo de cubiertas fotovoltaicas, sobre sistemas pasivos de enfriamiento y calefacción, y por último sobre dimensionamiento energético de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red de electricidad, en donde se analizaron e identificaron los aspectos importantes proponiendo una metodología donde se determinaron las variables que influyen en la disminución del consumo energético desde el punto de vista arquitectónico. Gracias a esto se generaron propuestas de cubiertas tomando en cuenta todos los factores mencionados anteriormente como son asoleamiento, ventilación y aislamiento térmico.

Como último se llevó a cabo una evaluación con apoyo de un programa CAD en donde con ayuda de la metodología se generó una propuesta arquitectónica para un cliente en aleatorio, analizando ventilación, iluminación, aislamiento y sobre todo un dimensionamiento que cumpliera con los requisitos energéticos del usuario y además de integrarse formidablemente en la fachada de la edificación.

De esta manera y gracias a lo mencionado anteriormente se reafirma el cumplimiento del objetivo general.

6.1. APORTACIONES

En este trabajo presentado, se considera que se han desarrollado las siguientes aportaciones:

- Presentación de la influencia de temperatura y radiación en la potencia de salida de un panel fotovoltaico.
- Análisis de variantes entre valores obtenidos en el análisis de potencia de salida del panel, concluyendo que el primero debe ser empleado para sistemas autónomos y la segunda hacia sistemas interconectados a la red.
- Presentación de cálculo para un ángulo óptimo, para variaciones a lo largo del día, mismo que puede ser utilizado para la programación de sistemas fotovoltaicos seguidores.
- Nuevas propuestas de integración arquitectónica tomando en cuenta valores de estética, y aprovechamiento solar.
- Creación de edificios estéticos con integración edificación–sistema fotovoltaico.
- Ayudar a la creación de energía verde perfecta, con la utilización de sistemas fotovoltaicos y sistemas pasivos.
- Aprovechamiento de elementos constructivos para generar una propuesta de diseño con bajo consumo energético.
- El documento puede servir de apoyo para estudiantes, profesores y aquellas personas interesadas en conocer, aprender y generar propuestas de proyectos de edificaciones con requerimientos eléctricos, de estética, confort y bienestar, para reducir la demanda energética de viviendas.

6.2. TRABAJOS FUTUROS

El trabajo presentado como la aplicación de la propuesta metodológica queda abierto para verificación en una localidad que cumpla con las mismas características climatológicas, energéticas y mismas características con respecto a la inclinación del eje N-S, para obtener los resultados deseados.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar Padilla, M. A., Hernández Cárcamo, K. M., & Orellana Marroquín, J. A. (2009). *Propuesta Metodológica Para El Desarrollo*. Antiguo Cuscatlán: Universidad Dr. Jose Matias Delgado.
- Aguilar Padilla, M. A., Hernández Cárcamo, K. M., & Orellana Marroquín, J. A. (2011). *Instituto Universitario Del Estado De México*. Recuperado El 13 De Enero De 2018, De Educem:
<http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/06/ARQ/ADAP0000453.pdf>
- Alcionemx. (6 de Julio de 2017). *Sistemas fotovoltaicos interconectados a CFE*. Obtenido de Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=3iGz8i6AyU8>
- Álvarez García, G., & Dorantes Rodríguez, R. (junio de 2010). *Energía sustentable en edificios y casas*. Obtenido de Academia Mexicana de Ciencias Web Site:
https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/61_2/PDF/EnergiaCasas.pdf
- Álvarez Medina, M. L., & Georger, Jr, C. (2005). *Historia del Pensamiento Administrativo*. Atlacomulco, México: PEARSON EDUCACION.
- Avila, M. (6 de Marzo de 2014). *Arch Daily*. Obtenido de Arch Daily Web site :
<https://www.archdaily.mx/mx/02-341756/edificios-proteccion-solar-en-fachadas>
- Beltrán, Y. (2011). *Metodología del diseño Arquitectónico*. Pachuca, Hgo. México.
- Benedicto, E. (5 de Mayo de 2019). *Nuevas soluciones solares fotovoltaicas integradas en edificios*. Obtenido de EcoInventos: <https://ecoinventos.com/soluciones-solares-que-se-integran-en-las-fachadas/>
- Cardona Retrespo, G. (6 de 09 de 2011). Otros problemas con la energía eléctrica. *El universal*.
- CCEEA. (2019). *Solar App*. Obtenido de Alternas, Centro de Capacitación Eléctrica y Energías Wen Site: <https://ccea.mx/solar>
- CFE. (s.f.). *Tabla de consumo CFE*. Obtenido de Comision Federal de Electricidad Wb site: <https://www.conermex.com.mx/webinar/tabla-consumos-CFE.pdf>

- coradir. (2013). *CORADIR Corporation*. Obtenido de CORADIR S. A. :
https://descargasvps.coradir.com.ar/upload/folleto/folleto_panel_solar_250.pdf
- Deffis Caso, A. (1990). *La Casa Ecológica Autosuficiente Para Climas Cálido y Tropical*. México, D.F.: CONCEPTO S.A.
- Demófilo De Buen Rodríguez, O. (21 De Septiembre De 2016). *Resolución Por la que se modifican los valores de coeficiente global de transferencia de calor (K) de la Tabla 1.*. Obtenido de Gobierno de Mexico Sitio Web:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/187244/Resoluci_n_NOM-020-ENER-2011.pdf
- Diebel, J., Norda, J., & Kretchmer, O. (25 de Mayo de 2018). *Weather Spark*. Obtenido de Weatherspark Web site: <https://es.weatherspark.com/m/7371/6/Tiempo-promedio-en-junio-en-Huajuapán-de-Le%C3%B3n-México#Sections-Sun>
- Diego Alcubierre. (2016). *CEMAER*. Recuperado el 09 de 11 de 2017, de CEMAER:
<http://www.cemaer.org/energia-solar-en-mexico/>
- ECOLOGICA, E. (2017). *Calculo paneles solares para casas*. Recuperado el 08 de 01 de 2018, de ENERGIA ECOLOGICA: <http://energia-ecologica.com/energia-solar/calculo-paneles-solares-para-casas/>
- Ecotecnia. (2014). *Calculadora Solar*. Recuperado el 08 de 01 de 2018, de Ecotecnia:
<http://econotecnia.com/cuantos-paneles-solares-necesito.html>
- Eicker, U. (2003). *Solar Technologies for buildings*. England: Wiley.
- energía, A. I. (24 de Octubre de 2014). *Recomendaciones de Políticas de Eficiencia Energética Regionales*. Obtenido de Agencia Internacional de Energía Web site :
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/RecomendacionesdePolíticasdeEEnerg_Reg.pdf
- energy, L. (2014). *Lve energy corporation*. Obtenido de Lve Web site:
<https://www.lveenergy.com/index.html>
- Espada, B. (2016). *Energía solar ventajas y desventajas. Muy interesante.*
- Fonseca, X. (1991). *Medidas De Una Casa*. México: PAX, MÉXICO.
- Galvez De León, D. M. (2011). *Vivienda Autosostenible y autosuficiente del área urbana de Quetzaltenango*. Guatemala: Universidad de San Carlos Guatemala.

- Gevorkian, P. (2008). *Sola Power In Building Design*. United States of America: Copyright.
- Godoy, F. (25 de enero de 2017). *El problema de los edificios de vidrio en la ciudad*. Recuperado el 26 de Octubre de 2017, de ladera sur:
<http://www.laderasur.cl/reportajes/el-gran-problema-de-los-edificios-de-vidrio-en-la-ciudad/>
- iea. (2017). *International Energy Agency*. Recuperado el 26 de Octubre de 2017, de Recomendaciones de políticas de eficiencia energética regionales:
https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/RecomendacionesdePoliticadeEEnerg_Reg.pdf
- Industrial, E. T. (2006). Principios Fundamentales De Paredes Trombe Y Chimeneas Solares . En *Proyecto Fin De Carrera Curso* (Pág. 19).
- INEGI. (2014). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Villa de Zaachila, Oaxaca* . Obtenido de INEGI Sitio Web:
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/20/20565.pdf
- Kalogirou, S. (2009). *Solar energy engineering : processes and systems*. United States of America: Academic Press.
- Krick, E. V. (2012). *Introducción a la ingeniería y al diseño en la ingeniería*. Ciudad de México: LIMUSA.
- Lopez, S., & Lill, M. (2007). *Guía de integración fotovoltaica*. Madrid: Madrid Solar.
- Marquez, E. (12 de Mayo de 2017). *Energía Chile* . Obtenido de Energía Chile Web site: <https://energiaenchile.cl/nuevas-tejas-solares-vienen-con-garantia-infinita/>
- Medrano Aldana, A. C., & Soundv Pavés, C. C. (23 de Junio de 2009). *Universidad Dr. José Matias Delgado*. Recuperado el 13 de Enero de 18, de Red de biblioteca Matías:
<http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/06/ARQ/ADML0000938.pdf>
- Meléndez García, S. J. (2015). *Arquitectura Sustentable*. México: Irema, S. A. de C. V.
- Mendieta Melchor, E. (31 de Marzo de 2002). *Energía Solar y Arquitectura*. Obtenido de Revista UNAM: <http://www.revista.unam.mx/vol.3/num1/art2/index.html>
- Nasa. (Diciembre de 2013). *POWER Data Access Viewer*. Obtenido de Nasa Web site: <https://power.larc.nasa.gov/>

- Neira Artidiello, M. (2013). *Integración Arquitectónica de la Energía fotovoltaica*. España: Universidad de Oviedo.
- NOVACERAMIC. (s.f.). *FICHA TÉCNICA Vintex 12/12: INDUSTRIAS NOVACERAMIC*. Obtenido de INDUSTRIAS NOVACERAMIC Sitio Web: https://www.novaceramic.com.mx/CARAVISTA_LISOS_%20VIN1212.html
- PEDRAZA HINOJOSA, E. (9 de Agosto de 2011). *NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envoltente de edificios*. Obtenido de Gobierno del Estado Mexico: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/181660/NOM_020_ENER_2011.pdf
- Przyborski, P., & Levy, R. (19 de Abril de 2001). *earth observatory*. Obtenido de Nasa Web site: <https://www.earthobservatory.nasa.gov/images/1355/measuring-solar-insolation>
- Santana Ges, A. M. (19 de 04 de 2010). *Gestiopolis*. Obtenido de Problemática ambiental, crecimiento económico y avance tecnológico. Origen, debate actual y consecuencias: <https://www.gestiopolis.com/problematika-ambiental-crecimiento-economico-avance-tecnologico/>
- SEGOB. (09 de Agosto de 2011). *Diario oficial de la Federación*. Obtenido de Secretaría de Gobernación: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011
- Tesillo Sánchez, R. (2016). *Análisis De Sensibilidad Como Medio De Optimización En Sistemas Fotovoltaicos Interconectados A La Red*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma De México.
- Universidad Dr. José Matías Delgado*. (14 de Agosto de 2009). Recuperado el 13 de Enero de 19, de Red de biblioteca Matías: <http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/06/ARQ/ADAP0000453.pdf>
- VIDURSOLAR. (Febrero de 2007). *CORPORACION VIDURSOLAR*. Obtenido de VIDURSOLAR Web Site: <https://www.onyx-solar.com/documents/onyx-solar-soluciones-asi.pdf>
- Volt, D. (2010). *Delta Volt*. Recuperado el 08 de 01 de 2018, de Calculadora para Dimensionar Sistemas Solares Fotovoltaicos: <http://deltavolt.pe/calculo-solar>
- Yan, K. (1994). *Bioclimatic Skyscrapers*. Londres: Artemis, London.

ANEXOS

- A) Modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración a pequeña escala

CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA RENOVABLE O SISTEMA DE COGENERACION EN PEQUEÑA ESCALA QUE CELEBRAN, POR UNA PARTE LA COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD, DENOMINADA EN LO SUCESIVO EL **SUMINISTRADOR, Y POR LA OTRA _____, A QUIEN EN LO SUCESIVO SE DENOMINARA EL **GENERADOR**, REPRESENTADO POR _____ EN SU CARACTER DE _____, AL TENOR DE LAS SIGUIENTES DECLARACIONES Y CLAUSULAS.**

DECLARACIONES

I. Declara el **Suministrador** que:

- Es un organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio, que se rige por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento, y acredita tal carácter en los términos del artículo 8 de la citada **Ley**.
- Su representante, el señor _____ cuenta con todas las facultades necesarias para comparecer a la celebración del presente contrato, según consta en la Escritura Pública número _____ de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado _____, Notario Público número _____ de la ciudad de _____.
- Tiene su domicilio en _____, mismo que señala para todos los fines y efectos legales del presente **Contrato**.
- El presente **Contrato** es aplicable a todos los **Generadores** con **Fuente de Energía Renovable** y **Generadores** con **Sistema de Cogeneración** en Pequeña Escala con capacidad hasta de 30 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones inferiores a 1 kV, y que no requieren hacer uso del **Sistema** del **Suministrador** para portear energía a sus cargas.

II. Declara el **Generador** que:

- (Opción 1. persona física): Es una persona física que comparece por su propio derecho con capacidad jurídica para contratar y obligarse en términos del presente Contrato y se identifica con _____, expedida por _____, de fecha _____.
(Opción 2. persona moral): Es una sociedad mexicana, constituida de acuerdo con la Escritura Pública número _____ de fecha _____, pasada ante la fe del licenciado _____, Notario Público No. _____ de la ciudad de _____, e inscrita en el Registro Público de Comercio de _____ bajo el número _____.
Su representante _____, quien actúa con el carácter de _____, cuenta con todas las facultades necesarias para la celebración del presente contrato, según se desprende de la Escritura Pública No. _____ de fecha _____, pasada ante la fe del señor licenciado _____ Notario Público No. _____ de la ciudad de _____ e inscrita en el Registro Público de Comercio de _____ bajo el número _____].
- Tiene su domicilio en _____, mismo que señala para todos los fines y efectos legales de este **Contrato**.
- Se obliga a proporcionar al Suministrador, y según sea el caso, acreditar documentalmente con **Información Técnica**, que cuenta con equipo de cogeneración que cumple con los términos del artículo 36, fracción II, de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.

CLAUSULAS

PRIMERA. Objeto del **Contrato**. El objeto de este **Contrato** es realizar y mantener durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador** y la **Fuente de Energía Renovable** o el **Sistema de Cogeneración** en pequeña escala del **Generador**;

SEGUNDA. Definiciones. Los términos que aparecen en este **Contrato**, ya sea en el propio cuerpo o en cualquiera de sus anexos, con inicial mayúscula y negrillas tendrán el

significado que se les asigna en esta cláusula segunda. Dicho significado se aplicará al término tanto en singular como en plural.

- **Cogeneración.** Conforme a lo dispuesto en el artículo 36, fracción II, de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Contrato.** El presente **Contrato** para **Fuente de Energía Renovable** o **Sistema de Cogeneración** en pequeña escala incluyendo todos y cada uno de sus anexos.
- **Generador.** La persona física o moral que cuente con un equipo de generación eléctrica con **Fuente de Energía Renovable** o aquellas personas físicas o morales que cuenten con un Sistema de **Cogeneración en Pequeña Escala**.
- **Información Técnica:** Información suficiente con la que se deberá demostrar que se cuenta con equipo de cogeneración que se acreditará con copias de alguno de los siguientes documentos: factura, manuales del fabricante, diagramas de proceso, entre otros.
- **Fuente de Energía Renovable: Generadores** de energía renovable como se define en el artículo 3, fracción II, de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
- **Kilowatt hora (kWh).** Unidad convencional de medida de energía eléctrica.
- **Ley.** La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- **Parte.** El Suministrador de acuerdo a la **Ley** y la persona física o moral que suscribe el **Contrato**.
- **Sistema.** El Sistema Eléctrico Nacional propiedad del **Suministrador**.
- **Sistema de Cogeneración.** Dispositivos que en su conjunto producen energía eléctrica mediante **Cogeneración**.

TERCERA. Vigencia del **Contrato.** El presente **Contrato** surtirá sus efectos a partir de la fecha en que sea firmado por ambas **Partes** y tendrá una duración indefinida.

CUARTA. Terminación anticipada y rescisión. El presente **Contrato** podrá darse por terminado anticipadamente por cualquiera de las causas siguientes:

- a) Por voluntad del **Generador**, siendo requisito previo la notificación por escrito del **Generador** al **Suministrador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- b) Por necesidades del servicio, siendo requisito previo la notificación por escrito del **Suministrador** al **Generador** con anticipación no menor a treinta (30) días hábiles.
- c) Por acuerdo de las **Partes**.

El presente **Contrato** podrá rescindirse por contravención a las disposiciones que establece la **Ley**, su Reglamento y las demás disposiciones aplicables al **Contrato**, siempre y cuando dicha contravención afecte sustancialmente lo establecido en este **Contrato**.

Mientras no se rescinda el **Contrato**, cada **Parte** seguirá cumpliendo con sus obligaciones respectivas al amparo del mismo.

QUINTA. Entrega de energía por el **Generador.** El **Generador** se compromete a poner a disposición del **Suministrador** la energía producida por la **Fuente de Energía Renovable** o por el **Sistema de Cogeneración** en pequeña escala, y el **Suministrador** se compromete a recibirla hasta por un total igual a la energía asociada a la potencia de _____kW.

La potencia máxima a instalar dependerá del tipo de servicio, y no podrá ser mayor a lo siguiente:

Para usuarios con servicio de uso residencial: hasta 10 kW.

Para usuarios con servicio de uso general en baja tensión: hasta 30 kW.

SEXTA. Interconexión. Las inversiones necesarias para la construcción de las instalaciones o equipos que técnicamente sean necesarios serán a cargo del **Generador**.

Asimismo, estará a cargo del **Generador** cualquier modificación que sea necesario realizar a las instalaciones existentes para lograr la interconexión, mismas que, en su caso, realizará bajo la supervisión del **Suministrador** y previa autorización de éste.

Las instalaciones y equipos necesarios en el Punto de Interconexión así como los elementos de protección, requeridos para la conexión con el **Sistema** deberán cumplir con las especificaciones conducentes del **Suministrador** y las Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Las características de estas instalaciones y equipos serán las establecidas por el **Suministrador**.

SEPTIMA. Medición. Los medidores y los equipos de medición a ser usados para medir la energía entregada por el **Generador** al **Suministrador** y la que entregue el **Suministrador** al **Generador** serán instalados por el **Suministrador** a costa del **Generador**. Los medidores a instalar tendrán la capacidad de efectuar la medición neta (Net Metering) entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la energía eléctrica entregada por el **Generador** al **Suministrador**. En razón de ello, el **Generador** únicamente pagará la diferencia entre el costo del equipo necesario para realizar la medición neta y el costo del equipo

convencional que instalaría el **Suministrador** para la entrega de energía eléctrica que corresponda.

El **Generador** puede instalar y mantener a su propia costa, medidores y equipo de medición de reserva en el Punto de Interconexión adicionales a los mencionados en el párrafo anterior de esta cláusula, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas que tiene establecidas el **Suministrador** para ese propósito.

OCTAVA. Contrato de Suministro. El **Generador** se obliga a mantener vigente un contrato de suministro de energía eléctrica en la tarifa aplicable durante todo el tiempo que dure la interconexión de su fuente con la red del **Suministrador**.

NOVENA. Facturación y pagos. Para fines de facturación, el consumo de kWh del **Generador**, se determinará como la diferencia entre la energía eléctrica entregada por el **Suministrador** y la entregada por el **Generador** al **Suministrador**.

Cuando la diferencia sea negativa, se considerará como un crédito a favor del **Generador** que podrá ser compensado dentro del periodo de 12 meses siguientes. De no efectuarse la compensación en ese periodo, el crédito será cancelado y el **Generador** renuncia a cualquier pago por este concepto.

Cuando la diferencia sea positiva, se considerará como un crédito a favor del **Suministrador** y se facturará en la tarifa aplicable según el contrato mencionado en la cláusula octava.

DECIMA. El **Generador** se obliga a no intervenir ni modificar los equipos en sus instalaciones que están asociados a la desconexión de su fuente de energía, ni a los asociados a la desconexión de sus instalaciones de las instalaciones del **Suministrador**. En caso contrario, el **Generador** deberá responder de los daños y perjuicios que cause el **Suministrador**.

DECIMA PRIMERA. Lugar de pago. Todos los pagos se harán en moneda de curso legal en los Estados Unidos Mexicanos en las oficinas de atención al público del **Suministrador** o en las instituciones o medios que éste establezca.

DECIMA SEGUNDA. Supletoriedad. Para lo no establecido en el presente Contrato, se aplicarán las disposiciones del contrato de suministro de energía eléctrica mencionado en la cláusula octava así como lo dispuesto en las disposiciones jurídicas aplicables.

DECIMA TERCERA. Modificaciones. Cualquier modificación al presente **Contrato** deberá formalizarse por escrito y ambas **Partes** deberán suscribir el convenio correspondiente.

DECIMA CUARTA. Caso fortuito y fuerza mayor. Las **Partes** no serán responsables por el incumplimiento de sus obligaciones cuando el mismo resulte de caso fortuito o fuerza mayor.

DECIMA QUINTA. Cesión de derechos. El **Generador** tiene prohibida la cesión parcial o total de los derechos y obligaciones derivadas del presente **Contrato**, sin la previa autorización por escrito del **Suministrador**.

DECIMA SEXTA. Legislación y tribunales. El presente **Contrato** se rige e interpreta por las leyes federales de los Estados Unidos Mexicanos y, en particular, por la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica y su Reglamento. Las controversias que surjan del presente contrato serán competencia de los tribunales federales en la ciudad _____ y al efecto las partes renuncian al diverso fuero que pudiere corresponderles por razón de su domicilio u otras causas.

Este **Contrato** se firma en ___ ejemplares en la Ciudad de _____, el ___ de _____ de _____.

EL SUMINISTRADOR

EL GENERADOR

Las firmas y antefirmas que anteceden corresponden al **Contrato** celebrado entre _____
(el **Suministrador**) y _____ (el **Generador**).

- C) PROGRAMA DE ACTIVIDADES

Usuario principal: madre soltera Lunes – viernes

HORA	ACTIVIDAD
6:30 am	Despierta y toma un baño.
6:40 am	Plancha ropa para uso del día
6:40 – 7:00 am	Se arregla y maquilla
7:00 – 7:40 am	Acomoda cosas y sale a trabajar
7:00 pm	Regresa a casa
7:20 – 8:00 pm	Realiza tarea con su hijo
8:00 – 8:10 pm	Baña a su hijo
8:10 – 9:15 pm	Pasa tiempo con su hijo, juega, ve tele o películas.
9:15 – 9:30 pm	Se desmaquilla y cambia para dormir
9:30 – 10:30 pm	Va a dormir

Tabla 22 Programa de Actividades de usuario principal lunes a viernes

Sábado

HORA	ACTIVIDAD
7:00 am	Despierta y toma un baño.
7:15 am	Se maquilla
7:40 – 8:00 am	Acomodo de cosas y sale a escuela
12:00 pm	Regresa a casa
12:00 – 4:00 pm	Pasa tiempo con su hijo
4:00 pm	Sale a comer
6:00 pm	Regresa de comer
6:00 – 9:15 pm	Limpia, hace quehaceres
9:15 – 9:30 pm	Se desmaquilla y cambia para dormir
9:30 – 10:30 pm	Va a dormir

Tabla 23 Programa de Actividades de usuario principal madre soltera Sábado

Usuario principal: hijo de 4 años Lunes – viernes

HORA	ACTIVIDAD
7:00 – 8:00am	Despierta, se cambia y lo bañan.
8:00 am	Sale a almorzar con su abuela y después se va a la escuela.
12:30 am	Regresa a la casa
12:30 – 2:30 pm	Juega o ve tele
2:30 – 4:00 pm	Toma siesta
4:00 – 6:00 pm	Sale a comer con su abuela y después va a curso
6:15 pm	Regresa a casa
6:15 – 7:20 pm	Juega o ve la tele
7:20 – 8:00 pm	Realiza tarea
8:00 – 8:10 pm	Se baña
8:10 – 9:15 pm	Pasa tiempo con su mama
9:30 pm	Va a dormir

Tabla 24 Programa de Actividades de usuario principal hijo de 4 años lunes – viernes.

Sábado - domingo.

HORA	ACTIVIDAD
8:00 – 9:00 am	Despierta, se cambia y lo bañan.
9:00 am	Sale a almorzar con su abuela
11:00 am	Regresa a la casa
11:00 – 4:00 pm	Juega
4:00 – 5:00 pm	Sale de casa y va a comer
5:15 pm	Regresa
6:15 – 9:30	Juega, tiempo libre
9:30	Va a dormir

Tabla 25 Programa de Actividades usuario principal hijo de 4 años. Sábado – Domingo.

- D) PLANOS ARQUITECTÓNICOS