

POTENCIAL DE AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO A TRAVÉS DE CUBIERTAS CON CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA EN EDIFICIOS MULTIFAMILIARES DE MEDIANA ALTURA

CASO DE ESTUDIO: EDIFICIO PINAR DE LAGO I

UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Carrera de Arquitectura

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autores:

Paula Verónica Flores Chafra

Daniel Alejandro Pesántez Peñafiel

Director:

Arq. Phd. Esteban Felipe Zalamea León

Cuenca - Ecuador

06 de febrero del 2020



UNIVERSIDAD DE CUENCA
Facultad de Arquitectura y Urbanismo
Carrera de Arquitectura

**Potencial de autoabastecimiento energético a través de
cubiertas con captación solar activa en edificios multifamiliares
de mediana altura. Caso de estudio: edificio Pinar de Lago I**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Arquitecto

Autores:

Paula Verónica Flores Chafra
C.I. 010592206-6
paulaflores15@hotmail.com

Daniel Alejandro Pesántez Peñafiel
C.I. 010410844-4
alejandropp1@hotmail.com

Director:

Arq. Phd. Esteban Felipe Zalamea León
C.I. 010212595-2

Cuenca - Ecuador
06 de febrero del 2020



RESUMEN

La investigación tuvo como propósito proyectar cubiertas con captación solar activa fotovoltaica en un edificio multifamiliar de mediana altura, analizando tecnologías para diferentes niveles de integración arquitectónica, con capacidad de autoabastecimiento energético y reducción de emanaciones de CO_2 . Bajo esta premisa se tomó como caso de estudio el condominio Pinar del Lago I, edificio multifamiliar representativo. Para ello se revisó bibliografía y recolectó información en sitio, estableciéndose así parámetros teóricos que permitieron analizar escenarios acordes al nivel de ocupación actual y máxima del edificio ante la posible capacidad de autoabastecimiento. La información se obtuvo de lecturas de consumos desde medidores con resolución cuarto horaria, planillas de consumo eléctrico y registro de la demanda de GLP desde encuestas. El estudio aplicó herramientas informáticas como ArchiCad, Ecotec y SAM, para la ejecución de simulaciones de irradiaciones y rendimiento eléctrico. Se evidenció la factibilidad de incorporar tecnologías fotovoltaicas como placas de sílice monocristalino, paneles sin contactos metálicos entre células y tejas fotovoltaicas. Con una superficie de $338,4\text{m}^2$ de paneles de sílice monocristalino, se prevé una

producción de $66.585,31\text{kWh}$ anual, logrando abastecer entre $101,2\%$ a $26,4\%$, de la demanda actual en el primer caso y la máxima esperada, la cual incluye una ocupación total de habitantes, autos eléctricos y conversión de las demandas actualmente cubiertas por combustibles a tecnología eléctrica; reduciendo hasta $49,3\text{t}$ de emisiones de CO_2 por año. Finalmente, se estudió el impacto arquitectónico y período de amortización de las distintas tecnologías, estableciéndose la mejor opción según criterios económicos, de integración y eficiencia.

Palabras clave:

Edificio multifamiliar. Fotovoltaicos. BIPV. BAPV. Energías renovables. Energía solar.



ABSTRACT

The purpose of the research was to develop an active solar collection roof in a medium-rise multi-family building, analyzing technologies for different levels of architectural integration, with the capacity for self-sufficiency and reduction of CO₂ emissions. Under this premise, the Pinar del Lago, a representative multifamily building, was taken as a case study. For this, bibliography was reviewed and information was collected on site, to establish theoretical parameters that allowed us to analyze scenarios according to the current and maximum occupancy level of the building due to the possible self-supply capacity. The information was collected from consumption readings from meters with quarter hour resolution, electricity consumption forms and PLG demand record from surveys. The study applied several computer tools such as ArchiCad, Ecotec and SAM, for the execution of irradiation and electrical performance simulations. The feasibility of incorporating photovoltaic technologies was evident, monocrystalline silica panels, plates without metal contacts between cells and photovoltaic tiles. With an area of 338.4m² of monocrystalline silica panels, an annual production of 66,585.31kWh is expected, providing 101.2% to 26.4% of the current demand in the first case

and the maximum expected, which includes a total occupation of habitants, electric cars, demands that are currently covered by fuels that were converted to electrical technology; reducing up to 49.3t of CO₂ emissions per year. Finally, the architectural impact and amortization period of the different technologies were studied, in order to establish the best option according to economic, integration and efficiency criteria.

Keywords:

Multifamily building. Photovoltaics. BIPV. BAPV. Renewables energys. Solar energy.



TABLA DE CONTENIDOS

Abreviaturas	17
Cláusulas de licencia	18
Cláusulas de propiedad intelectual	20
Dedicatoria	23
Agradecimiento	25
Introducción	27

CAP. 1

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problemática	31
1.2 Hipótesis	39
1.3 Objetivos	40
1.3.1 Objetivo General	40
1.3.2 Objetivos Específicos	40
1.4 Metodología	41

CAP. 2

ESTADO DE ARTE

Introducción	49
2.1 Normativas, acuerdos internacionales y nacionales en materia de energías alternativas	50
2.2 Estrategias pasivas y activas de diseño	56
2.3 Sistema de captación solar activa PV	60

2.4 Criterios estéticos, funcionales y constructivos de tecnología solar PV en arquitectura	73
2.4.1 Incorporación de paneles PVs en el diseño de edificios	74
2.5 Casos de estudio	77
2.5.1 Investigaciones internacionales en edificios multifamiliares	77
2.5.2 Investigación local	91
2.6 Descripción de tecnologías para simulación utilizadas	92
2.7 Conclusiones del capítulo	95

CAP. 3

EDIFICIO PINAR DE LAGO I: SITUACIÓN ACTUAL

Introducción	99
3.1 Análisis del contexto de implantación	100
3.1.1 Ubicación	100
3.1.2 Análisis Bioclimático	100
3.1.3 Contexto	104
3.1.4 La Edificación	106
3.2 Caracterización y determinación geométrica de techo	109
3.3 Evaluación del estado constructivo	110
3.4 Estudios de sombra y recorrido solar	111
3.4.1 Solsticios	112
3.4.2 Equinoccios	115
3.4.3 Resultados	115



3.5 Caracterización de consumos y demandas energéticos del edificio	119
3.5.1 Consumo energético actual	120
3.5.2 Demanda energética con capacidad habitacional máxima.....	129
3.5.3 Consumo energético con incorporación de vehículos eléctricos	131
3.6 Conclusiones del capítulo	132

CAP. 4

PROPUESTA DE REDISEÑO, SIMULACIONES Y RESULTADOS

Introducción	137
4.1 Rediseño de cubierta con tecnologías BAPV Y BIPV	138
4.1.1 Panel de sílice monocristalino (BAPV).....	139
4.1.2 Panel PV sin contactos metálicos entre células (BIPV)	147
4.1.3 Tejas fotovoltaicas (BIPV)	152
4.1.4 Impacto estructural de las tecnologías (BAPV-BIPV) en la cubierta.	157
4.2 Simulación de rendimientos fotovoltaicos BIPV y BAPV.....	158
4.2.1 Producción - consumo promedio mensual por año del edificio.....	158
4.2.2 Producción anual y mensual por faldón.....	162
4.2.3 Producción - demanda promedio diaria y horaria	164

4.2.4 Producción - demanda en días característicos y extremos	165
4.3 Implicaciones Arquitectónicas	170
4.4 Análisis financiero	180
4.5 Conclusiones del capítulo	185

CAP. 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones	191
5.2 Recomendaciones	194

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	195
---	-----

ANEXOS	206
---------------------	-----



ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPÍTULO 1

Imagen 1.01: Perspectiva demográfica mundial	31
Imagen 1.02: Emisiones de CO ₂ América Latina 2014	31
Imagen 1.03: Emisiones de CO ₂ América Latina 2019	32
Imagen 1.04: Consumo energético por sector en Ecuador, 2016	33
Imagen 1.05: Capacidad acumulativa de energía solar PV	34
Imagen 1.06: Edificio multifamiliar de mediana altura Pinar del Lago I	38
Imagen 1.07: Medidor cuarto horario A1800 ALPHA Meter	41
Imagen 1.08: Modelado 3D en ArchiCad 22	42
Imagen 1.09: Modelo importado con proyección de sombras	42
Imagen 1.10: Localización del fichero climático	43
Imagen 1.11: Especificaciones de la tecnología BAPV	43
Imagen 1.12: Selección del fichero climático de Cuenca	44

CAPÍTULO 2

Imagen 2.01: Red eléctrica inteligente Smart Grid	52
Imagen 2.02: Balance Neto de Energía	54
Imagen 2.03: Zonas climáticas	55
Imagen 2.04: Estrategias pasivas y activas de diseño	57
Imagen 2.05: Energía solar grid - tied	58
Imagen 2.06: Colector solar de tubo de vacío	59
Imagen 2.07: Primer módulo PV por Laboratorios Bell	60
Imagen 2.08: Efecto fotovoltaico	60
Imagen 2.09: Elementos de un sistema fotovoltaico	61
Imagen 2.10: Panel solar fotovoltaico	62

Imagen 2.11: Conexión en paralelo y en serie de paneles fotovoltaicos	64
Imagen 2.12: Ilustración de un sistema fotovoltaico independiente con inversor	65
Imagen 2.13: Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica	65
Imagen 2.14: Punto de conexión recomendado con generación fotovoltaica distribuida	66
Imagen 2.15: Prototipo presentado al Solar Decathlon Europe 2012 (Cubierta BAPV)	67
Imagen 2.16: Ejemplo de casa con cubierta BIPV	67
Imagen 2.17: Superposición en cubierta inclinada	68
Imagen 2.18: Ejemplo de tejas solares fotovoltaicas	68
Imagen 2.19: Lucernario de la planta Isofotón; Málaga	68
Imagen 2.20: Revestimiento fotovoltaico en fachada	68
Imagen 2.21: Ejemplo de Fachada fotovoltaica utilizando módulos semitransparentes	69
Imagen 2.22: Ejemplo de elementos PV con sombreado en fachada Solornova	69
Imagen 2.23: Posibilidades de colocación de colectores en edificación	70
Imagen 2.24: Tejas fotovoltaicos sobre cubierta	70
Imagen 2.25: Estación de Bomberos en Houten, Países Bajos. Paneles transparentes han sido fijados en el techo curvado	73
Imagen 2.26: Pasillo interior del centro de información ambiental "De Kleine Aarde en Boxtel", Países Bajos. La instalación fotovoltaica contribuye al interior atractivo	73
Imagen 2.27: Bolzano, Edificio montaje de paneles solares sobre pared, integración arquitectónica	74
Imagen 2.28: Energía solar fotovoltaica en colegios y universidades: Colegio Alianza Francesa Chamisero	74
Imagen 2.29: Museo de los Niños, Roma, Italia, con un sistema fotovoltaico integrado	

en la protección solar.....	75
Imagen 2.30: Casas de estilo histórico en el Parque de Investigación Nacional de Inicio en Bowie, Maryland, EE.UU	75
Imagen 2.31: Proyecto 13MW en Amersfoort Nieuwland, Países Bajos. Sistemas fotovoltaicos añadidos visiblemente	76
Imagen 2.32: Instituto Suizo EMPA integración de sistemas fotovoltaicos en fachada en combinación con el movimiento del sol	76
Imagen 2.33: Proyecto 5MW en Langedijk, Países Bajos, casas con un gran techo que se encuentra totalmente cubierto de módulos PVs, sin perforaciones de drenaje	76
Imagen 2.34: Cubiertas provistas de una construcción de acero que se ajusta sobre las casas	76
Imagen 2.35: Edificio Kraftwerk B junto a la iglesia Sebastián	77
Imagen 2.36: Paneles PVs y CSTs en el edificio.....	77
Imagen 2.37: Caso de estudio Messequartier Graz - Austria.....	78
Imagen 2.38: Fachada frontal de la edificación	78
Imagen 2.39: Esquema de ingeniería Kraftwerk B.....	80
Imagen 2.40: Caso de estudio Järvenpää Zero Energy House, vista frontal	80
Imagen 2.41: Järvenpää Zero Energy House, vista lateral	80
Imagen 2.42: Caso de estudio Järvenpää Zero Energy House, vista área	81
Imagen 2.43: Caso de estudio Caso de estudio Social housing complex in Graz-Liebenau Austria	82
Imagen 2.44: Fachada Social housing complex in Graz-Liebenau Austria.....	82
Imagen 2.45: Energía total usada previo a la remodelación	83
Imagen 2.46: Indicadores de energía en calefacción de espacios de inmueble ...	83
Imagen 2.47: Paneles PVs instalados en el edificio.....	84
Imagen 2.48: Alessandria Photovoltaic Village, vista aérea.....	84

Imagen 2.49: Sistema modular, paneles PVs instalados en la fachada de edificio de Alessandria	85
Imagen 2.50: Centro social equipado con PV.....	85
Imagen 2.51: Edificios comunidad Kleehäuseran	85
Imagen 2.52: Fachada norte edificios Kleehäuseran	85
Imagen 2.53: PVs sobre cubierta edificios Kleehäuseran	86
Imagen 2.54: Estado actual edificio residencial año 1909.....	87
Imagen 2.55: Estado actual edificio residencial año 1972.....	87
Imagen 2.56: Transformación de fachadas de edificios.	88
Imagen 2.57: Irradiación anual de edificaciones.	89
Imagen 2.58 Cubierta propuesta para la industria Graiman	91
Imagen 2.59: Ejemplo placas de sílice en vivienda patrimonial	91
Imagen 2.60: Modelo 3D en entorno de Archicad (Windows).....	92
Imagen 2.61: Selección de motor de render en Archicad (IOS)	92
Imagen 2.62: Análisis y visualización de sombras con Ecotect	93
Imagen 2.63: Selección de colores de sombras en Ecotect.....	93
Imagen 2.64: Selección de modelo tecnológico y financiero	94
Imagen 2.65: Formas de visualización de resultados	94
Imagen 2.66: Retoque de imagen.....	94
Imagen 2.67: Corrección de imagen, Photoshop	94

CAPÍTULO 3

Imagen 3.01: Ubicación del edificio Caso de estudio	100
Imagen 3.02: Temperatura (°C), 2016	101
Imagen 3.03: Humedad Relativa (%), 2016	101

Imagen 3.04: Radiación solar directa, difusa y global (kWh/m ² /día), 2016.....	102
Imagen 3.05: Velocidad del viento (m/s), 2016	103
Imagen 3.06: Precipitaciones (mm), 2016.....	103
Imagen 3.07: Vista frontal del contexto del edificio Pinar del Lago I	104
Imagen 3.08: Vista posterior del contexto del edificio Pinar del Lago I	105
Imagen 3.09: Elevación frontal edificio multifamiliar Pinar de Lago I	106
Imagen 3.10: Elevación posterior edificio multifamiliar Pinar de Lago I.....	106
Imagen 3.11: Elevación lateral izquierda edificio multifamiliar Pinar de Lago I.....	107
Imagen 3.12: Elevación lateral derecha edificio multifamiliar Pinar de Lago I	107
Imagen 3.13: Emplazamiento del edificio multifamiliar	108
Imagen 3.14: Edificio multifamiliar Pinar de Lago I.....	108
Imagen 3.15: Acceso a los parqueaderos del Edificio	108
Imagen 3.16: Cubierta del edificio multifamiliar	108
Imagen 3.17: Planta de cubiertas del edificio multifamiliar Pinar de Lago I.....	109
Imagen 3.18: Estructura de cubierta Pinar de Lago I	110
Imagen 3.19: Análisis de sombras del edificio y su entorno	111
Imagen 3.20: Representación de sombras - solsticio de invierno 21 de junio (planta y 3D).....	113
Imagen 3.21: Representación de sombras - solsticio de verano 21 de diciembre (planta y 3D)	114
Imagen 3.22: Representación de sombras - equinoccio 20 de marzo (planta y 3D).....	116
Imagen 3.23: Representación de sombras - equinoccio 23 de septiembre (planta y 3D).....	117
Imagen 3.24: Consumo eléctrico anual (2018) del edificio	122
Imagen 3.25: Consumo eléctrico promedio horario del edificio acorde a día de la	

semana (general).....	125
Imagen 3.26: Consumo eléctrico promedio horario por semana del edificio detallado	126
Imagen 3.27: Consumo existente vs Demanda máxima.....	130

CAPÍTULO 4

Imagen 4.01: Clasificación de faldones según ángulo Azimut.....	138
Imagen 4.02: Paneles monocristalinos distribuidos en techumbre	139
Imagen 4.03: Elevación lateral derecha con paneles monocristalinos distribuidos en techumbre	140
Imagen 4.04: Elevación frontal con paneles monocristalinos distribuidos en techumbre	140
Imagen 4.05: Perspectiva con paneles monocristalinos distribuidos en techumbre	140
Imagen 4.06: Detalle constructivo con paneles de sílice monocristalino de 60 celdas.....	142
Imagen 4.07: Detalle constructivo (D01) paneles de sílice monocristalino de 60 celdas.....	142
Imagen 4.08: Sistema constructivo con paneles de sílice monocristalino de 60 celdas.....	143
Imagen 4.09: Anclaje de estructura de paneles a envigado de la edificación	144
Imagen 4.10: Detalle de anclaje de estructura para paneles.....	145
Imagen 4.11: Gancho salvateja, unión y dimensiones	145
Imagen 4.12: Soportes y unión del perfil de aluminio	146
Imagen 4.13: Detalle de anclaje de estructura para paneles.....	146
Imagen 4.14: Paneles sin contactos metálicos distribuidos en techumbre	147

Imagen 4.15: Elevación lateral derecha con paneles sin contactos metálicos distribuidos en techumbre	148
Imagen 4.16: Elevación frontal con paneles sin contactos metálicos distribuidos en techumbre	148
Imagen 4.17: Perspectiva con paneles sin contactos metálicos distribuidos en techumbre	148
Imagen 4.18: Montaje horizontal de tableros de madera	149
Imagen 4.19: Incorporación de capas impermeabilizantes	149
Imagen 4.20: Colocación de perfiles de aluminio	149
Imagen 4.21: Disposición de paneles sin contactos metálicos	149
Imagen 4.22: Detalle constructivo con paneles de sílice monocristalino de 60 células.....	150
Imagen 4.23: Detalle constructivo (D02) PVs sin contactos metálicos.....	150
Imagen 4.24: Unión de perfiles de aluminio	151
Imagen 4.25: Sistema constructivo con paneles sin contactos metálicos entre células	151
Imagen 4.26: Tejas PVs distribuidas en techumbre.....	152
Imagen 4.27: Perspectiva con tejas PVs distribuidas en techumbre	153
Imagen 4.28: Elevación frontal tejas PVs distribuidas en techumbre	153
Imagen 4.29: Elevación lateral derecha con tejas PVs distribuidas en techumbre	153
Imagen 4.30: Machiembado de madera $\frac{3}{4}$ "x6" sobre vigas de cubierta	154
Imagen 4.31: Colocación barrera de vapor, film poliestileno 100 micrones	154
Imagen 4.32: Tendidos de listones y tirantes de madera sobre cubierta	154
Imagen 4.33: Tendido de placas de poliestireno expandido e=2cm entre tirantes	154
Imagen 4.34: Detalle constructivo tejas PVs.....	155
Imagen 4.35: Detalle constructivo (D03) tejas PVs	155

Imagen 4.36: Montaje de machiembado de madera $\frac{3}{4}$ "x6"	156
Imagen 4.37: Tendido de tejas tesla sobre tirantes de cubierta	156
Imagen 4.38: Sistema constructivo con tejas PVs	156
Imagen 4.39: Consumo y producción energética del edificio.....	160
Imagen 4.40: Comparación Demanda - Producción.....	161
Imagen 4.41: Producción PV anual del edificio por faldón, según tecnología PV ..	163
Imagen 4.42: Producción anual de paneles de sílice monocristalino por faldón... ..	164
Imagen 4.43: Producción horaria anual del edificio, según tecnología PV	166
Imagen 4.44: Producción vs consumo eléctrico horario en días extremos identificados (general).....	168
Imagen 4.45: Impacto visual a la altura del observador.....	171
Imagen 4.46: Edificio Pinar del Lago con paneles sin contactos metálicos en la cubierta. Fotografía tomada desde la calle De las Higuierillas (P1)	172
Imagen 4.47: Integración de paneles sin contactos metálicos en la cubierta. Fotografía tomada desde el parque Virgen del Milagro (P2)	172
Imagen 4.48: Integración de paneles de sílice monocristalino en la cubierta del edificio. Fotografía tomada desde el parque Virgen del Milagro (P3).....	172
Imagen 4.49: Apreciación de paneles sin contactos metálicos entre células. Fotografía tomada desde la calle Paseo 3 de Noviembre (P4)	173
Imagen 4.50: Integración de paneles de sílice monocristalino en la cubierta. Fotografía tomada desde la calle Paseo 3 de Noviembre (P4)	173
Imagen 4.51: Fotomontaje de tejas PV en la cubierta del edificio. Fotografía tomada desde la calle Paseo 3 de Noviembre (P4)	173
Imagen 4.52: Apreciación de tejas PV en la cubierta del edificio. Fotografía tomada desde la calle Paseo 3 de Noviembre (P5)	174
Imagen 4.53: Fotomontaje de perspectiva área suroeste de paneles de sílice monocris-	

talino	175
Imagen 4.54: Perspectiva frontal con paneles de sílice monocristalino	176
Imagen 4.55: Perspectiva noreste con paneles de sílice monocristalino	176
Imagen 4.56: Perspectiva frontal con paneles sin contactos metálicos entre células.....	176
Imagen 4.57: Perspectiva suroeste con paneles metálicos sin contactos entre células.....	176
Imagen 4.58: Fotomontaje de perspectiva aérea noreste de paneles sin contactos metálicos entre células P-19.....	177
Imagen 4.59: Fotomontaje de perspectiva frontal con tejas PV	178
Imagen 4.60: Perspectiva frontal con tejas PV	179
Imagen 4.61: Perspectiva suroeste con tejas PV	179
Imagen 4.62: Flujo de caja tecnologías (BAPV - BIPV con subsidio)	183
Imagen 4.63: Flujo de caja tecnologías BAPV - BIPV (sin subsidio)	184



ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.01: Producción de energía bruta por tipo de central	32
--	----

CAPÍTULO 2

Tabla 2.01: Estrategias de diseño pasivo.....	56
Tabla 2.02: Tipos de celdas fotovoltaicas y su eficiencia	63
Tabla 2.03: Consumo de energía primaria.....	79
Tabla 2.04: Uso y consumo de energía final	81
Tabla 2.05: Producción de electricidad PV	86
Tabla 2.06: Cuadro de resumen casos de estudio	90

CAPÍTULO 3

Tabla 3.01: Porcentaje de sombra por faldón según solsticios y equinoccios	112
Tabla 3.02: Sombras en faldones según hora	118
Tabla 3.03: Consumo eléctrico anual (2018) del edificio	119
Tabla 3.04: Consumo eléctrico anual (2018) del edificio	121
Tabla 3.05: Consumo eléctrico promedio diario por semana del edificio	124
Tabla 3.06: Demanda de GLP del edificio	127
Tabla 3.07: Análisis comparativo cocina tradicional vs cocina de inducción	128
Tabla 3.08: Tarifa eléctrica residencial	129
Tabla 3.09: Consumo - demanda energética 2019.....	130

CAPÍTULO 4

Tabla 4.01: Características de faldones.....	138
Tabla 4.02: Consumo, demanda y producción energética del edificio, (sin inclusión de EVs)	159
Tabla 4.03: Consumo, demanda y producción energética del edificio, (sin inclusión de EVs)	162
Tabla 4.04: Porcentaje de autoabastecimiento en días críticos.....	168
Tabla 4.05: Resumen de características por tecnología PV	169
Tabla 4.06: Costos de inversión tecnologías BIPV - BAPV	182



ABREVIATURAS

ACS	Agua caliente sanitaria	EE	Eficiencia energética	OMM	Organización Meteorológica Mundial
ANE	Agencia Nacional de Energía	ERs	Energías renovables	ONU	Organización de las Naciones Unidas
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad	FIT	Feed in Tariff	NZEB	Net Zero Energy Building
BAPV	Building Attached Photovoltaic	GEI	Gases de efecto invernadero	OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
BID	Banco Interamericano de Desarrollo	GLP	Gas licuado de petróleo	PDOT	Plan de Ordenamiento Territorial
BIPV	Building Integrated Photovoltaic	ICES	Índice de Ciudades Emergentes y Sostenibles	PLANEE	Plan Nacional de Eficiencia Energética
CELEC EP	Corporación Eléctrica del Ecuador	IEA	Agencia Internacional de Energía	PV	Fotovoltaico
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y el Caribe	INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos	ST	Solar térmico
CNEL EP	Corporación Nacional de Electricidad	INPC	Instituto Nacional de Patrimonio Cultural	STa	Solar térmico con fluido aire
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad	IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático	TIC	Tecnologías de Información y Comunicación
CO ₂	Dióxido de Carbono	MICSE	Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos	UE	Unión Europea
CST	Colector solar térmico				



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Paula Verónica Flores Chafra, en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Potencial de autoabastecimiento energético a través de cubiertas con captación solar activa en edificios multifamiliares de mediana altura. Caso de estudio: edificio Pinar de Lago I”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 6 de febrero de 2020



Paula Verónica Flores Chafra

C.I: 0105922066

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Daniel Alejandro Pesántez Peñafiel, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Potencial de autoabastecimiento energético a través de cubiertas con captación solar activa en edificios multifamiliares de mediana altura. Caso de estudio: edificio Pinar de Lago I", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 6 de febrero de 2020



Daniel Alejandro Pesántez Peñafiel

C.I: 0104108444



Cláusula de Propiedad Intelectual

Paula Verónica Flores Chafra, autora del trabajo de titulación "Potencial de autoabastecimiento energético a través de cubiertas con captación solar activa en edificios multifamiliares de mediana altura. Caso de estudio: edificio Pinar de Lago I", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autora.

Cuenca, 6 de febrero de 2020

Paula Verónica Flores Chafra

C.I: 0105922066

Cláusula de Propiedad Intelectual

Daniel Alejandro Pesántez Peñafiel, autor del trabajo de titulación "Potencial de autoabastecimiento energético a través de cubiertas con captación solar activa en edificios multifamiliares de mediana altura. Caso de estudio: edificio Pinar de Lago I", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 6 de febrero de 2020



Daniel Alejandro Pesántez Peñafiel

C.I: 0104108444

DEDICATORIA

A mi familia y amigos por el apoyo brindado durante la carrera y la elaboración de este trabajo de titulación.

Paula Verónica

A mi familia, en especial a mi madre Rocío Peñafiel la persona más importante de mi vida, mi pilar principal, fuente de sabiduría y enseñanzas por no dejar de confiar en mi y brindarme su apoyo incondicional en toda etapa de mi vida, a Mercedes Calle, que sé que en cualquier lugar del universo que se encuentre se sentiría muy orgullosa y feliz con este logro, al Dr. Jaime Peñafiel por su apoyo y paciencia.

A mis amigos por brindarme siempre su apoyo y ánimos durante la etapa de realización de este trabajo de titulación.

Daniel Alejandro

AGRADECIMIENTO

A nuestro director Arq. Esteban Zalamea por su paciencia y apoyo, quien con empeño y dedicación supo guiarnos con profesionalismo a lo largo de la elaboración del presente trabajo de titulación.

Al personal administrativo del Edificio Pinar del Lago I por la información facilitada y a la Empresa Regional Centro Sur por su cooperación en la instalación de equipos de medición.

A nuestra familia y amigos, por su cariño, motivación y apoyo incondicional.



INTRODUCCIÓN

Actualmente, la problemática energética mundial obliga a la búsqueda de medidas de eficiencia energética (EE) para alcanzar ciudades y edificaciones eficientes, considerando el impacto negativo que ha tenido en la naturaleza la utilización de recursos fósiles en la obtención energética. Es por esto que, la inclusión de alternativas de autoabastecimiento energético en las propias edificaciones es necesario. En tal sentido, es incuestionable que el sol, como fuente energética es un recurso gigantesco, especialmente en zonas de latitudes ecuatoriales (Gook-hwan & Eximbank, 2013).

En Ecuador, el 60% de la energía eléctrica que se utiliza es de fuentes renovables y el 40% de origen termoeléctrico. Del 60%, solamente el 2% proviene de sistemas alternativos como energía eólica, solar y biomasa (ARCONEL, 2017); mientras que el 58% restante proviene de centrales hidroeléctricas. Según el "Plan Maestro de Electricidad 2016-2025" (MEER, 2017), para el 2017 se esperaba que más del 93% de la energía eléctrica, fuera generada por hidroeléctricas. Lo cual no sucede, debido a la demora en la construcción de proyectos que están en procesos de desarrollo. Además, vale agregar que es necesaria la diversificación

de fuentes energéticas, considerando que la predominancia de una de estas, conlleva problemas como la intermitencia y racionamiento de los servicios eléctricos, sucesos vividos en años pasados en épocas de estiaje, entre otros.

Sin embargo, en Ecuador se busca el desarrollo del país, así como la mejora del desempeño ambiental en sus políticas, procurando en todo momento entablar provechosas relaciones hombre-naturaleza. Por ello, para contribuir con el desarrollo de la nación y mitigar los estragos del calentamiento global y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI, en adelante) que se producen en la región, es necesario investigar fuentes de energía alternativas, para la autogeneración de electricidad, como es el caso de la energía solar, la cual cuenta con potencial enorme en la zona, dada la estratégica ubicación geográfica con que cuenta el país, lo que se traduce en "alta y constante irradiación" (INER, 2014).

En este contexto, Cuenca muestra un elevado consumo energético con base de combustibles fósiles, siendo apenas el 10% proveniente de electricidad (Barragán, 2018). En tal sentido, la presente in-

vestigación pretende desarrollar una cubierta de captación solar activa en un edificio multifamiliar de mediana altura en la ciudad, es decir, aprovechar energía solar a través de sistemas mecánicos (Ver Apartado 2.2) en edificaciones que presentan entre 4-5 y 9-10 pisos (TA&A, 2019), determinándose así criterios de integración que maximicen la capacidad de autogeneración, reduzcan emisiones contaminantes y la dependencia de fuentes no renovables, para lo cual se plantea el uso de energía solar para obtener electricidad y calor, sin tener que recurrir a ningún tipo de combustión, lo que disminuiría la emisión de gases contaminantes a la atmósfera y por ende mejoraría la relación del ser humano con el entorno natural.

Para esto el estudio que se presenta, se desarrolla en cinco capítulos a saber: el Capítulo I, donde se hace el planteamiento de la problemática, el estado del arte sobre el cual se posiciona la investigación, la hipótesis, los objetivos planteados y la metodología aplicada.

El capítulo II, dedicado a la captación solar activa en edificaciones, principalmente multifamiliares desarrollo de investigación internacional y local,

en el cual se despliegan aspectos relacionados directamente con los acuerdos y normas de países desarrollados e incluso nacionales en materia de captación de energía, estrategias pasivas de diseño, tecnologías de recolección solar activa, los sistemas de captación solar activa fotovoltaica (PV, en adelante), sistemas conectados a la red, criterios estéticos, funcionales y constructivos de tecnología solar PV en arquitectura, así como el análisis de algunos casos de estudio que ilustran acertadamente la temática, la metodología utilizada y las conclusiones sobre el apartado.

El capítulo III, dedicado a la descripción del Edificio Multifamiliar Pinar del Lago 1, da a conocer la situación actual, destacando el análisis del contexto de implantación, la caracterización y determinación geométrica del techo, la identificación de consumos y demandas energéticas del edificio, la evaluación del estado constructivo y las conclusiones correspondientes al acápite.

El Capítulo IV, contiene la propuesta de rediseño, simulaciones y resultados, desglosando la descripción de tecnología para la simulación utilizada, la simulación del rendimiento fotovoltaico BIPV y

BAPV, el rediseño de la cubierta con tecnología acorde a resultados energéticos, la propuesta constructiva, el análisis de amortización de cada sistema y las conclusiones pertinentes.

Por último, el Capítulo V, dedicado a las conclusiones y recomendaciones generales en función del estudio diseñado.

CAPÍTULO 1

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

CONTENIDOS

Problemática

Hipótesis

Objetivos

Metodología

1.1 PROBLEMÁTICA

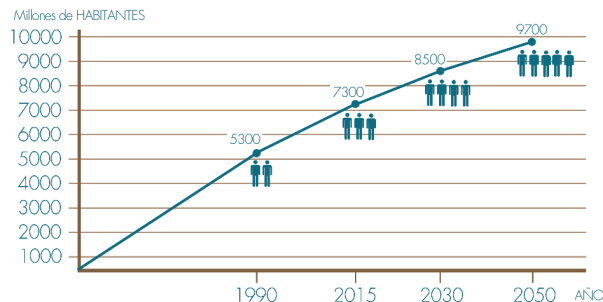


Imagen 1.01: Perspectiva demográfica mundial

Fuente: United Nations, 2019.

Elaboración: Autores.

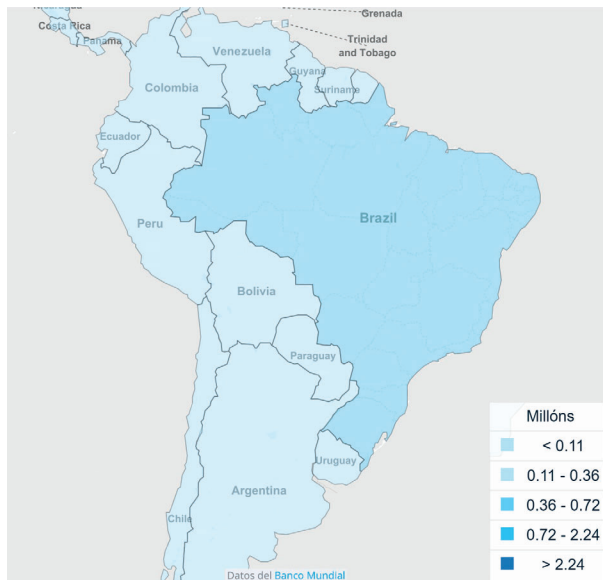


Imagen 1.02: Emisiones de CO₂ América Latina 2014

Fuente: The World Bank, 2019.

Uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad, constituye el cambio climático, el cual está asociado con la concentración de GEI causantes del calentamiento del planeta (United Nations, 2019). El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en el quinto informe de evaluación (AR5) alude que desde 1970 las emisiones de GEI se han incrementado, registrándose las más altas en los años 2000 al 2010 (IPCC, 2014). Sin embargo, en un comunicado de prensa publicado en febrero de 2019 por la OMM, se establece que los últimos 4 años se identificaron como los más cálidos en la historia (Organización Meteorológica Mundial, 2019) evidenciando el constante aumento de las emisiones de GEI.

En algunos países de primer mundo se evidencian esfuerzos por combatir las emisiones contaminantes, no obstante, en países latinoamericanos, hasta el momento no se observan acciones efectivas por reducirlas, ya que subvencionan combustibles fósiles más que renovables, llevando a pensar que la meta de restringir a 2°C el calentamiento del planeta, planteado en el Acuerdo de París, será inalcanzable (United Nations, 2019).

En este proceso de cambio global, el crecimiento exponencial de la población es clave, no solo por el número de personas, sino por la inadecuada interacción entre el hombre y la naturaleza, ya que presenta una mayor demanda de recursos y a la vez constituye una fuente generadora de desechos, contribuyendo a incrementar las demandas energéticas. Según la ONU, la población mundial a mitad del 2015 alcanzó aproximadamente los 7300 millones de habitantes y prevé un incremento de más de 1000 millones de habitantes en 15 años (Imagen 1.01) (United Nations, 2015), involucrando que inevitablemente, el consumo energético a nivel mundial se multiplicará significativamente, como se duplicó, desde 1972 a 2016 (Baquero & Quesada, 2016), este escenario será más crítico en los países en desarrollo.

En este contexto, América Latina y el Caribe a pesar de ser la segunda región más urbanizada a nivel mundial, presenta emisiones de GEI, relativamente bajas (CEPAL, 2017), pero, el nivel de aportación está en aumento, porque según datos del Banco Mundial, creció un 30% en 24 años (Imagen 1.02) (The World Bank, 2016).

Hecho que corrobora lo planteado, pues el crecimiento poblacional sumado al económico resulta en un permanente aumento del consumo energético, que desencadena en el incremento de emisiones de CO₂ (CEPAL, 2017).

Es necesario destacar que el sector residencial es el tercero de mayor consumo energético en la región con 100Mtep (Millón de toneladas equivalente de petróleo), superado por los sectores industrial y de transporte (Imagen 1.03) (OLADE, 2018). Según lo expone Celis (2012), las edificaciones son las responsables precisamente del 60% de emisiones de CO₂; además el funcionamiento requiere gran cantidad de energía consumiendo el 40% del total de la energía Global, por lo que, plantear el aprovechamiento y uso de la energía solar activa, mediante la utilización de paneles térmicos o PV sería una estrategia ideal para reducir los consumos energéticos en edificios.

Por esta razón, es factible utilizar energía proveniente de fuentes renovables no contaminantes, como se observa en casos existentes de países desarrollados, naciones que sugieren a futuro sea una de las posibilidades con mayor oportunidad

para volver resilientes a las edificaciones. Razón por la cual, es el conocimiento de la eficiencia energética como una oportunidad de mejora en la calidad de vida y su aplicación en las edificaciones que aportará la disminución de la generación de CO₂. En este marco, los países en vías de desarrollo son útiles para tomar en cuenta en este proceso, porque son propensos a incrementar emanaciones contaminantes progresivamente por el aumento del consumo energético (Mikkola, Salpakari, Ypyä, & Lund, 2014; Wegertseder, Lund, Mikkola, & García, 2016), siendo un escenario propicio para la implementación de nuevas alternativas energéticas viables y menos contaminantes para el planeta (Zalamea, Mena, Moscoso, Barragán, & Méndez, 2018).

Particularmente en Ecuador, la población aumentó un 40,7% y consecuentemente las emisiones de GEI en un 40,2% de 1990 a 2014 (The World Bank, 2016). Marcando que el consumo energético a nivel nacional muestra un incremento de 1,31 veces en 10 años (MEER, 2017). Al año 2017, la producción total de energía bruta fue de 28.032,91GWh, con los porcentajes detallados por el tipo de



Imagen 1.03: Emisiones de CO₂ América Latina 2019
Fuente: OLADE, 2019.

TIPO	PRODUCCIÓN (GWh)	%
Hidráulica	20 088,61	71,66
MCI	4438,65	15,83
Turbogás	1643,88	5,86
Turbovapor	1292,22	4,61
Biomasa	430,85	1,54
Eólica	73,40	0,26
Fotovoltaica	37,48	0,13
Biogás	27,82	0,10

Tabla 1.01: Producción de energía bruta por tipo de central
Fuente: ARCONEL, 2018.
Elaboración: Autores.

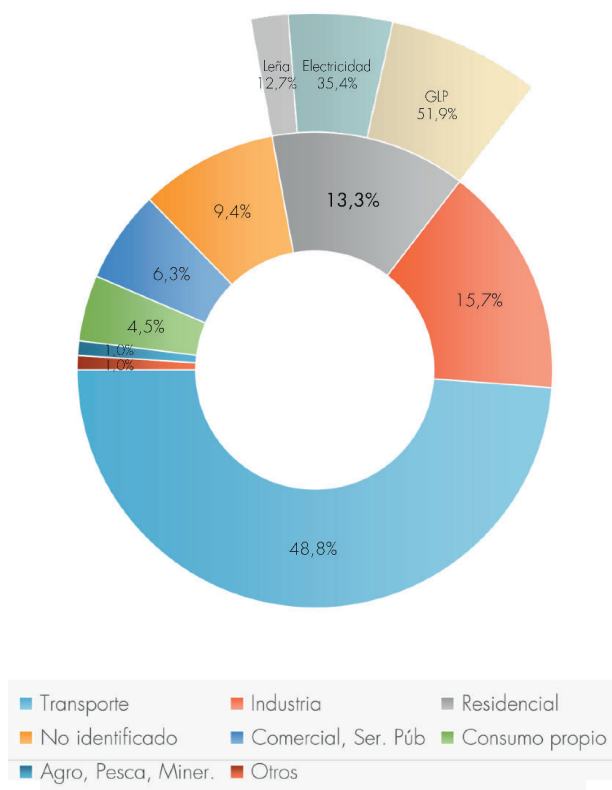


Imagen 1.04: Consumo energético por sector en Ecuador, 2016

Fuente: MEER, 2017.
Elaboración: Autores.

central en la Tabla 1.01 (ARCONEL, 2018).

Los resultados expuestos por ARCONEL, indican que el cambio en la matriz energética nacional, posibilita a lograr un abastecimiento eléctrico hasta de un 93,0%, explotando recursos hídricos a partir de centrales de gran potencia, pero a pesar de conseguir energía más “barata y limpia”, existe gran impacto en el medio agreste, como la deforestación, alteraciones de paisajes, reducción de caudales de río, entre otros, causados por la implantación de este tipo de tecnologías (Zalamea et al., 2018), por ello la generación energética *in situ* es una alternativa a priorizarse para evitar las consecuencias mencionadas. Infiriendo que, a pesar de los esfuerzos realizados, aún falta mucho por hacer para establecer un equilibrio ideal entre hombre y entorno.

Un claro ejemplo de los problemas mencionados, se evidencia en la convulsión social suscitada en el país, en los primeros días de octubre del 2019, al darse una respuesta negativa frente al decreto 883 planteado por el presidente de la República. En el mismo se liberaban los precios de los combustibles diésel y gasolina, golpeando la estructu-

ra económica de la sociedad, principalmente de la clase popular, al no presentar alternativas que ayuden a disminuir el impacto provocado.

Como parte de las soluciones propuestas en el “Diálogo de la paz” transmitido a nivel nacional, se planteaba la focalización de los subsidios, por lo que una opción a destacar sería el subvencionar fuentes de energías limpias, logrando el incremento de fuentes de trabajo.

En función de lo hasta ahora expuesto, es importante destacar que el sector residencial, situado en el tercer lugar con respecto al consumo energético, en el 2016 necesitó 12.083kBEP; constituyendo el 13,3% del total del requerimiento nacional (MEER, 2017) (Imagen 1.04). De este porcentaje, el GLP aportó con el 51,2% y la electricidad con el 36,4% (MEER, 2017).

Particularmente, en los edificios multifamiliares la cantidad de demanda energética se incrementa por el número de personas que habitan en los inmuebles, presentando demandas principalmente eléctricas y térmicas (Zalamea, 2016). Los que presentan variables como: alto consumo energéti-

co que se solventa mediante la utilización de combustibles fósiles y energía hidráulica, generando el incremento de los GEI y el impacto al medio ambiente.

Por lo expuesto, resulta necesario buscar alternativas a las hidroeléctricas a gran escala, para aparte de mitigar el cambio climático y disminuir emisiones de GEI en el país, se pueda diversificar las fuentes y reducir pérdidas de energía por distribución.

En este sentido, es oportuno destacar que la fuente solar es un recurso confiable que garantiza la seguridad energética, dada la localización y las excepcionales condiciones técnicas requeridas, puesto que en el Ecuador se tienen altos niveles de radiación solar y estables, al no presentar estaciones marcadas durante el año (INER, 2014). Lo que es visto como una opción viable en la producción energética, pues las tecnologías de captación solar activa, como los colectores térmicos, PVs o híbridos resultan eficientes, ante la presencia de estos niveles de radiación solar. La eficiencia en implementar estas tecnologías, está condicionada principalmente por la ubicación geográfica

en la que se encuentra la edificación, pues de ella dependen varios factores como la necesidad de calefacción o refrigeración. Por ejemplo, según estudios realizados en viviendas con integración de paneles de sílice cristalino, los resultados muestran que se logra suplir la demanda eléctrica en exceso (Zalamea et al., 2018). Cabe destacar que debido al contexto en el que se emplaza no existen demandas de acondicionamiento ambiental con un adecuado diseño arquitectónico y estrategias pasivas.

Vale agregar que, las alternativas de energía solar PV se desarrollan a pasos agigantados, evidenciándose una mejora de diez veces en la capacidad instalada de energía solar entre los años 2005 y 2015, con valores que van de 20GW a 222GW, respectivamente. Al año 2050 se aspira alcanzar los 4500GW (Imagen 1.05) (IRENA, 2018).

En la actualidad continúan las reducciones de costos para energía solar y eólica a un ritmo constante, se evidencia que entre 2010 y 2020 se presentarían tasas notables de aminoramiento de precios, superando significativamente las previstas

CAPACIDAD DE ACUMULACIÓN PV

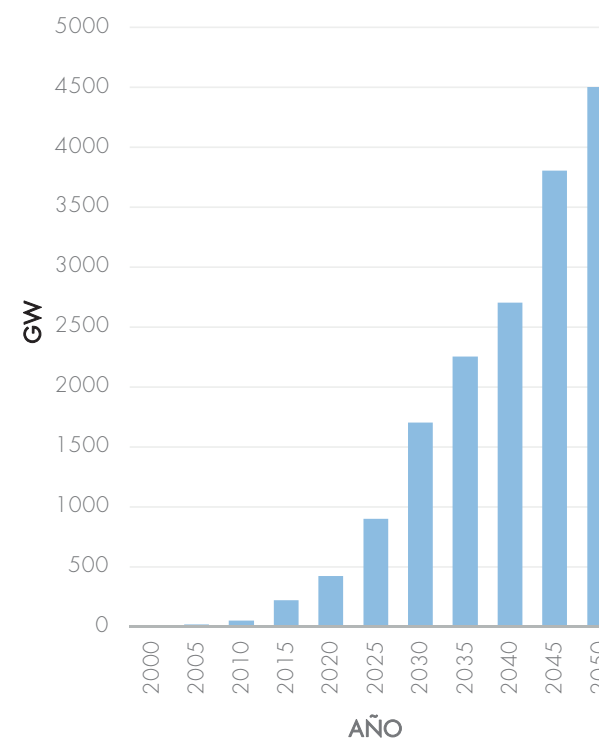


Imagen 1.05: Capacidad acumulativa de energía solar PV
Fuente: IRENA, 2017.
Elaboración: Autores.



a largo plazo. Es más, las tecnologías de generación de energía renovable (ER) son cada vez más competitivas sin el apoyo financiero de gobiernos, la energía solar PV alcanzó niveles extremadamente bajos solo logrados en el pasado por los mejores proyectos hidroeléctricos (IRENA, 2018).

Sin embargo, existen limitaciones para que estas energías cumplan un papel importante frente a las energías no renovables, siendo una de ellas, las políticas estatales, puesto que el uso de recursos fósiles se da por los subsidios de costos al gas y electricidad, es decir, se incentiva el uso de fuentes contaminantes, resultando así las alternativas sustentables no rentables (Baquero & Quesada, 2016).

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), en la publicación realizada en junio del 2019, manifiesta que para el año 2018 los costos de subsidios a los combustibles fósiles alcanzaron el valor más alto desde el 2014, evidenciando, que los recursos económicos estatales se están destinando a recursos energéticos que fomentan el calentamiento global (IEA, 2019). Al respecto, es necesario un proceso de transición, en el que

se reste paulatinamente los subsidios a los combustibles fósiles y motive el uso de las tecnologías limpias.

Con respecto a la situación regulatoria del país, es importante mencionar que en enero del 2019 se aprobó la “Ley de Eficiencia Energética”, que busca aportar a los procesos orientados a mitigar el cambio climático, cambiar los hábitos de consumo eléctrico, incentivar sistemas alternativos energéticos, desarrollar prácticas de EE en el sector de la construcción, entre otros, los cuales están enfocados en las metas planteadas en el “Plan Nacional de Eficiencia Energética” (PLANEE) 2016–2035 (Agencia EFE, 2019). Cabe señalar que la “Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica” (2015) contiene varios artículos referidos a la EE (CEPAL, OLADE, 2017) señalando que en el país se hacen los esfuerzos necesarios para mejorar esta situación.

Lugar de estudio

Según análisis realizados por el BID, se prevé que en el cantón Cuenca, la población urbana al 2050 será de aproximadamente 901.499 habitantes, es decir, un aumento poblacional de 442.442 habitantes desde el año 2010 (BID, 2014). El vertiginoso incremento demográfico de la ciudad motiva que profesionales de la construcción, aprovechen el espacio; así en años anteriores se evidenciaba el predominio de edificaciones de hasta 2 pisos; actualmente se observa el crecimiento en altura de las edificaciones en varios sectores, evidenciando una gran capacidad habitacional al contar con 4 o más plantas que engloban una considerable cantidad de viviendas (Álvarez & Serrano, 2010).

Es así que, la edificación multifamiliar para los habitantes de Cuenca es una tipología residencial con gran acogida y en incremento, la cual minimiza los problemas generados por la especulación del suelo y la reducción del espacio urbanizable, favoreciendo la consolidación en altura y evitando la expansión urbana. Adicional, el crecimiento disperso del sector da origen a un modelo de vida poco sostenible, por el contrario, la densificación

planificada resulta una estrategia que coadyuva a la reducción de los impactos ambientales y socio-económicos, evitando el uso del suelo rústico, facilitando la dotación de infraestructuras y servicios básicos, equipamientos comunitarios, transporte público, entre otros, indispensables para mejorar la calidad de vida de la población (Hermida, Hermida, Cabrera, & Calle, 2015).

Según datos del “Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador” (INEC), Azuay consta como la segunda provincia que mayor permiso de construcción concedió en el año 2014 mediante los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. El 93,5% de permisos se otorgaron para proyectos de uso residencial, correspondiendo el 10,4% a edificios multifamiliares. Con relación al año 2013, se registró un aumento de 4,4% en la construcción de esta tipología de vivienda (Viscaino, 2016).

Asimismo, en las determinaciones para el uso y ocupación del suelo urbano, dispuestas en la Ordenanza vigente que sanciona el PDOT de Cuenca, se encuentra que el 49,3% de los sectores de planeamiento admite edificaciones con más de 3



pisos. De éstos, cerca del 50% permite construcciones de 4 a 9 pisos de altura, correspondiente a edificaciones de mediana altura, como es el caso del Pinar del Lago I, edificio en estudio (Municipalidad de Cuenca, 2002).

Con respecto a la demanda energética de la ciudad de Cuenca se registra un crecimiento vertiginoso, considerando la proyección en el aumento poblacional, indicando que se deben buscar alternativas locales que propicien el desarrollo y la obtención de energías ecológicas, aprovechando que la ciudad cuenta con una ubicación geográfica beneficiosa con un clima templado, favoreciendo una temperatura ideal para implementar la captación de la energía, mediante el uso de la radiación solar. Hasta el momento existen una gran variedad de tecnologías para la recolección solar, las que se aplican de dos maneras: sistemas térmicos y sistemas PVs, los últimos tienen un desarrollo reducido, en cuanto a la generación y abastecimiento eléctrico en el país, por los altos costos; frenando la expansión en el mercado (Larco & Durán, 2018).

Es importante destacar que la fuente solar, es po-

sible convertirla directamente en energía eléctrica, la cual a su vez puede almacenarse o ser conservada en baterías e inyectarse a una red eléctrica.

Como se mencionó anteriormente, poco más de la mitad del consumo total del sector residencial, corresponde a demandas de GLP, por el cual, el Estado ecuatoriano invierte un significativo rubro económico para la importación del mismo, destinando el 72% del total del subsidio para este sector (Espinoza & Guayanlema, 2017). Es así que, para el sector energético es un reto lograr edificios con consumos mínimos, para conseguir el uso eficiente y razonable de los recursos energéticos en la construcción y de edificaciones como tal, la optimización entre la cantidad de consumo energético y servicios obtenidos, y a la vez una reducción considerable de la dependencia de recursos naturales (Ribeiro, 2015). Por lo que, a largo plazo se busca reemplazar o minimizar al máximo el consumo de GLP con la integración de ERs que permitan tanto la generación de electricidad como de energía térmica, para garantizar así la independencia energética y evitar el impacto ambiental de las represas hidroeléctricas.



Imagen 1.06: Edificio multifamiliar de mediana altura Pinar del Lago I
Fuente: Autores.

Con base a lo dicho en párrafos anteriores para la presente investigación se seleccionó como caso de estudio el edificio multifamiliar Pinar del Lago I (Imagen 1.06), por ser una obra que forma parte de edificaciones representativas de mediana altura que se encuentran dentro del rango de 4 a 9 pisos (Municipalidad de Cuenca, 2002). Además de esto se logró tener la disponibilidad de la administración del condominio para acceder a información necesaria para desarrollar este trabajo investigativo. En el cual se pretende solventar la mayor parte de las demandas energéticas mediante la integración de sistemas de captación solar activa PV, que contribuyan a la disminución de GEL y del gasto energético que este tiene, considerando el impacto urbano-arquitectónico.

La problemática hasta ahora descrita, lleva al planteamiento de la siguiente interrogante que ayudará a conducir la investigación: ¿En qué medida se puede abastecer un edificio multifamiliar de mediana altura en Cuenca - Ecuador, determinando tendencias en las curvas de producción - demanda y su nivel de coincidencia, para con base a ello, plantear una propuesta constructiva revelando el resultado arquitectónico?



1.2 HIPÓTESIS

A través del diseño de una cubierta de captación solar activa en edificios multifamiliares de mediana altura resulta factible el autoabastecimiento energético, al implementarse tecnologías de integración arquitectónica BIPV o de superposición BAPV, acorde a la disponibilidad y geometría de techumbre.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Proyectar cubiertas con captación solar activa fotovoltaica en un edificio multifamiliar de mediana altura, analizando distintas tecnologías para diferentes niveles de integración arquitectónica, estimando capacidad de autoabastecimiento energético y la posible reducción de emanaciones de CO₂.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar las tecnologías de captación solar activa como posibilidad de integración arquitectónica (BIPV) y de superposición (BAPV) en casos de referencia.
2. Recolectar y caracterizar información de las demandas energéticas, así como superficies disponibles para la implantación de la cubierta captadora frente a demandas características.
3. Simular el rendimiento de los BIPV Y BAPV factibles de integrarse en la edificación geométricamente, acorde a disposición, orientación y capacidad geométrica, midiendo posibilidades de generación energética, comparando con demandas actuales.
4. Proponer constructivamente el rediseño de la cubierta del caso de estudio considerando la mejor compaginación de las demandas en las propuestas con tecnologías BIPV/BAPV y analizar las implicancias arquitectónicas.

1.4 METODOLOGÍA



Imagen 1.07: Medidor cuarto horario A1800 ALPHA Meter
Elaboración: Elster, 2010.

El desarrollo del presente trabajo se fundamentó en técnicas de recopilación y procesamiento de datos cuantitativos, permitiendo que el estudio sea descriptivo-concluyente, con base al análisis estadístico de la información primaria obtenida del consumo de energía eléctrica y GLP de las personas que habitan en el Edificio Pinar del Lago I, así como de los datos registrados en la Empresa Eléctrica Centro Sur y simulaciones a través de software como SAM, ArchiCad y Ecotec. Con ello el estudio cumplió las siguientes fases:

- Revisión bibliográfica, la cual permitió analizar las distintas tecnologías de captación solar activa con posibilidad de integración arquitectónica (BIPV) y de superposición (BAPV) proceso que aportó a sentar las bases teóricas para el desarrollo del estudio.
- Se analizó el nivel de ocupación actual y máximo para lo que fue diseñado el edificio, con ayuda de la recolección y caracterización de información tanto de las consumos energéticos existentes como el máximo esperado, asumiendo que el edificio se desenvuelva con la totalidad de su capacidad habitacional.

- Identificación de consumos energéticos y de GLP contrastado con información estadística brindada por la Empresa Eléctrica Centro Sur, la que entregó un informe de fluctuación del consumo eléctrico del edificio, gracias a la colocación de dispositivos cuarto horarios modelos A1800 ALPHA Meter (Imagen 1.07) instalados en medidores del edificio, durante los meses de diciembre 2018 y enero 2019.

- Estimación de abastecimiento de PV con base a registros climáticos y simulación a través de varios software especializados.

- Propuesta de integración arquitectónica aplicando captación solar a través de tecnologías presentes en el mercado nacional e internacional.

1.4.1 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio fue experimental, ya que se manipuló las variables de análisis deliberadamente, analizando el comportamiento actual de consumos de energía eléctrica y gas en el Edificio Pinar del Lago I y la proyección de consumo. De igual manera se

manejó las variables de generación de energía mediante el uso de tecnología solar PV tomando en cuenta los distintos escenarios de ocupación del edificio y su posible abastecimiento.

1.4.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, puesto que a través de las simulaciones aplicadas se consideró criterios técnicos, matemáticos cuantificables a través de parámetros establecidos de rendimiento de los paneles solares y su posterior estimación de abastecimiento.

1.4.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Al considerar los consumos en un periodo de enero a diciembre de los años 2018 y 2019, se realiza una comparación de consumo anual, considerando el año más crítico para evaluar la capacidad de autoabastecimiento, la investigación se orienta a ser retrospectiva de corte transversal, así se consideró para el análisis a todos los habitantes del edificio, descartando el cálculo de una muestra.

1.4.4 ALCANCE

El proyecto investigativo tuvo un alcance exploratorio, tomando en cuenta que no se han identificado estudios actualizados sobre la aplicación de paneles solares en edificios multifamiliares en la ciudad de Cuenca, servirá para conocer la naturaleza de los PV con la integración arquitectónica, además de describir las características técnicas de estas alternativas energéticas determinando los aportes en el autoabastecimiento de energía.

1.4.5 PLAN DE ANÁLISIS Y RESULTADOS

El apartado de análisis de resultados se desarrolla de la siguiente manera:

1. 4.5.1. Programas a utilizar para el manejo de análisis y resultados

Se utilizó herramientas informáticas especializadas en diseño y simulación:

- ArchiCad 22 - Graphisoft,
- Autodesk Ecotect Analysis y
- SAM (System Advisor Model).

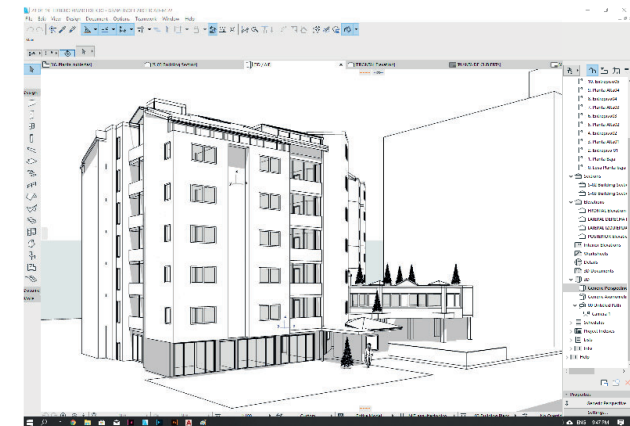


Imagen 1.08: Modelado 3D en ArchiCad 22

Fuente: Autores.

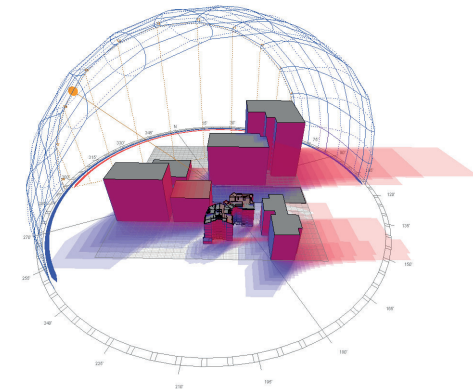


Imagen 1.09: Modelo importado con proyección de sombras

Fuente: Autores.

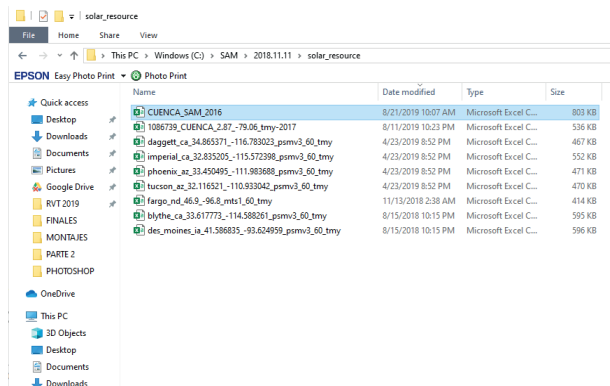


Imagen 1.10: Localización del fichero climático
Fuente: Autores.

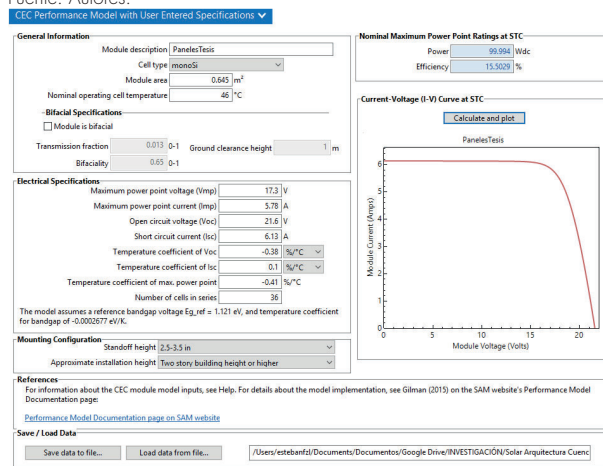


Imagen 1.11: Especificaciones de la tecnología BAPV
Fuente: Autores.

Para el estudio de sombras se siguió el siguiente procedimiento:

- En primer lugar, en el software ARCHICAD 22 se desarrolló el modelo detallado 3D del edificio (Imagen 1.08), con algunas de las edificaciones que conforman el contexto inmediato.
- Se adoptó el fichero climático validado en la investigación "Simulación fotovoltaica considerando parámetros de integración en edificaciones" realizada en la ciudad de Cuenca, con placas PVs de 36 celdas (Izquierdo, Pacheco, González, Zalamea, 2019) el mismo que se usó en el programa Ecotec.
- En el software Autodesk Ecotec 2011, una herramienta completa para el análisis de diseño proporciona una potente simulación medioambiental y visual se genera el estudio solar de la edificación con relación a su contexto (Imagen 1.09).
- En primer lugar, tomando el archivo climático usado en el software anterior se localizó en el directorio base del programa. (Imagen 1.10).
- Se ejecutó el System Advisor Model; en el cual se utilizaron los datos obtenidos en la investigación (Izquierdo, Pacheco, González, Zalamea, 2019) (Imagen 1.11). La información general es para el tipo de celda de sílice monocristalino, con área de módulo de 0,645m² y eficiencia de 15,50%.
- Se procedió a editar en la sección "Tracking & Orientation", los campos del azimuth con respecto al norte y la inclinación del panel.
- Finalmente, se realizó la simulación, obteniendo el reporte, gráficos y tablas correspondientes (Imagen 1.12). Métodos y modelos de análisis de datos.

Se utilizó tablas y cuadros comparativos con respecto al consumo eléctrico y el costo de kWh en el periodo de enero a diciembre de 2018 y 2019, distribución de GLP, capacidad de generación de tecnologías PVs, de los cuales se estructuraron

gráficos y esquemas para alcanzar los resultados planteados con base a cada objetivo específico.

1. 4.5.2. Proceso de análisis

Se aplicó estadística descriptiva para apreciar el crecimiento tanto del consumo eléctrico como de GLP en el edificio objeto de estudio. Se identificó la eficiencia energética y de gas contrastada con las tarifas residencial y comercial que predominan en la edificación.

Con los datos identificados de los consumos promedio diario, mensual y anual se seleccionó los paneles solares disponibles en el mercado nacional e internacional que pueden acoplarse a las particularidades constructivas y arquitectónicas de edificios multifamiliares como es el caso de estudio.

Con ello, se estableció la propuesta de rediseño de la cubierta partiendo de dos tecnologías: BAPV y BIPV, comenzando con la identificación de cada faldón tomando en cuenta: superficie, pendiente, inclinación y azimut. Datos que aportaron a identificar los tipos de paneles solares, las dimensiones,

rendimientos, potencia y niveles de voltaje con los que operan.

Para la propuesta constructiva, se tomó como referencia todas las características técnicas de los paneles y las condiciones de montaje que se requiere para implantar en la techumbre del edificio, con el análisis de tres tipos de tecnologías:

- Panel de Sílice Monocristalino de 60 celdas,
- Panel sin Contactos Metálicos entre Células; y
- Tejas PV

Finalmente, se analizó las implicaciones arquitectónicas que tendría la integración de las tecnologías a la cubierta para cada alternativa, clasificándolas según niveles técnicos y formales. Adicionalmente se estimó un costo aproximado de inversión y su respectivo tiempo de amortización durante la vida útil de las tecnologías. Esto se realizó mediante la comparación de dos panoramas: por un lado se evaluó la factibilidad financiera con el precio oficial subsidiado según la Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018 (ARCONEL. 2019) ,y por otro lado se tomó en consideración el costo real de energía eléctrica.



Imagen 1.12: Selección del fichero climático de Cuenca
Fuente: Autores.



Finalmente, para la elección de la mejor propuesta, se realizó un análisis comparativo contemplando los siguientes escenarios:

- Rendimiento energético,
- Integración arquitectónica y
- Accesibilidad económica.

De esta manera se podría generar un aporte para proyectarse y extrapolarse a edificios que tengan características similares a las descritas en el edificio Pinar del Lago I. Con lo cual se busca analizar y proponer el uso de energía solar mediante nuevas tecnologías PVs que contribuyan a un mayor beneficio económico y ambiental para la ciudad de Cuenca, Ecuador.

CAPÍTULO 2

ESTADO DE ARTE

CONTENIDOS

Normativas, acuerdos Internacionales y Nacionales

Estrategias pasivas y activas de diseño

Sistemas de captacion solar activa PV

Criterios estéticos, funcionales y constructivos

Casos de estudio

Descripción de tecnologías para simulación

Conclusiones del capítulo



INTRODUCCIÓN

Este capítulo aborda la revisión bibliográfica sistémica de varios autores que han estudiado las particularidades que tiene el uso energético eficiente, normativas, acuerdos internacionales y nacionales con respecto a la energía renovable, estrategias pasivas y activas de diseño que dentro de la arquitectura bioclimática considera varios factores para lograr las mejores condiciones de habitabilidad y confort en su interior.

Se revisa las opciones tecnológicas que usan fuentes energéticas diferentes a las tradicionales, en donde se destacan aquellas renovables y limpias, alternativas ideales para mejorar la calidad de vida a través de soluciones de vanguardia como son los paneles solares. También se menciona la capacidad de integración arquitectónica que se puede lograr mediante el uso de estas tecnologías lo que implica acoplarlos en edificios y particularmente en edificaciones ya estructuradas.

Todo esto, conjuntamente con referencias de estudios similares sobre la aplicación en edificaciones multifamiliares, las ventajas y desventajas que aporta este tipo de sistemas.

2.1 NORMATIVAS, ACUERDOS INTERNACIONALES Y NACIONALES EN MATERIA DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Actualmente, frente a la crisis energética y medio ambiental mundial, muchos países a partir del Protocolo de Kyoto de 1997, optaron por opciones energéticas menos agresivas con el ambiente, como la energía PV que surgió en la década de los 60 desde la industria espacial e instalaciones remotas, al respecto el Departamento de Energía de EEUU promovió las aplicaciones domésticas de energías alternativas.

Las aplicaciones representativas que ofrece la energía solar PV se relacionan al alumbrado público, agricultura, viviendas rurales, empresas, fábricas y multifamiliares, transporte, producción de energía para la venta a sociedades eléctricas, entre otras, pero principalmente en huertos PVs. Este tipo de energía se orienta al aprovechamiento energético como es la radiación solar, transformándola en energía eléctrica (IDAE, 2019).

En tal sentido, algunos países adoptaron estímulos económicos que promueven el uso de energías alternativas por medio de la diligencia de sistemas tarifarios conocidos como Feed-in Tariff (en adelante FIT), que constituye el pago de las entidades eléctricas encargadas de la distribución de energía

que generan e inyectan a las respectivas redes por los clientes del servicio eléctrico (Almeida, 2012).

El gobierno federal norteamericano en el 2006 planteó una deducción de impuestos que corresponde al 30% del coste de ganancia de los sistemas PVs para clientes comerciales y residenciales. Adicional del aliciente federal, otros estados otorgan descuentos en otro tipo de impuestos para fomentar este tipo de energía (Almeida, 2012).

En la Florida se propuso una tarifa especial a la energía PV, en un lapso de 20 años con disminución progresiva del precio (5% anual); por otro lado, Washington destaca un estímulo para consumidores tanto residenciales, como comerciales e instituciones públicas, esto en un valor establecido (sin vincularlo al kWh producido) prolongado a 5 años (Barbosa, 2016).

En otras latitudes se destaca acciones en busca de resolver el problema energético mundial, casos como Japón, que posterior a la catástrofe nuclear de Fukushima, instituyó políticas de estímulos a la generación y distribución de ERs no convencionales, particularmente la solar PV; es



más desde el 2012 puso en utilidad el modelo FIT, que articula precios de energía entre 39,6 hasta 47,5 cUSD/ kWh con base a la capacidad de generar (IRENA, 2017; Barbosa, 2016).

Entre otro de los países que aplica la generación distribuida empleando el modelo FIT para capacidades <30kW, se encuentra Alemania, en donde se obliga a las distribuidoras conceder acceso y pago de la energía introducida a la red con importes de 24 cUSD/kWh, considerando subsidios del Estado para instalaciones, es decir un trabajo integral (Barbosa, 2016).

En Inglaterra, con acciones similares a Japón y Alemania, las tarifas energéticas de la generación y distribución aplicando el FIT son ascendentes que la energía solicitada para el incentivo residencial al colocar paneles PVs en los hogares. Los montos de la energía tienen valores entre 19,8 a 24,3 cUSD/kWh en rangos ≤ 50 kWh (IRENA, 2017).

En España se implantó el FIT consintiendo un precio premio estimado con referencia a la tarifa de mercado, líneas de crédito, aprovisionar circunstancias específicas de inversión y estímulo

los estatales (Barbosa, 2016). Bajo este contexto, la aplicación de precios especiales e incentivos iniciales es pertinente para la generación energética a partir de fuentes renovables no convencionales, logrando así su proliferación y en un futuro solvencia autónoma, eliminando incentivos cuando se alcanza la proliferación de la tecnología y economía de mercado, como es el caso de la utilización de paneles solares.

Incluso la Directiva de la Unión Europea (UE) para cumplir con las metas de política energética, orienta sus acciones a la conservación y uso racional de la energía; desde el 2007 teniendo objetivos cuantificables postulados en el mandato 20/20/20 hasta el año 2020, enmarcado en los siguientes ejes:

- Contribución del 20% en ER al consumo final de energía.
- Reducción del 20% de consumo de energía primaria proveniente de recursos contaminantes y reducción del 20% en emisiones respecto a las registradas en 1990.

Las actividades promulgadas para lograr la EE en cada uno de los gobiernos parte de la UE se plan-

tean sin afectar otros requerimientos como: la accesibilidad, seguridad y considerando las condiciones climáticas y particularidades de cada sector (Kanellakis, Martinopoulos, & Zachariadis, 2013).

Más aun en países como Canadá y Reino Unido, se plantean políticas enfocadas a conseguir edificaciones de energía cero (es decir, la demanda y generación energética son prácticamente iguales, siendo esta proveniente de fuentes renovables), incrementando la severidad en los reglamentos constructivos, incentivando la producción eléctrica como el suministro de otros servicios complementarios con energía alternativa, porque es una opción de solución para aminorar el calentamiento del planeta, la contaminación ambiental y la seguridad energética (Aldossary, Rezgui, & Kwan, 2015).

Khan, Abou-Arkoub, & Ahsan (2013) proponen técnicas para la unificación a la red eléctrica de Dhaka, Bangladesh, analizando la capacidad de egreso e ingreso de energía entre los sistemas eléctricos adyacentes, tomando como base un sistema interconectado con ER y termoeléctricas, evidenciando a través de pruebas las particularidades de la generación PV y las posibles consecuencias a

la red de distribución. El estudio determinó dos sistemas, abastecidos entre sí al tener un exceso de demanda en cualquier sistema, adicional cuando la capacidad de conexión de la energía excedente soporte las condiciones para el abastecimiento.

Por otro lado, Bie, Lin, Li, Jin, & Hua (2013) sostienen que, debido al incremento de la demanda energética, las condiciones del medio ambiente y el inadecuado uso de la energía, China poseerá una transformación hacia el uso de Smart Grid, ya que representa un país pionero en el mercado con la aplicación de esta tecnología. La red eléctrica inteligente o Smart grid (Imagen 2.01), consiste en un sistema que brinda la posibilidad de establecer una comunicación entre los consumidores de energía y las centrales eléctricas, optimizando de esta manera la distribución de energía eléctrica y generando un uso eficiente y sostenible de la misma, mediante la utilización de tecnologías de última generación (AEC, 2019).

En Ecuador, el gobierno nacional busca mitigar los efectos que el calentamiento global ocasiona en el planeta. En tal sentido, la Constitución del 2008, en el artículo 413, establece que el

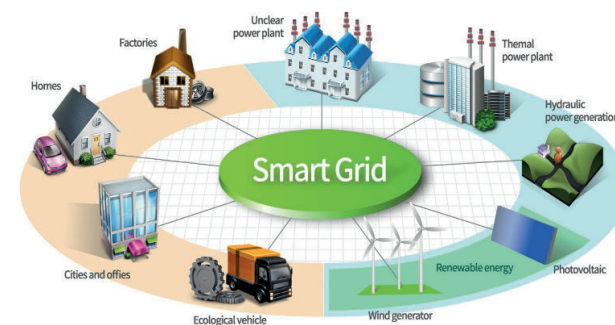


Imagen 2.01: Red eléctrica inteligente Smart Grid
Fuente: Marte, 2018.



Estado deberá fomentar la EE y la utilización de tecnologías amigables con el medio ambiente, así como de ERs, que generen el menor impacto posible, y no presenten riesgo al equilibrio de los ecosistemas, infiriendo que los planteamientos de la Carta Magna, orientan a un ambiente más sano y limpio en busca del bienestar de la sociedad.

El Estado ecuatoriano en el art- 14 reconoce el derecho a la población a vivir sano y ecológicamente equilibrado; siendo este el garante de promover el uso de tecnologías ambientalmente limpias.

Con ello el art. 395 de la Carta Suprema destaca que el Gobierno Central debe garantizar un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y dotar de los mecanismos de producción, consumo y uso de recursos naturales, de la mano con lo dispuesto en el art. 43 señala la voluntad de promover la eficiencia energética y el uso de prácticas ambientalmente limpias y sanas, además de energías renovables.

En este sentido, son muchos los aciertos que se han dado en esta materia, a pesar de los beneficios que se deben proyectar en función del país, la "Ley

Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica" (2018) no considera la exención de tarifas, y otros tributos para la importación de equipos y materiales extranjeros para poder instalar sistemas como los paneles solares. Sin embargo, en el artículo 26 se estipula deberá "promover el uso de tecnologías limpias y energías alternativas orientando al empleo racional de los recursos energéticos".

Otro instrumento normativo y orientador es el Plan Nacional de Eficiencia Energética (2016-2035) que es una herramienta de política pública que pretende optimizar los hábitos de consumo energético, a través de la incorporación de la eficiencia energética en los sectores relacionados con la provisión y uso de la energía, desprendiéndose acuerdos y reglamentos que se describen a continuación.

Con estos antecedentes, actualmente el Arconel cuenta con la Regulación 003/18 (2018), en la que se plantea como objetivo promover los lineamientos para el avance, potencialización de la práctica y uso de sistemas de generación PV, enfocada en el autoabastecimiento de consumidores de electricidad. Según esta regulación la producción de un sistema PV de baja capacidad deberá

estar destinada exclusivamente al autoconsumo de la edificación. Los excedentes podrán ser inyectados a la red y la empresa de distribución realizará la liquidación según corresponda, mediante un mecanismo de balance mensual neto de energía (Imagen 2.02), en el cual se considerarán los flujos de energía tanto entregada como consumida, registrada por el equipo de medición (ARCONEL, 2018).

Existen normas nacionales sobre EE aplicables a la vivienda, como la NEC-11 Capítulo 13 Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador, INEN 2-506:2009 Eficiencia Energética en Edificaciones y la NEC Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales - 2018. Estas tienen como principal objetivo optimizar el consumo y mejorar la eficiencia energética, fomentando el uso de fuentes de energía renovable y favoreciendo el confort térmico. Para lo cual presentan especificaciones técnicas y requisitos básicos para el diseño y construcción de edificaciones, así como, para la remodelación. En esta se establecen varios indicadores acorde a la zona climática (Imagen 2.03), por ejemplo el factor U, la orientación y ganancia solar, recomendaciones enfocadas

al diseño pasivo de la edificación, entre otras.

De igual manera, la recién aprobada “Ley de Eficiencia Energética” (2019), plantea en el objetivo 1, promover el uso eficiente, racional y sustentable de la energía en todas sus formas, incrementando la seguridad energética, incentivando el consumo de energía eficiente y garantizando el derecho a un hábitat saludable. Favoreciendo según lo tipifica el artículo 20, la investigación y el desarrollo tecnológico en el campo de la EE a nivel de universidades, escuelas politécnicas y centros de investigación.

En el Ecuador organizaciones que se vinculan en temas de red inteligente Smart Grid son: CELEC EP (Corporación Eléctrica del Ecuador), CENACE (Operador Nacional de Electricidad), Universidades, empresas privadas centros de Investigación, CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) actualmente ARCONEL, INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), clientes entre otros.

La articulación de las entidades busca tener una red adecuadamente planeada, que soporte los cambios de tecnología de vanguardia, compatibles con las TIC. En el país se registra el uso de

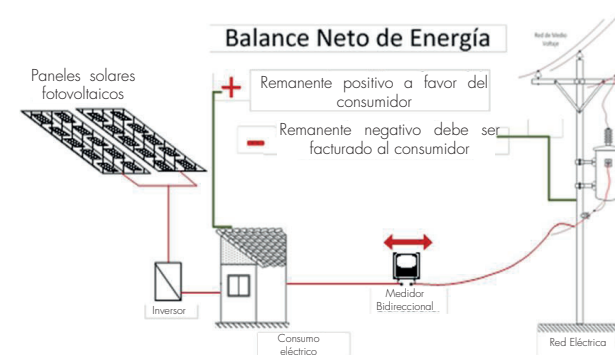


Imagen 2.02: Balance Neto de Energía
Fuente: ARCONEL, 2018.

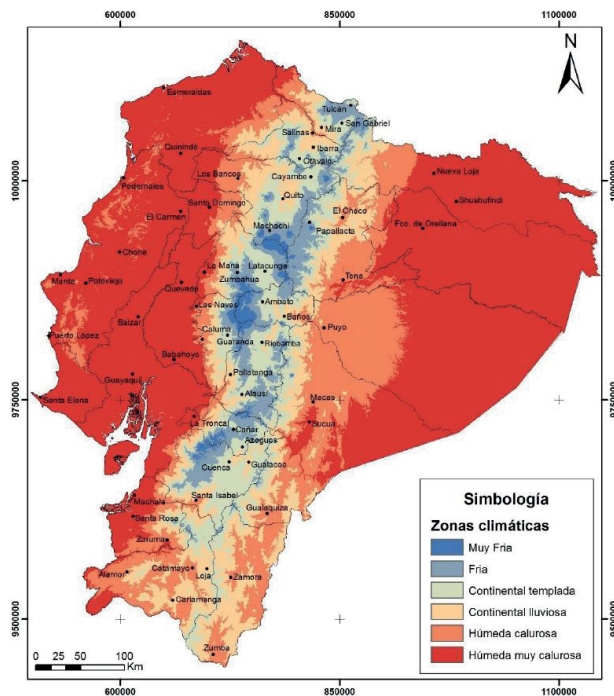


Imagen 2.03: Zonas climáticas
Fuente: NEC, 2018.

modelos como los utilizados en el plan de modernización de los sistemas y que sirvió para medir y estudiar los procesos en las empresas eléctricas que buscan actualizarse en el aprovechamiento de la energía renovable (Inga, 2017; Torres, 2013).

El 24 de enero de 2017, el MEER gracias al apoyo de distintos sectores dio a conocer el Programa de Redes Inteligentes Ecuador, orientado a optimizar el desarrollo de la operación y planificación de sistemas eléctricos, a través de un registro en tiempo real del sistema eléctrico, partiendo desde el procesamiento, producción hasta poder llegar al consumidor final (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017).

La Agenda Nacional de Energía (ANE) institución conexas al Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (MICSE) tiene como finalidad alcanzar un país que utilice eficientemente la energía, para ello establece las siguientes acciones:

- A través de una entidad fortalecida transversalizar acciones para la utilización eficiente de la energía. Asegurar a través de la planificación idónea la EE.

- Optimizar la gestión mediante información de calidad sobre el uso de energías alternativas.
- Afianzar EE con base a un eje legal sólido.
- Fomentar la adopción de conductas eficientes en el uso de energía.
- Garantizar la implementación de la EE a través de una planificación transversal.
- Motivar la creación de herramientas de mercado y promover la gestión de los esquemas de financiamiento para el eficiente uso energético.

Con el PLANEE el país busca afianzar la senda a energía asequible, segura, sostenible y moderna, asociada a los ejes que tiene las Naciones Unidas en el séptimo Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS-7); así como optimizar el índice mundial de mejora en EE, propósito esencial de la iniciativa Energía Sostenible para Todos (SE4ALL) (Plan Nacional de Eficiencia Energética, 2016-2035). Sin embargo, es importante mencionar que, a pesar de los esfuerzos realizados, los subsidios a los combustibles no permiten que las alternativas renovables proliferen. Por lo que, una opción es destinar este subsidio a fuentes renovables y a la electrificación de consumos dados provenientes de recursos fósiles.

2.2 ESTRATEGIAS PASIVAS Y ACTIVAS DE DISEÑO

La arquitectura bioclimática debe considerar varios factores para lograr las mejores condiciones de habitabilidad y confort en su interior. Para ello mediante el diseño, geometría y emplazamiento de la construcción se procura el aprovechamiento de las condiciones naturales del entorno, es decir, una arquitectura adaptada al medio ambiente y eficientemente energética. Para conseguir esto, se toma en cuenta el manejo de la energía solar, empleando estrategias pasivas y activas de diseño (Tonato, 2019).

En los sistemas pasivos, la atracción de la energía descendiente del sol, se realiza en función del diseño de la vivienda, sin la aplicación de ningún tipo de mecanismo. Es así que, este sistema regula las necesidades de refrigeración, calefacción e iluminación de ambientes interiores aplicando fenómenos físicos y recursos del ambiente local (Ribeiro, 2015). Las pautas de diseño solar pasivo (Tabla 2.01), representan una táctica importante para suplir los combustibles fósiles tradicionales y reducir la contaminación ambiental en el sector de la construcción (Imagen 2.04).

Cabe recalcar que en el Ecuador se encuentra

ESTRATEGIAS GENERALES		ESTRATEGIAS GENERALES	
DISEÑO GENERAL DEL EDIFICIO	CAPTACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR	Ubicación	
		Forma	
MEJORA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA	CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA	Orientación	
		Mejora del aislamiento térmico	
		Fachadas con ventilación	
		Cubiertas con ventilación	
		Fachadas vegetales o ajardinadas	
		Cubiertas vegetales o ajardinadas	
	ACUMULACIÓN TÉRMICA	Vidrios y marcos con baja transmitancia térmica	
		Fachadas y cubiertas con alta inercia térmica	
ESTRATEGIAS DE CALEFACCIÓN		ESTRATEGIAS GENERALES	
CALEFACCIÓN SOLAR	DIRECTA	Ventanas y lucernarios	
	INDIRECTA	Invernaderos y galerías acristaladas	
		Muros captadores y acumuladores	
ESTRATEGIAS DE REFRIGERACIÓN		ESTRATEGIAS GENERALES	
PROTECCIÓN SOLAR	EXTERIOR	Umbráculos o pérgolas	
	EXTERNA INTERMEDIA	Parasoles	
		Persianas y contraventanas	
	INTERIOR	Vegetación	
VENTILACIÓN NATURAL	CRUZADA	Vidrios especiales	
	CON TIRO TÉRMICO	Persianas	
	INDUCIDA	Huecos	
TRATAMIENTO DEL AIRE	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	Efecto chimenea	
		Aspiración estática (efecto Venturi)	
	REDUCCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL AIRE	Torre de viento	
		Agua	
		Vegetación	
		Conductos enterrados	
		Pacios	
		Refrigeración nocturna	

Tabla 2.01: Estrategias de diseño pasivo
Fuente: Arconel, 2017.

57

través de la cual una célula PV convierte la energía solar en eléctrica.

Por ende, para cualquier proyecto, es necesario considerar en primer lugar que las estrategias pasivas se encuentren solventadas en su mayoría, posteriormente considerar alternativas de diseño activo, que serán incorporadas según la necesidad o demanda requerida de la edificación.

Las tecnologías para recolección solar activa captan, almacenan y manipulan esta energía para beneficio directo y producción de energía térmica y eléctrica (Ribeiro, 2015). La incorporación de los sistemas en edificios se fundamenta en instalar colectores solares que permitan la recolección solar en la envolvente (techumbres o fachadas) para tener irradiación, convertirla en energía útil, almacenándola y distribuyéndola a través de conexiones técnicas a lugares que demanden el uso, cubriendo así demandas energéticas propias y aportando con requerimientos externos de la urbe (Imagen 2.05) (Zalamea & Quesada, 2017).

Las tecnologías solares activas, pueden ser térmicas y PVs, o posiblemente una combinación de

ambas, denominadas híbridas, con capacidad de aportar calor o electricidad a la edificación. Cada edificación, posee diversos requerimientos dependiendo del uso, bien sean oficinas, comercios, educación o sencillamente residencial.

La captación solar activa térmica procede de una tecnología relativamente sencilla, se producen a través de pequeñas empresas con fabricación semi-artesanal de colectores y almacenamiento con una considerable eficiencia. Estos están diseñados para absorber la radiación solar y transformarla en energía térmica (Zalamea, 2016).

Existen varios tipos de CST, una primera clasificación puede ser realizada por el tipo de fluido: sea con aire o hidráulico, los de tipología ST con fluido aire (STa) pueden ser menos costosos y manejables; aplicados mediante el uso directo del fluido calentado; no obstante, se limitan por la capacidad de almacenamiento (Kalogirou, 2004; Solarwall, 2015; Athienitis & O'Brien, 2015).

¿Cómo funciona la energía solar grid-tied?

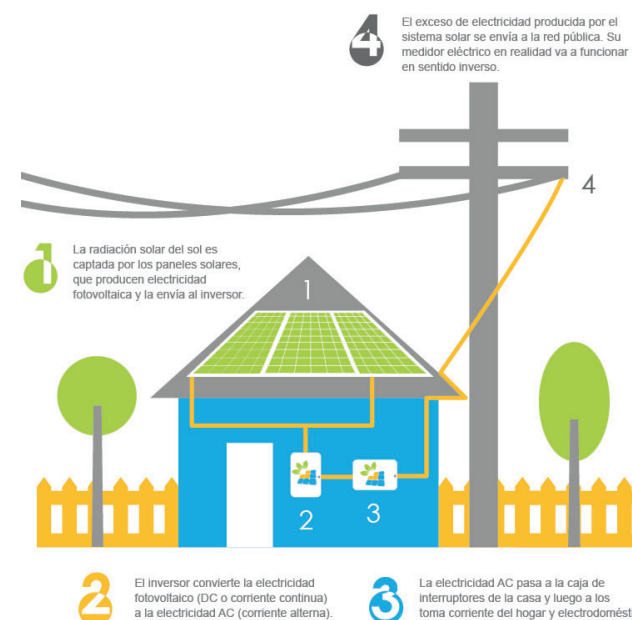


Imagen 2.05: Energía solar grid - tied

Fuente: Fula, 2017.



Imagen 2.06: Colector solar de tubo de vacío
Fuente: Leds be solar, 2015.

En cambio, aquellos con fluido líquido adquieren mejores características para el transporte térmico, tomando en cuenta el aumento de calor específico del agua. Existen también colectores fijos que son aquellos útiles para integración arquitectónica. Entre estos se hallan los colectores de tubo de vacío (Imagen 2.06), de placa plana, plásticos y colectores con concentradores parabólicos de placa plana (Zalamea, 2016).

Es importante mencionar que en el desarrollo de este trabajo investigativo se ahondará solamente en los sistemas PVs, debido a su versatilidad para cubrir las demandas, por otro lado, no se profundizará en el estudio de los sistemas de captación solar pasiva, ya que el caso de estudio, no parte de una fase de diseño inicial que permita incorporar de manera adecuada los mismos, no obstante, el uso de las estrategias activas, aporta un análisis para una mejor intervención en el edificio, puesto que se busca respetar el diseño actual del mismo. Cabe señalar que el análisis de confort ambiental y estrategias pasivas van más allá de este estudio.

2.3 SISTEMA DE CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA PV

Los PVs se desarrollaron a partir de 1839, cuyo origen se le atribuye a Becquerel, no obstante, la primera célula se construyó en 1883 por Charles Fritts, descubriendo la reacción de una muestra de selenio semiconductor con un pan de oro, aplicado como empalme entre los conductores eléctricos. Posteriormente en 1946, Russell Ohl patentó la célula solar moderna y en 1954 con los descubrimientos accidentales de los Laboratorios Bell (Imagen 2.07), se evidenció que los semiconductores de silicio al ser conectados con ciertas impurezas eran extremadamente perceptivos a la luz, comenzando así la era vanguardista tecnológica de potencia solar (Ribeiro, 2015).

Estos descubrimientos, marcaron el inicio de otros avances de energía, principalmente renovable, aprovechando el sol para abastecerse de una energía menos contaminante para el ambiente. Es así como, los sistemas PVs surgen en el mercado, generando electricidad con la ayuda radiante del sol. En ellos la electricidad es producida bajo el fenómeno nombrado como "efecto fotovoltaico" (Imagen 2.08), que no es más que convertir energía solar en eléctrica, mediante el uso de semiconductores denominados células (Ribeiro, 2015). Es

decir, el efecto se conoce como la base del proceso, a través de la cual una célula PV convierte la energía solar en eléctrica.

La radiación del sol mayoritariamente está compuesta por fotones (partículas energéticas), al incidir éstos en una célula PV pueden reflejarse o capturarse atravesando la misma. Solamente, los fotones que son absorbidos por la célula generan electricidad, siendo el proceso simple, cuando el fotón de luz es absorbido, la energía contenida se transfiere a un electrón que se encuentra en un átomo de la célula. Con la energía absorbida, el electrón se desplaza de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente dentro de un circuito eléctrico.

En estas células, las partes importantes están formadas por las capas semiconductoras, pues allí se genera la corriente de electrones, los que tienen un tratamiento especial para formar capas diferenciadas (tipo p y tipo n) y con ello generar un campo eléctrico (positivo y negativo) (Benedito, 2009). Dicho en otras palabras, el sistema de captación solar activa PV tiene la capacidad de convertir una fracción de irradiación solar en corriente continua,

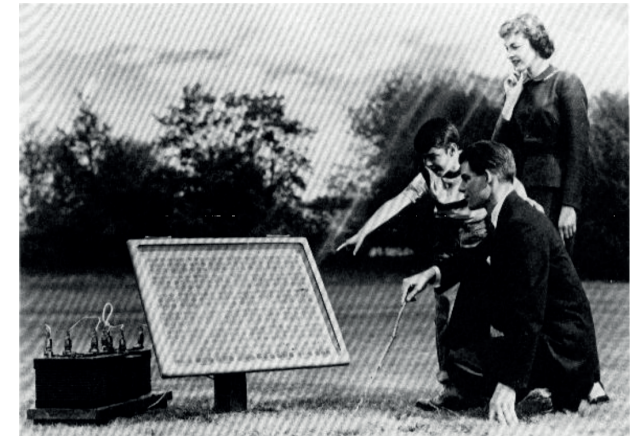


Imagen 2.07: Primer módulo PV por Laboratorios Bell
Fuente: Cronemberger, 2015

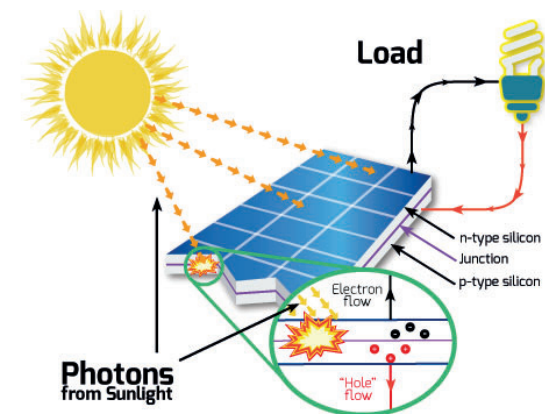


Imagen 2.08: Efecto fotovoltaico
Fuente: leds be solar, 2015.

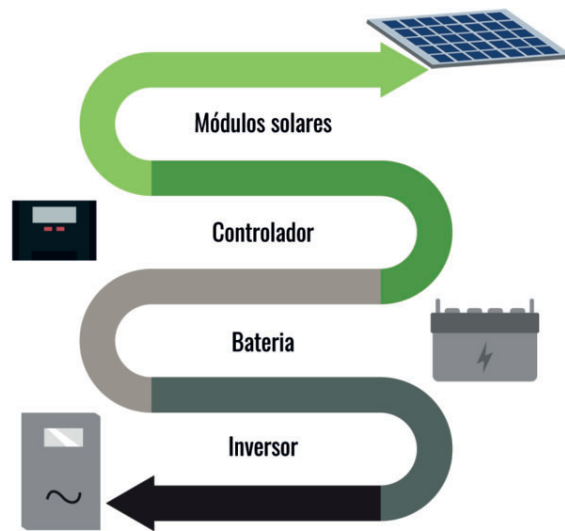


Imagen 2.09: Elementos de un sistema fotovoltaico
Fuente: Sun Supply, 2017.

a partir de materiales semiconductores. Mientras la luz hace contacto con la superficie de los semiconductores, es decir, las celdas PVs, se produce electricidad, en tanto que, cuando la iluminación cesa, la generación eléctrica también. Las celdas PVs no requieren ser recargadas (Luque & Hegedus, 2011). Por ello las células son elaboradas a partir de materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas, pero como conductores cuando la energía aumenta.

Este sistema de captación no representa riesgos ambientales o tóxicos que impliquen algún peligro importante y particular por la fabricación o instalación PV. Los riesgos que existen con la instalación y generación están presentes en cualquier instalación eléctrica como la posibilidad de golpe eléctrico por error de manipulación durante su instalación. Frente a exposición de incendios, los paneles son menos inflamables y tóxicos con respecto a otros materiales, como el plástico o aislante (Zalamea, 2016). Aunque ningún modo de generación energética y eléctrica es amigable completamente con el medioambiente. Los impactos de diferentes tecnologías o mecanismos de obtención energética muestran ser medianamente contaminantes, inclu-

so la sola fabricación de vidrio para captación pasiva (Barragán, 2018).

Cerca del 90% de los módulos PVs están fabricados con células de silicio cristalino; dentro de este componente, la ciencia tecnológica que lidera es la de silicio policristalino, la que abarca un 53% de la producción mundial total, posteriormente con 33% le sigue la materia prima de silicio monocristalino (Martín, 2011).

2.3.1 ELEMENTOS DE UN SISTEMA PV

Dentro de los componentes de un sistema PV encontramos como elemento principal el módulo de captación PV, a este le acompañan el regulador o controlador de carga, la batería y el inversor (Imagen 2.09). A continuación, se presenta una breve descripción de cada uno de estos:

- **Módulo de captación PV:** es un grupo de celdas solares individuales que se encuentran dispuestas y conectadas eléctricamente entre sí, lo que les permite aumentar la potencia de salida de cada una de ellas. (Poggi, Martínez,

Pineda & Caffarel, 2009). Estas celdas, tienen la particularidad de ser encapsuladas para protegerlas del ambiente, de esta manera salvaguardan a los usuarios de posibles accidentes referidos con el manejo de la electricidad. Cuando se interconectan varios módulos entre sí, se constituye lo que se conoce como panel (Imagen 2.10).

Los módulos PVs, permiten suministrar el volumen de voltaje eficiente para recargar baterías o proveer energía a una red eléctrica y pueden presentar diferentes características, principalmente en lo relacionado con el diseño, pues algunos de ellos, dadas sus conformaciones, tienden a disminuir los beneficios en función de la potencia del módulo o el tiempo útil de vida, es por esto que requieren de una continua supervisión. Las consecuencias más importantes que se producen en este tipo de módulos o en sus arreglos pueden ser:

- » Pérdidas al interconectar celdas que tienen distintas características.
- » Variaciones y alteraciones en la temperatura

del módulo.

- » Fallas moderadas en los módulos por incompatibilidad en las interconexiones.

A pesar de esto, el tiempo de utilidad de un módulo PV se encuentra entre los 25 y 30 años de vida útil, para el silicio cristalino, esto cuando se indica la potencia de un módulo PV encapsulado (Poggi et al., 2009). La potencia nominal de un panel solar se da en watts pico (W), utilizando cualquiera de los siguientes tipos de módulos (Tabla 2.02):

- **PVs de células monocristalinas:** las células monocristalinas fueron las primeras en desarrollarse industrialmente y las más estudiadas, el elevado rendimiento es una de las variables que caracterizan a este tipo de módulos, adicionalmente, la coloración de la celda está representada por el azul o negro (SUPSI, 2013). Son considerados de mayor eficiencia y rendimiento en comparación a los policristalinos. El método más utilizado en la elaboración de células de silicio monocristalino parte de un lingote de un único



Imagen 2.10: Panel solar fotovoltaico
Fuente: Solutec, 2019.

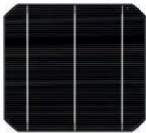
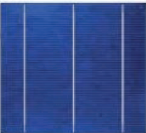
CELDA	CARACTERÍSTICAS
 Monocrystalina	ESTRUCTURA
	Formada por celda sencilla de silicón
	EFICIENCIA TÍPICA DEL MÓDULO 13% - 20% (17% a 22% de acuerdo con SHCe IEA)
 Policristalina	ESTRUCTURA
	Formada por multicristales de silicón
	EFICIENCIA TÍPICA DEL MÓDULO 14% - 16% (11% a 17% de acuerdo con SHCe IEA)
 Lámina delgada	ESTRUCTURA
	Formada de sílice amorfo
	EFICIENCIA TÍPICA DEL MÓDULO 6% - 12% (4% a 8% en celdas amorfas de silicón, con otros materiales semiconductores hasta 12% de acuerdo con SHCe IEA)

Tabla 2.02: Tipos de celdas fotovoltaicas y su eficiencia
Fuente: Zalamea & García, 2014.
Elaboración: Autores.

cristal de silicio y se lo corta en obleas que constituyen el sustrato sobre el que se ejecutará el proceso restante (SunFields, 2019).

- **PVs de células policristalinas:** uno de los caracteres relevantes es el color “azulado”. En este tipo de módulos se usan obleas de silicio como sustrato, no obstante, a diferencia de las monocristalinas, estas se generan a partir del corte de un bloque de silicio que se solidifica paulatinamente en un crisol y que está formado por pequeños cristales de silicio. El proceso de elaboración tiene un costo relativamente menor que el anterior, aunque minimiza considerablemente la eficiencia de las células (SunFields, 2019).
- **PVs de células de silicio amorfo:** se los conoce también bajo la denominación de “capa fina”. El funcionamiento es similar a las cristalinicas, pero su fabricación es diferente. A continuación, se mencionan sus características:
 - » El método de elaboración es accesible y automatización sencilla. Se requiere escaso material activo, generando reducción

en el gasto energético y costos incurridos.

- » Existe mayor predominio para ejecutar módulos flexibles, altamente eficientes y con extensos rangos del espectro.

Con respecto al módulo de células de silicio amorfo, cabe señalar que constituyen las primeras en el mercado en ser comercializadas; poseen la particularidad de ser el material semiconductor con aptitud de sustentarse en superficies de espesor mínimo, normalmente polímeros livianos traslúcidos y de colores, razón por la cual tienen gran importancia estética para aplicaciones arquitectónicas (Reddi, 2009).

La ausencia de una armonía entre la arquitectura y los distintos sistemas activos de EE son barreras que limitan la inclusión de la energía solar (Wall, Munari, Roecker, Dubois, Horvat, Jorgensen, & Kappel, 2012; Gupta, Cemesova, Hopfe, Rezgui, & Sweet, 2014). Por esta razón es necesario determinar diversos aspectos, siendo difícil sin la capacidad de conocer la influencia energética de modelos, frente a ello existen múltiples softwares

especializados que realizan estimaciones virtuales relativas a diversas situaciones (SunFields, 2019). Las tres tecnologías: (Monocristalina, Policristalina y Lámina Delgada) son las más habituales para aplicarse en edificación y están disponibles comercialmente (Zalamea, 2016).

Acorde a la conexión eléctrica realizada en el sistema se tienen las diferentes posibilidades para conseguir la corriente y el voltaje necesarios para una determinada aplicación (Imagen 2.11). La conexión en serie posibilita incrementar la tensión final y comparte una sola terminal, en tanto que, la conexión en paralelo propicia multiplicar la potencia total del conjunto compartiendo dos terminales.

2. Regulador de carga: permite el adecuado funcionamiento del sistema, al encontrarse instalado controla de forma eficiente la energía, evitando sobrecarga y sobredescarga hacia la batería, con el objetivo de extender la vida útil. La batería posee una potencia nominal menor que la de los paneles solares, al no haber un regulador existirían sobrecargas. La comercialización del controlador se da acorde a su rendimiento en el control de

la máxima corriente (amperios) (Allen, Hammonda, Harajli, McManus & Winnett, 2010).

3. Batería: recibe la energía eléctrica previamente regulada y se encarga del almacenamiento de la misma. Los paneles PVs no reciben una irradiación solar homogénea, por lo que presentan alteraciones en la energía receptada por diversas causas, lo que ha hecho imprescindible contar con un sistema de almacenamiento como las baterías o acumuladores. Es comercializada en base a la idoneidad en el almacenamiento de energía y se mide en Amperios hora. Cabe señalar que, en un sistema conectado a la red, la batería no es indispensable (Allen et al., 2010).

4. Inversor: es un dispositivo de corrientes eléctricas alternas, originadas por los módulos PVs para ser inyectado a la red eléctrica o al edificio donde se encuentre instalado (Imagen 2.12). Son circuitos que crean tensión o intensidad alterna a raíz de una fuente de corriente continua y tienen la finalidad de transformar la corriente continua en alterna. Entre las funciones relevantes de cualquier inversor solar se

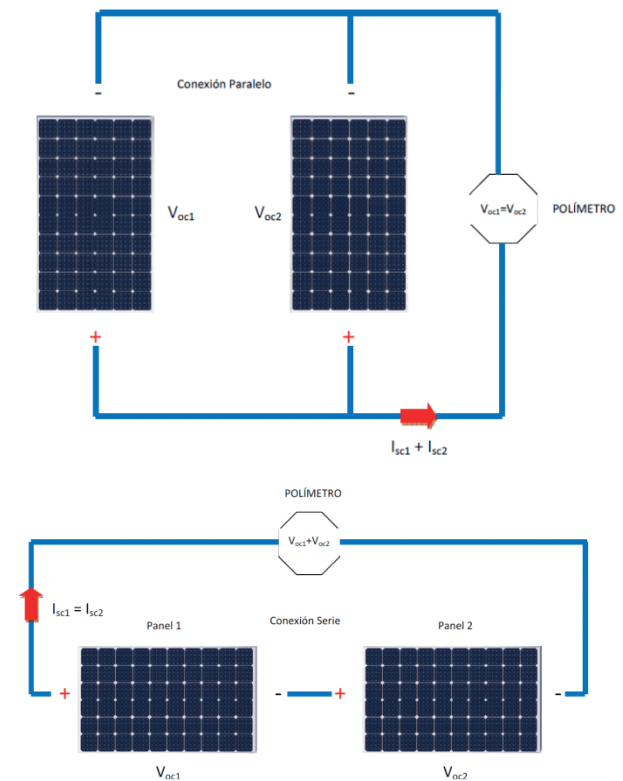


Imagen 2.11: Conexión en paralelo y en serie de paneles fotovoltaicos
Fuente: Rivas, 2019.

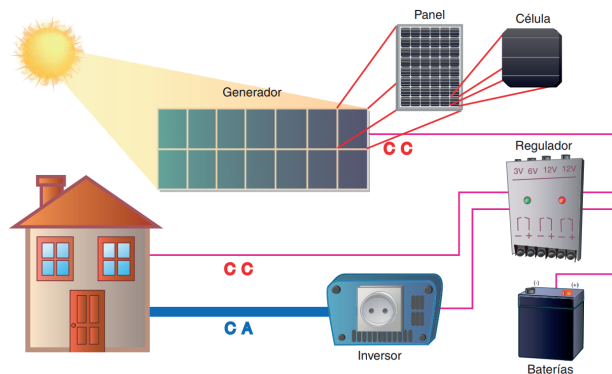


Imagen 2.12: Ilustración de un sistema fotovoltaico independiente con inversor
Fuente: Díaz & Carmona, 2010.

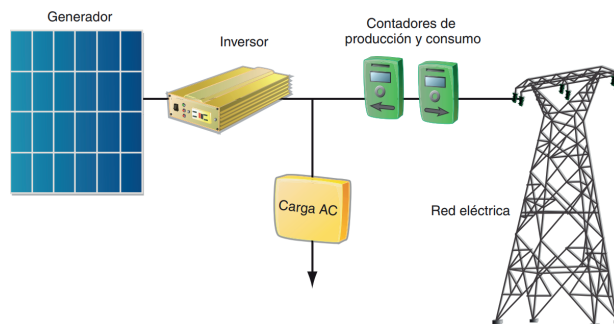


Imagen 2.13: Sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica
Fuente: Díaz & Carmona, 2010.

resalta la de regular el valor de la tensión de salida. Existen varios ejemplares de inversores en el entorno, incluso los novedosos “microinversores”, aspecto que evidencia una gran variedad de ventajas para aplicaciones BIPV. Los inversores de uso PV se clasifican atendiendo a dos criterios de uso, con base a la aplicación y forma de onda: el inversor PV de conexión a red y el inversor para sistemas de 12V, 24V con baterías (Imagen 2.13) (SunFields, 2019).

2.3.2 SISTEMAS PVs CONECTADOS A RED.

Un sistema PV conectado a red se puede definir como un sistema de generación que trabaja en paralelo con la red de la compañía eléctrica local, en otras palabras, las salidas de ambos sistemas que producen energía están conectadas entre sí, a manera de que el primero actúa como si fuera un generador más de la empresa eléctrica, inyectando de esta forma energía en su red de distribución.

Esta tecnología no opera con un subsistema de acumulación para almacenamiento intermedio, ya

que toda la energía generada se inyecta directamente en la red de distribución, descartando su almacenamiento en baterías.

Las instalaciones PVs conectadas a la red tienen un objetivo distinto en comparación a los sistemas autónomos: estos están diseñados para un abastecimiento continuo y estable de una instalación eléctrica, mientras que los conectados a red buscan un rendimiento económico por la venta de la electricidad generada, es por esta razón que los criterios de dimensionado empleados se dirigen en este sentido (SunFields, 2019).

En el Ecuador recientemente se aplicó la política de precios preferenciales para incentivar el uso de fuentes renovables no convencionales hidroeléctrica, eólica, biomasa y biogás, etc. Con respecto a la producción de electricidad tomando como referencia el sistema FIT mencionado en el apartado 2.1 del presente capítulo. Dicho incentivo se estipuló mediante la Regulación Codificada N°.CO-NELEC 001/13, la cual fue derogada corto tiempo después en junio de 2016. En este mandato no se contempló precio alguno para la energía solar PV, evidenciándose una gran deficiencia con

respecto a la incorporación de esta tecnología de ERs (Muñoz, Rojas & Barreto, 2018).

Continuando dentro del ámbito ecuatoriano, según Muñoz, Rojas y Barreto (2018). El costo de la energía producida por un sistema PV es de USD/kWh 0,1342 con la tasa de descuento del 7%, el CF (factor de capacidad) = 15%, mientras que con la tasa de descuento del 10%, CF = 20% el costo de la energía alcanza a USD/kWh 0,1229, valores que no incluyen el banco de baterías ni de los terrenos, estos valores son cada vez más competitivos con relación a otras fuentes renovables no convencionales.

Con ello existen varias formas de conexión entre el domicilio con generación PV y la red eléctrica, mismos que se muestran en la Imagen 2.14.

A criterio de Muñoz et al. (2018) el costo de generación PV depende de los costos de inversión del equipamiento, costos de operación y mantenimiento, la energía entregada por los paneles y el factor de capacidad. Como ejemplo se ha tomado un proceso de contratación a través de la plataforma de compras públicas de 75 kWp. El costo medio

de importación de los módulos alcanzó a USD/Wp 1,11 y los inversores a USD/Wp 0,32. A esta cantidad se debe sumar los componentes nacionales de mano de obra, materiales de soporte de los módulos, cableado y el equipamiento de protección necesarios para la instalación, que en conjunto alcanza a USD/Wp 0,27 (no considera el costo del terreno ni baterías). De esta manera, el costo total de inversión para generación PV es de USD/Wp 1,69.

2.3.3 ENERGÍA SOLAR PV EN EDIFICACIONES

La fundamentación teórica que permite comprender las bases expuestas seguidamente, se encuentran sustentadas en los sistemas PVs: añadido al edificio (Building Added/Applied/Attached Photovoltaics – BAPV) e integrado al edificio (Building Integrated Photovoltaics - BIPV).

- **BAPV:** se fundamenta en añadir paneles PVs en los edificios, son utilizados únicamente para generar energía, y generalmente, se emplean con base a soluciones tipo paneles sobre una estructura fija anclada, ya sea a la cubierta o

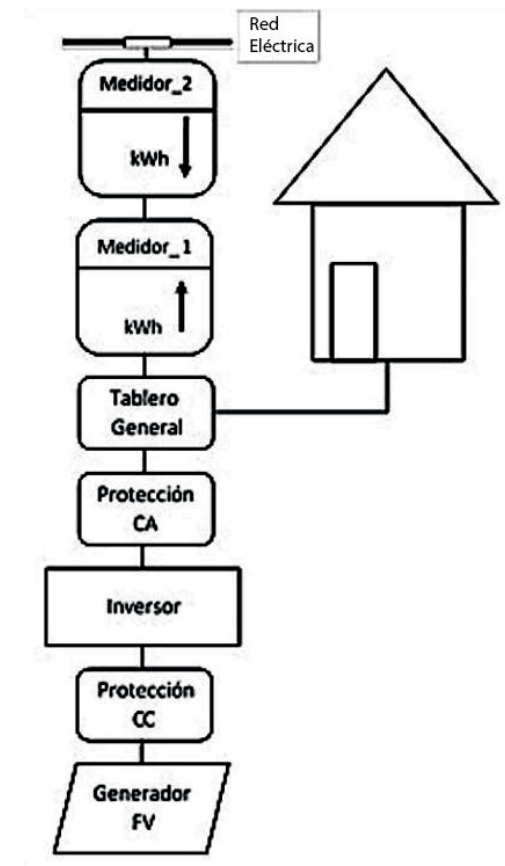


Imagen 2.14: Punto de conexión recomendado con generación fotovoltaica distribuida.

Fuente: Muñoz, Rojas & Barreto, 2011.



Imagen 2.15: Prototipo presentado al Solar Decathlon Europe 2012 (Cubierta BAPV)
Fuente: Castañeda, 2012.



Imagen 2.16: Ejemplo de casa con cubierta BIPV
Fuente: Garrido, 2011.

a la fachada del edificio que se intervendrá, estos paneles no realizan ninguna función de cerramiento y se mantienen mediante una estructura dedicada (Ribeiro, 2015). Este sistema posee la ventaja de poder ser instalado en edificios existentes sin que los costos se eleven exponencialmente (Imagen 2.15).

- **BIPV:** son módulos PVs capaces de generar energía en algún grado de integración arquitectónica, es decir, constituyen un componente más del mismo, este proceso puede ser realizado mediante la sustitución de materiales que se utilizan en la envolvente o elementos arquitectónicos que requiere una edificación (Martínez, 2016). Adicionalmente, es considerado como un componente constructivo y, diseñado para integrar externamente (Imagen 2.16) (Ribeiro, 2015).

2.3.3.1 APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS BIPV EN LA EDIFICACIÓN.

- **Tejados inclinados: módulos semi-integrados.** Consisten en la instalación de módulos convencionales con un bajo nivel de integración ya que funcionan como envolvente de la edificación al sustituir el material de la techumbre, se guía por la misma pendiente y la combinación es menos agresiva frente a los paneles que sobresalen de la cubierta, ya que los módulos se envuelven en un marco que encierra sus 3 lados, es decir, se usa como una respuesta entre los sistemas BIPV y BAPV (Imagen 2.17).
- **Tejados inclinados: tejas PVs.** Se sustentan a partir de la materia prima sintética, reciclable y de elevada calidad, generalmente, las tejas son rígidas y de sencilla colocación. Incluyen canales de enfriamiento integrados para los elementos que conforman la teja; de esa forma, se consigue incrementar la vida útil. Por su parte, el aire generado por este tipo de canales se recoge en el cumbrero (parte más alta de la cubierta) aplicando un proceso de convección natural o por ventilación mecánica.

ca. El aire puede ser aprovechado para su uso dentro de la edificación (Imagen 2.18) (Martínez, 2016).

- **Lucernarios – tejados semitransparentes.** La composición de esta clase de módulo en lucernarios está fundamentada en montantes y travesaños (Imagen 2.19). Por lo general, se realiza en las partes de visión o en áreas opacas de atrios acristalados. Los vidrios que integran las cubiertas son reemplazados por paneles que contienen un grado de transparencia y ajustados a un doble acristalamiento con el fin de no dejar de lado las prestaciones de transmisión térmica. Se debe tratar de que los módulos integrados sean iguales a los sustituidos (Martínez, 2016). Por otro lado, también pueden ser utilizados en edificaciones nuevas, permitiendo una rápida implementación al ser considerados desde la fase de diseño.
- **Tejados planos y curvos.** La instalación de estos paneles tiene un proceso de fácil aplicación, puesto que, se anclan a la fachada por medio de anclajes de acero corrugado, provocando doble utilidad de los módulos,



Imagen 2.17: Superposición en cubierta inclinada
Fuente: Garrido, 2011.



Imagen 2.18: Ejemplo de tejas solares fotovoltaicas
Fuente: Alconia, 2018.



Imagen 2.19: Lucernario de la planta Isofotón; Málaga
Fuente: Garrido, 2011.



Imagen 2.20: Revestimiento fotovoltaico en fachada
Fuente: Garrido, 2011.



Imagen 2.21: Ejemplo de Fachada fotovoltaica utilizando módulos semitransparentes
Fuente: Muñoz, 2009.

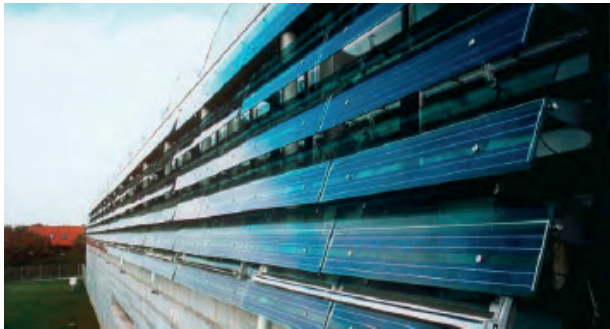


Imagen 2.22: Ejemplo de elementos PV con sombreado en fachada Solornova
Fuente: Garrido, 2011.

como son: la generación de energía eléctrica y una fachada ventilada. La cantidad de paneles se establece de acuerdo la orientación de cada fachada; en efecto, se crea una zona intermedia que facilita la circulación de aire con el propósito de enfriar los módulos PV, lo que mejora la eficiencia y vida útil del sistema (Imagen 2.20) (Martínez, 2016).

- **Fachadas: elementos semitransparentes.** Una opción más para el aprovechamiento de fachadas es la instalación de paneles en los vanos de ventanas. Estos módulos semitransparentes son conocidos por su transparencia luminosa, se los puede encontrar en el mercado como productos de vidrio de seguridad o de aislamiento, que se adaptan a cualquier fachada disponible de espacio para la instalación (Imagen 2.21) (Martínez, 2016).
- **Fachadas: elementos de sombreado.** Este tipo de fachada es utilizado en edificaciones arquitectónicas con el propósito de minimizar la irradiación incidente sobre la envolvente de la infraestructura (Imagen 2.22). El empleo de los módulos produce doble utilidad, como son:

generación de energía eléctrica y mejoramiento de la inercia térmica. Un ejemplo claro son las lamas móviles PVs, puesto que, permiten el sombreado interior y el juego con la luz natural al abrir y cerrar en función de la trayectoria del sol; el sistema provoca resultados altamente óptimos frente al de lamas fijas, aunque se debe considerar también su elevado costo de mantenimiento y la demanda de energía que requieren para la movilidad (Martínez, 2016).

2.3.4 COLECTORES ACORDE A SU INTEGRABILIDAD EN LA EDIFICACIÓN

Las relaciones formales identificadas según lo considerado para colectores solares térmicos, pueden adaptarse a los PVs y son las siguientes:

1. **Colectores simplemente colocados:** se consideran al instalar los colectores sin relación formal, material u otros aspectos relacionados con el inmueble. Generalmente son consecuencia del aprovechamiento de una extensa irradiación o con el fin de evitar incidencia de sombras. Los casos frecuentes

se asocian a colectores térmicos con tanque de almacenamiento incluido, los que tienen más impacto en su apariencia, acrecentando la diferencia volumétrica, pues bien, desde los criterios arquitectónicos resulta la opción menos favorable (IEA SHC, 2012).

2. **Colectores superpuestos en edificación:** son colectores que, de acuerdo con la ubicación en la inmueble, las placas mantienen paralelas a uno de los planos de esta, sea la cubierta o la fachada (Imagen 2.23). A veces se puede interrelacionar con la cromática y materia prima para mantener un diseño homogéneo. El colector se mantiene independiente constructivamente respecto a la envolvente, existiendo una doble-capa (IEA SHC, 2012).
3. **Colectores integrados arquitectónicamente:** cuando sustituyen recubrimientos o elementos funcionales-arquitectónicos de una construcción, bajo las especificaciones de los materiales de exteriores se debe proveer estanqueidad, resistencia mecánica o funcionar como baranda, filtro solar, ventanal, etc. Es decir, los colectores suelen ajustarse a la geometría

como la composición estética, respetando la modulación, relación con juntas materiales y reglas compositivas, buscando aportar de manera positiva a la expresión arquitectónica (Imagen 2.24) (IEA SHC, 2012).

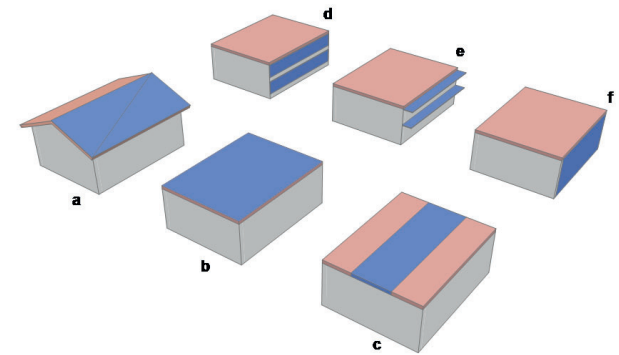


Imagen 2.23: Posibilidades de colocación de colectores en edificación

Fuente: Zalamea, 2016.

Elaboración: Autores.



Imagen 2.24: Tejas fotovoltaicas sobre cubierta

Fuente: Garrido, 2011.



2.3.5 CRITERIOS DE INTEGRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR ACTIVA EN ARQUITECTURA

Existen varias posturas de diseño respecto a la integración arquitectónica de colectores solares, como por ejemplo el estudio “Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura potencial tecnológico y consideraciones proyectuales” de los autores Zalamea & Quesada; cuyo trabajo de investigación estudia los distintos lineamientos que profesionales de la arquitectura deberían tomar en cuenta para lograr resultados arquitectónicos que sean técnicos, eficientes y de calidad.

Se describen los niveles y formas de integración al mismo tiempo que se consideran las capacidades de abastecimiento. Todo ello tiene como base las conceptualizaciones teóricas básicas publicadas por Kaan y Reijenga (2004) como resultado de una investigación inicial de tecnología PV en la edificación, guiada por la Agencia Internacional de Energía (IEA Solar Heating y Cooling Program Task 16, 1995). En el contexto de estas posturas de diseño y bajo el análisis de los autores se reconoce los siguientes niveles respecto a la integración arquitectónica que toman en cuenta tanto

los resultados expresivos, así como producción energética:

- Nivel 0 – (Sin integración): se presenta cuando la tecnología de captación contribuye a demandas energéticas, pero son independientes geométricamente, es decir su forma no mantiene relación con ninguna parte de la edificación, y se limita al uso de la estructura existente como soporte físico (Terra Ecología Práctica, 2007).
- Nivel 1 – (Formal): los equipos de captación mantienen su superficie externa mayor en paralelo y coplanar a elementos del edificio ya sean cubiertas o fachadas, tienen la facilidad de ser retirados ya que existe la superficie de cobertura en la parte baja del equipo. (SUPSI Competence Center, 2008).
- Nivel 2 – (Funcional): se da cuando la tecnología de captación mantiene una superficie externa mayor en paralelo y coplanar, desarrollando un rol de protección a la intemperie de la edificación, siendo parte de la cubierta o como un revestimiento de fachada. (Swiss Me-

gasol & SUPSI Competence Center, 2011).

- Nivel3 – (Expresión): los equipos disponen una superficie externa que aporta en gran medida a la parte expresivo general del edificio. (Shade Optisol & SUPSI Competence Center, 2011).
- Nivel 4 – (Multiplicidad): la tecnología de captación contribuye expresivamente y aporta en gran medida a requerimientos energéticos, guiando la expresión y el aspecto final del edificio, es decir, el diseño del edificio toma la condicionante de “maximación energética” llegando a ser una parte primordial en el diseño, eficiencia y producción energética al igual que su expresividad (The Eliotrope House) (Disch, 1994).

Los autores mencionan que estos criterios no suponen los mejores resultados o una mejor alternativa por sí solos entre niveles 1 y 4. La compaginación puede ser más oportuna, siempre que se considere de forma efectiva respecto al diseño, es decir más aceptable que pasen imperceptibles, dependiendo del caso y del resultado. La postura que adopte

el profesional de la construcción se verá catalogado en algún nivel antes descrito, dependiendo de la solución que escoja al integrar las distintas tecnologías solares en la envolvente.

Finalmente, es necesario mencionar que los productos para integración arquitectónica hoy en día se encuentran en desarrollo, y tiene una afección directa a la disponibilidad de productos para el reemplazo de elementos constructivos o de una obra arquitectónica (Quesada & Zalamea, 2017).

2.4 CRITERIOS ESTÉTICOS, FUNCIONALES Y CONSTRUCTIVOS DE TECNOLOGÍA SOLAR PV EN ARQUITECTURA



Imagen 2.25: Estación de Bomberos en Houten, Países Bajos. Paneles transparentes han sido fijados en el techo curvado
Fuente: Echeverría, 2011.



Imagen 2.26: Pasillo interior del centro de información ambiental "De Kleine Aarde en Bortel", Países Bajos. La instalación fotovoltaica contribuye al interior atractivo
Fuente: Muñoz, 2009.

Los arquitectos se enfrentan a la decisión de incorporar o no paneles PVs en los diseños, debido a que estos elementos representan variaciones físicas, estructurales, electrónicas, financieras y organizativas del edificio. En la actualidad, existe una amplia diversidad de soluciones insatisfactorias, demostrando así que varios profesionales de la rama todavía están luchando ante esta situación (Kaan & Reijenga, 2004).

En un estudio del programa AIE PVPS, un equipo de expertos investigó cuáles son los requisitos fundamentales para el cumplimiento de los criterios de diseño enfocados a proyectos de energía PV de buena calidad, con el fin de producir la integración exitosa de PV. Permitiendo así que investigadores desarrollen una serie de criterios (no en exceso subjetivos), en donde, la integración de la energía PV en edificios sería arquitectónicamente clasificados e incluso evaluados.

Los criterios son catalogados como una guía tanto para el diseñador como para un crítico de arquitectura (Kaan & Reijenga, 2004). El equipo de expertos dio su punto de vista mediante evaluaciones anónimas y escritas de aproximadamen-

te 50 proyectos de integración arquitectónica:

- **Integración natural de la instalación PV.-** Hace referencia a que el sistema de paneles PV forma una parte lógica de la estructura y añade el toque de acabado al edificio (Imagen 2.25). En un entorno de intervenciones arquitectónicas, el resultado debe ser como si el sistema PV estuviera en la edificación antes de ser renovado (Kaan & Reijenga, 2004).

El sistema PV es arquitectónicamente agradable, en el contexto de la construcción, es decir, la edificación debe ser atractiva y el sistema PV no debe mejorar notablemente el diseño (Imagen 2.26). Estas características evidencian un tema subjetivo, no obstante, se vuelve evidente que algunos edificios son considerados de mayor agrado que otros para las personas.

- **Composición de colores y materiales.-** El color y la textura de la instalación PV tienen un rol fundamental, por lo que deben ser compatibles con los otros materiales de construcción.

Bajo tal contexto, el sistema de paneles debe estar en armonía con el edificio; por su parte, las dimensiones del sistema de PV deberán estar relacionadas y coincidir con la modulación de la edificación (Imagen 2.27); puesto que, dichos factores determinarán las líneas de cuadrícula de construcción a ser utilizadas (Kaan & Reijenga, 2004).

- **Sistema PV y el contexto de la construcción.-** El aspecto del edificio, en su conjunto, debe ser compatible con el sistema PV. Por ejemplo, en un edificio histórico, un sistema de tipo de baldosas se verá mejor que los grandes módulos de paneles PV (Imagen 2.28). Un sistema PV de alta tecnología, sin embargo, se verá mejor en un edificio con lenguaje tecnológico (Kaan & Reijenga, 2004).
- **Diseño del sistema y su integración.-** Este aspecto se refiere a la elegancia de los detalles. Dichas consideraciones conllevan a la influencia de los pormenores de trabajo en obra. La aplicación de la energía PV conduce a diseños innovadores; muchos de los sistemas PVs se utilizan de distintas partes de la construc-

ción (Imagen 2.29), pero la tecnología avanza y aún y aún habrá una gran cantidad de nuevas formas de ser desarrollados (Kaan & Reijenga, 2004).

2.4.1 INCORPORACIÓN DE PANELES PVs EN EL DISEÑO DE EDIFICIOS

Los factores expuestos en párrafos anteriores son aplicados mayoritariamente en materiales y componentes de construcción. El hecho de que una gran parte de estos puntos se aplican automáticamente a los materiales tradicionales, pero se formulan y discuten solo para paneles PVs, se debe a que la tecnología PV no se considera como un material indispensable en el ámbito arquitectónico, como, por ejemplo: en las ventanas, cubiertas, muros y fachadas. Los edificios sin ventanas desde una perspectiva arquitectónica son inaceptables, mientras que, las edificaciones sin muros son prácticamente imposibles.

Por otro lado, en cuanto a los sistemas PVs, lo importante es que se encuentren integrados adecuadamente y reciban la máxima irradiación, evitan-



Imagen 2.27: Bolzano, Edificio montaje de paneles solares sobre pared, integración arquitectónica
Fuente: Massa, 2015.



Imagen 2.28: Energía solar fotovoltaica en colegios y universidades: Colegio Alianza Francesa Chamisero
Fuente: El Mostrador, 2018.



Imagen 2.29: Museo de los Niños, Roma, Italia, con un sistema fotovoltaico integrado en la protección solar
Fuente: Google Maps, 2019.



Imagen 2.30: Casas de estilo histórico en el Parque de Investigación Nacional de Inicio en Bowie, Maryland, EE.UU
Fuente: Neighoff, 2019.

do así se hallen solo como un elemento “añadido”. Con la finalidad de alcanzar un adecuado valor arquitectónico, se puede aplicar las siguientes clases de integración PV:

- Aplicación de forma invisible. Al abordar de una manera imperceptible a la edificación, el resultado no es inquietante. En consecuencia, se logra dar una armonía al proyecto total. Una investigación realizada en el National Research Home Park (Imagen 2.30) constituye un ejemplo, en donde el proyectista logra integrar paneles PVs en el diseño de forma invisible. Esta solución fue elegida, debido a que todo el proyecto está basado en una arquitectura histórica. Por lo tanto, materiales de alta tecnología no son apropiados para este estilo arquitectónico.
- El sistema PV se añade al diseño. En este caso la integración edificio no es muy utilizada, puesto que la colocación de paneles PV se aplican de forma directa sobre la edificación, lo cual, no representa que la integración arquitectónica sea insuficiente. Por ende, el sistema añadido PV no siempre es visible (Imagen 2.31).
- El sistema PV se suma a la imagen arquitectónica. Se da cuando el sistema se integra perfectamente en el diseño final del edificio, sin la necesidad de cambiar la imagen del proyecto. Se podría decir que la composición contextual es muy favorable al resultado de diseño final (Imagen 2.32).
- El sistema PV determina la imagen arquitectónica. En este caso, se integra en el diseño de una manera notable y agradable, aparte de desempeñar un papel realmente importante en la imagen total del inmueble (Imagen 2.33).
- Nuevos conceptos arquitectónicos. Una vez fomentado la aplicación de módulos PV y en combinación con otros tipos de energía solar, se sugiere la creación de diseños innovadores. (Imagen 2.34). La integración de estos paneles es considerada a nivel conceptual, como un sistema que da el valor añadido de un proyecto.

Es esencial señalar que el equipo investigador de la AIE BIPV, clasificó categorías en función al aumento del grado de integración arquitectónica. Un

proyecto no siempre se lo cataloga como uno de menor calidad por el hecho de que los módulos PVs no se encuentren colocados a la vista. O si la intención es intervenir en proyectos de renovación de estilos arquitectónicos históricos. El desafío de este sistema se basa en la integración de módulos PVs en los edificios de manera correcta. Los paneles PV son un nuevo material para edificaciones y ofrecen una gran variedad en alternativas de diseño.



Imagen 2.31: Proyecto 13MW en Amersfoort Nieuwland, Países Bajos. Sistemas fotovoltaicos añadidos visiblemente
Fuente: Kaan & Reijenga, 2004.



Imagen 2.32: Instituto Suizo EMPA integración de sistemas fotovoltaicos en fachada en combinación con el movimiento del sol
Fuente: Bona, 2017.



Imagen 2.33: Proyecto 5MW en Langedijk, Países Bajos, casas con un gran techo que se encuentra totalmente cubierto de módulos PVs, sin perforaciones de drenaje
Fuente: Agentschap, 2010.



Imagen 2.34: Cubiertas provistas de una construcción de acero que se ajusta sobre las casas
Fuente: Agentschap, 2010.

2.5 CASOS DE ESTUDIO



Imagen 2.35: Edificio Kraftwerk B junto a la iglesia Sebastián
Fuente: Reina, 2014.



Imagen 2.36: Paneles PVs y CSTs en el edificio
Fuente: Reina, 2014.

La arquitectura está comprometida en buscar soluciones para conseguir mejoras en la construcción que reduzcan los problemas medioambientales y lograr así la EE. En tal virtud, a nivel mundial como local se muestran resultados exitosos de la implementación de tecnologías PV.

2.5.1 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES EN EDIFICIOS MULTIFAMILIARES

En el ámbito internacional y en relación con edificios multifamiliares, se seleccionaron casos de estudio de países como: Suiza, Finlandia, Austria, Italia y Alemania, de los cuales se presenta una descripción, las estrategias utilizadas, eficiencia alcanzada y algunas fotografías. Cabe recalcar que, en el caso de Latinoamérica no se evidencian estudios desarrollados a profundidad enfocados a esta tipología. A continuación, se destacan los siguientes proyectos:

2.5.1.1 CASO DE ESTUDIO KRAFTWERK B - BENNAU, SUIZA

"Kraftwerk B" es el primer edificio de viviendas

multifamiliares en Suiza, con balance energético positivo y huella de carbono cero (incluso negativa). Se encuentra ubicado en el centro del pueblo suizo de Bennau, alado de la iglesia de San Sebastián (Imagen 2.35). Su construcción data del año 2009 a cargo del arquitecto Josef Grab (Bruggemann, 2010).

Albergando a siete familias con una superficie total de 1380m², se adapta a la forma específica de la iglesia vecina. El que corresponde con la forma compacta, la orientación sur, las amplias ventanas para la utilización de la energía solar pasiva, el alto nivel de aislamiento térmico y sistema de ventilación. Adicionalmente, más de 370m² de células PVs y colectores solares térmicos, se integran en la envoltura del edificio; por lo tanto, se convirtieron en el elemento que define el diseño (Imagen 2.36) (Bauer & Schoof, 2009). Originalmente la propuesta consistía en una cubierta plana, pero las autoridades encargadas no aprobaron esta solución, prefiriendo una cubierta a dos aguas, la cual resultó mejor, ya que la pendiente de 43°, implicó una satisfactoria integración de los paneles PVs.

Grab Architects optó por una estructura de hormigón armado con una fachada de paneles de madera. La fachada y el techo están provistos de un aislamiento térmico (celulosa y lana mineral) de 50cm de espesor y ventanas de triple acristalamiento en las habitaciones. Una calefacción por suelo radiante a baja temperatura y materiales libres de contaminación en los interiores aseguran un clima interior agradable y saludable (Bauer & Schoof, 2009).

Para abastecer las demandas eléctricas, se instaló una planta de energía solar de 32kWp en la pendiente suroeste del techo. Los módulos PVs con un área total de 261m² desempeñan el papel de techado (Imagen 2.37). Producen 32000kWh/año e inyectan anualmente un excedente de aproximadamente 7000kWh en la red pública. Es por ello que, la edificación, es considerada una "estación de energía", puesto que el exceso de electricidad se vende a la red y viceversa (Garde & Donn, 2014).

En cambio, los CSTs para proporcionar suministro de agua caliente y calefacción con un área de 146m², se integran de manera ejemplar en la

fachada suroeste y determinan en gran medida el aspecto arquitectónico del edificio (Imagen 2.37 y 2.38). En conjunto con una bomba de calor, con pequeños hornos de leña instaladas en cada vivienda, así como con el intercambiador de calor de agua utilizado, el sistema solar térmico produce aproximadamente 10000kWh/a de exceso de energía, la cual se emite en forma de agua caliente al edificio vecino (Imagen 2.39) (Garde & Donn, 2014). En suma, el "Kraftwerk B" produce un 10% más de energía (para todas las necesidades) de lo que consume. Siendo el consumo anual de energía de aproximadamente 62000kWh y su producción de 70000kWh (Tabla 2.03).

Es importante mencionar que todos los electrodomésticos cumplen con la clase de eficiencia A+ o A++, por lo tanto, requieren poca electricidad. Las lavadoras y secadoras están equipadas con un sistema de recuperación de calor. Los inodoros funcionan con agua de lluvia, recogida en dos grandes tanques esféricos con una capacidad total de 20000 litros. Los lavavajillas y las lavadoras están conectados al sistema de agua caliente, siendo suministrada de manera eficiente desde los CSTs y no desde la red eléctrica. Por último, cada depar-



Imagen 2.37: Caso de estudio Messequartier Graz - Austria
Fuente: Reina, 2014.



Imagen 2.38: Fachada frontal de la edificación
Fuente: Reina, 2014.



DEMANDA ENERGÉTICA			
	kWh/m ² .a	%	kWh/a
Calefacción	13,8	30,6	19000
Agua caliente	16,7	37,1	23000
Electricidad	14,5	32,2	20000
Demanda Energética	45,0	100,0	62000
APORTE DE ENERGÍA 2009			
1. Aporte de energía autogenerada			
Energía solar térmica (146m ²)	205,4	42,8	30000
Energía PV (261m ² /32,0kWp)	122,5	45,7	32000
Energía solar total	49,2	100,0	62000
Calor medionambiental (3,9kWp)			6000
Recuperación de calor de agua caliente			2000
2. Aporte de energía exterior (madera)	5,1	9,1	7000
3. Aporte de energía total		100,0	77000
4. Excedente de energía solar		10,4	8000
BALANCE ENERGÉTICO ANUAL			
Demanda energética total	45,0	59,2	62000
Aporte de energía autogenerada	50,7	110,0	70000
Biomasa (transporte de madera)	5,1	11,3	7000
Área energética de referencia: 1380m²			

Tabla 2.03: Consumo de energía primaria
Fuente: Reina, 2014.

tamento tiene una pantalla especial que muestra el consumo de energía como un gráfico de barras en tres colores (gris=normal, rojo=malo y verde=bueno), para motivar a los habitantes optimizar el consumo energético (Brüggemann, 2010).

La edificación al presentar un balance energético positivo no causa ninguna emisión de CO₂. Mejor aún: gracias a su exceso de producción de corriente solar y agua caliente, evita al menos 47,5 toneladas de emisiones de CO₂ por año, en comparación a un edificio construido acorde a las normas legales MoPEC (Bauer & Schoof, 2009).

Es así que, por todo lo mencionado el edificio recibió el sello suizo Minergie-P-Eco, dado al más alto nivel de EE suiza. Este estándar solo se puede lograr si todo el concepto de la edificación, en términos de forma, orientación y superficies de ventana, se adapta claramente a él (Bauer & Schoof, 2009). Adicionalmente, el "Kraftwerk B" recibió el Premio Solar Suizo en 2010 como una edificación ejemplar eficientemente energética. Finalmente, con una campaña de medición de dos años en funcionamiento, se demostró que realmente logra el "plus" en la producción de energía,

haciendo importantes hallazgos para futuros proyectos (Bauer & Schoof, 2009).

2.5.1.2 JÄRVENPÄÄ ZERO ENERGY HOUSE-FINLANDIA

Proyecto de edificio residencial considerado como uno de los primeros de energía cero de Finlandia (Imagen 2.40). Su año de construcción data del 2010 y se realizó de acuerdo con las nuevas regulaciones de construcción que entrarán en vigencia en 2020. La edificación cuenta con 44 hogares para personas mayores con trastornos de la memoria (Imagen 2.41).

Se optó por el calor del suelo y la energía solar para la producción de energía; aprovechando la disponibilidad de energía gratuita, al elegir ascensores que almacenan y utilizan la energía creada durante el frenado. En verano, los pisos se pueden enfriar con un dispositivo de ventilación que utiliza aire frío de un pozo de calor; adicionalmente existe la posibilidad de vender energía extra a las edificaciones vecinas (Erhorn & Erhorn, 2014).



Imagen 2.39: Esquema de ingeniería Kraftwerk B
Fuente: Reina, 2014.



Imagen 2.40: Caso de estudio Järvenpää Zero Energy House, vista frontal
Fuente: Käkälä, Viitanen & Finnäs, 2013.



Imagen 2.41: Järvenpää Zero Energy House, vista lateral
Fuente: Käkälä, Viitanen & Finnäs, 2013.



Imagen 2.42: Caso de estudio Järvenpää Zero Energy House, vista área
Fuente: Käkälä, Viitanen & Finnäs, 2013.

USO DE ENERGÍA FINAL		
PARÁMETROS	MÉTODO DE CÁLCULO: herramienta simulación VTT House	
Calefacción	12,00	kWh/m ² .año
Agua caliente	25,00	kWh/m ² .año
Enfriamiento	0,00	kWh/m ² .año
Ventilación	3,00	kWh/m ² .año
Iluminación	0,00	kWh/m ² .año
Auxiliar electricidad al aire libre	4,00	kWh/m ² .año
TOTAL	44,00	kWh/m².año

Tabla 2.04: Uso y consumo de energía final
Fuente: Erhorn & Erhorn, 2014.

Tras el endurecimiento de las regulaciones energéticas sobre la construcción de viviendas, el proyecto nació con el objetivo de proporcionar un ejemplo de construcción de bloques de energía cero. El proceso se desarrolló con la demolición del antiguo edificio, iniciando desde cero la totalidad del proyecto. Los costos de construcción se mantuvieron en un nivel moderado y el edificio resultó ser totalmente accesible.

Se instalaron sensores y sistemas de monitoreo en la propiedad para recopilar datos, los que serían utilizados en investigación y desarrollo. Datos utilizados para optimizar el funcionamiento de los sistemas.

La calefacción se encuentra suministrada por bombas de calor geotérmicas, requeridos para enfriar durante el verano; el agua interior se calienta por 35 CSTs. Por otro lado, la electricidad utilizada en el edificio es generada por 72 paneles PVs (Imagen 2.42); el sistema de ventilación recupera aproximadamente el 80% de la calefacción para su reutilización (Tabla 2.04).

Estas fuentes de ERs producen más energía en un

año que la que consumen los sistemas de construcción y calefacción, todo el exceso de energía térmica se vende internamente a una residencia vecina.

Tras estos esfuerzos de obtener una edificación con las mejores prestaciones para los usuarios se alcanzó los siguientes premios (Erhorn & Erhorn, 2014):

- Al edificio más ambientalmente consciente premio 2013
- Premio a la construcción sostenible 2011 y Constructor del año 2011
- El actor más influyente residencial 2010

2.5.1.3 CASO DE ESTUDIO SOCIAL HOUSING COMPLEX DIESELWEG GRAZ - LIEBENAU, AUSTRIA

El caso es un ejemplo de la aplicación de tecnología de alta calidad y el uso de fuentes de ERs en viviendas sociales de edificios residenciales (Imagen 2.43). El punto de partida de esta inter-

vención fue las condiciones de energía en las que se encontraba el edificio, las paredes exteriores, el piso, hasta el sótano y el techo de la planta superior, no estaban aislados; el suministro de calor consistía en una mezcla de aceite y calderas de combustible sólido a manera de estufas individuales y calefacción eléctrica. El calentamiento de agua sanitaria era posible gracias al uso de electricidad.

Los ambiciosos objetivos del proyecto se basaron en lo siguiente:

- La reducción de la demanda de energía de calentamiento por 91%.
- Reducción de los costes de agua caliente de alrededor de 0,40€ a 0,10€ m² /mes.
- Y reducción en las emisiones de CO₂ en un 89%.

Aumentando de esta manera el valor de la propiedad y sobre todo mejorando la calidad de vida de los propietarios (Gschier & Stückler, 2014).

En el desarrollo del proyecto se determinó el uso de una fachada solar para crear un clima cálido, que crea el marco necesario para la calefacción del espacio global del sistema y el suministro de agua caliente con alta fracción solar, en combinación con un nuevo sistema de calefacción tecnológica; proporcionando así aire fresco que circula constantemente a través de los sistemas de ventilación, la distribución de agua caliente y calefacción centralizados.

El conjunto de la fachada sur se caracteriza por estar cubierto de módulos PVs, a 70° desde el eje horizontal, la cual, se funde en el techo y crea una gran columnata que da acceso a los talleres y laboratorios. Las paredes de la edificación tienen doble funcionalidad: recoger la energía del sol y de agua lluvia para el riego de jardines.

Dentro de la fachada, la estructura de panal hecha de celulosa reciclada, protegida por acristalamiento ventilado, eleva la temperatura de la superficie de las paredes casi a temperatura ambiente (Imagen 2.44). Dotando de comodidad y reduciendo los costos de operación. En el verano, la estructura de nido de abeja solar crea su propia



Imagen 2.43: Caso de estudio Social housing complex in Graz-Liebenau Austria
Fuente: Peraudeau, 2019.



Imagen 2.44: Fachada Social housing complex in Graz-Liebenau Austria
Fuente: Peraudeau, 2019.

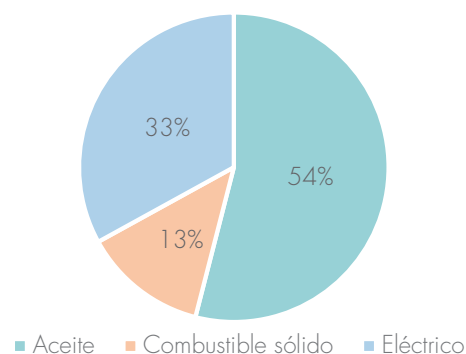


Imagen 2.45: Energía total usada previo a la remodelación
Fuente: Gschier & Stückler, 2014.

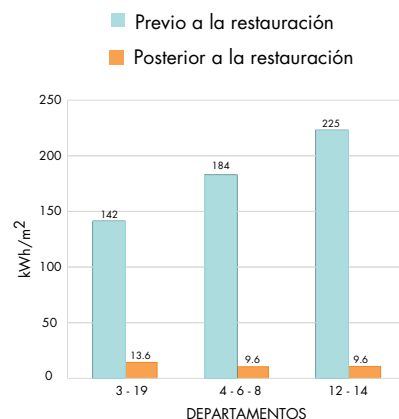


Imagen 2.46: Indicadores de energía en calefacción de espacios de inmueble
Fuente: Gschier & Stückler, 2014.

sombra, cabe destacar que no se requieren sistemas de protección.

En cuanto al suministro de energía usada en la edificación previa a la remodelación, arroja datos de uso de combustibles, aceite y electricidad, siendo el último un componente bastante alto para el abastecimiento de energía al edificio, con la totalidad del 54% en comparación con las demás fuentes de producción de energía (Imagen 2.45).

Las cifras de energía a detalle estimaron los datos de consumo energético en el ámbito comparativo del proceso de calefacción de espacios; dando como resultado la reducción del consumo de energía y emisiones de CO₂ en un 90% del total que demandaba la edificación en un inicio (Imagen 2.46).

El mayor cambio logrado en la reducción de consumo energético se aprecia claramente en los departamentos 12-14, con una reducción mayor al promedio de todos los departamentos analizados dentro en el inmueble (Gschier & Stückler, 2014).

2.5.1.4 CASO DE ESTUDIO SOSTENIBILIDAD Y AHORRO DE ENERGÍA ALESSANDRIA PHOTOVOLTAIC VILLAGE - ITALIA

El proyecto de edificaciones de Alessandria Fotovoltaica fue desarrollado durante los años 2000 a 2005 bajo la coordinación del Consejo de Operadores de edificación residencial de la Provincia de Alessandria (Imagen 2.47).

La tecnología PV se instaló dentro de un área de vivienda pública como parte de la regeneración urbana y ambiental de la zona. El área total de la obra es de aproximadamente 72000m². La superficie residencial se encuentra en alrededor de 47000m², mientras que la cantidad de viviendas son de 304.

La superficie más grande se estructuró en cinco bloques con 40 departamentos, mientras que el área más pequeña posee 96, pero estructurada en tres bloques. Los módulos PVs instalados en los edificios se integran tanto en el techo como en las fachadas sur de los dos bloques, colocado como una piel de construcción para proteger las escaleras de los bloques (Imagen 2.48). La potencia PV

total instalada es de alrededor de 160kWp, para una producción estimada de 160,000kWh por año y la reducción de CO₂ de 100 toneladas por año. Una capacidad de 76kWp se instala en las zonas de propiedad compartida del condominio (luces de garaje, escaleras, etc.).

El Municipio de Brescia y ASM Brescia S.p.A. (Especializada en generación de energía, gas, electricidad y distribución de agua y calefacción urbana), se organizó para la monitorización de los sistemas PVs (Imagen 2.49) instalados, con el fin de verificar el adecuado funcionamiento de los sistemas, detectar la cantidad de energía producida y evaluar el sistema que alimenta a la red y que es absorbido directamente por el usuario (Lobaccaro, Lindkvist, & Wall, 2018).

El coste total de los PVs fue alrededor de \$1,3 millones de los cuales alrededor del 70% fue financiado con el programa ministerial de los "10000 techos fotovoltaicos". Debido a las características ambientales y de sostenibilidad, la iniciativa ganó el primer lugar de ciudades sostenibles, anunciadas por el Ministerio de Medio Ambiente. Los ingresos del premio fueron de alrededor de

\$137631 y se utilizó para la difusión del conocimiento del medio ambiente y las iniciativas en materia de protección del mismo.

Además, el condominio brinda agua potable segura para uso doméstico normal y agua no potable para el riego, tiene jardines públicos/privados (Imagen 2.50). Otro elemento importante identificado es la ausencia de la red de gas para uso doméstico. En lo que respecta, la elaboración de alimentos incluye el uso de placas de inducción eléctrica (Lobaccaro et al., 2018).

2.5.1.5 KLEEHAUSER - FREIBURG, ALEMANIA

Es un proyecto de edificio residencial ubicado en Freiburg, Alemania, se terminó de construir en el año 2006, posee una superficie útil de 2520m² y cuenta con 25 apartamentos.

En cuanto a la construcción, sus paredes se encuentran bien aisladas y las ventanas son de triple acristalamiento; el diseño solar pasivo se apoya en una disposición asimétrica de las ventanas; sus fachadas acristaladas se encuentran orientadas al



Imagen 2.47: Paneles PVs instalados en el edificio
Fuente: Lobaccaro, Lindkvist, & Wall, 2018.



Imagen 2.48: Alessandria Photovoltaic Village, vista aérea
Fuente: Lobaccaro, Lindkvist, & Wall, 2018.



Imagen 2.49: Sistema modular, paneles PVs instalados en la fachada de edificio de Alessandria
Fuente: Lobaccaro, Lindkvist, & Wall, 2018.



Imagen 2.50: Centro social equipado con PV
Fuente: Lobaccaro, Lindkvist, & Wall, 2018.



Imagen 2.51: Edificios comunidad Kleehäuseran
Fuente: Voss & Musall, 2012.



Imagen 2.52: Fachada norte edificios Kleehäuseran
Fuente: Voss & Musall, 2012.

sur para optimizar ganancias de energía solar pasiva en invierno (Imagen 2.51).

Los balcones están diseñados en voladizo y se extienden hasta dos metros proporcionando de esta manera sombra para evitar el sobrecalentamiento en verano (Imagen 2.52). En el resto de fachadas del edificio existe un menor número de ventanas para facilitar la iluminación dentro de la edificación (Goldstein, 2015).

En cuanto a la producción de electricidad, los PVs policristalinos montados en la cubierta mantienen un ángulo de inclinación = 30° , Acimut = 0° Sur; los cuales en un inicio se había previsto una generación de 23000 kWh pero dadas las condiciones del lugar, variaciones climáticas y factores ajenos, la generación producida gracias a los PVs fue de 22529 kWh (Voss & Musall, 2012). Es decir cumple en un 98% de lo previsto en el proyecto (Tabla 2.05).

Estos resultados son solo de PVs (Imagen 2.53) instalados en la cubierta de la edificación, ya que existe un montaje de turbinas de viento en el mismo lugar del proyecto las cuales generan una

potencia nominal de 6300kW y una producción de energía de 21.48(kWh/m².a) (Voss & Musall, 2012).

La demanda final de energía anual de la comunidad en el año 2010 fue de 102kWh/m².a repartidos entre 27kWh/m² de electricidad y 75 kWh/m² a partir de gas natural.

Varios factores son los que contribuyen a hacer que la energía del proyecto de la comunidad de Kleehäuseran sea eficiente, entre algunos se puede destacar: la geometría compacta de los edificios y sobre todo la orientación dada hacia el Sur.

Las instalaciones comunes como talleres, salones, cocinas, lavandería y cuartos de secado, juegan un papel importante, puesto que ayudaron a reducir el volumen de construcción y a su vez el consumo de energía de los edificios (Voss & Musall, 2012).

La eficiente iluminación tanto exterior e interior a cargo de la tecnología LED, el ahorro de ascensores eficientes y otros aparatos de energía, así como las placas de cocción a gas ayudan en cuanto

a la reducción de la demanda de electricidad.

Por otro lado, el sistema de ventilación mecánica instalada en el proyecto brinda una mejoría en cuanto a la conservación de energía gracias a su nivel de recuperación de calor con el 85%, el flujo de aire se ajusta individualmente en cada apartamento. Gracias a la ventilación continua con aire caliente, el aire interior se mantiene seco e incluso en invierno.

Tras el análisis de este caso de estudio se reconoce que algunos de los obstáculos para lograr un edificio con ER se da debido por el uso de fuentes de energéticas no renovables, como gas natural.

A partir del 1 de enero de 2016, el factor de ponderación de energía primaria para la electricidad en Alemania se estableció en 1,8, lo que obligaría nuevamente a la comunidad de Kleehäuseran a ampliar su generación de ER. Aunque cualquier instalación de equipos complementarios que no estaba previstos en el proyecto en la fase de planificación afecta la viabilidad económica general, se disminuye la eficiencia de las tecnologías aplicadas individualmente (Voss & Musall, 2012).

PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD PV

Ángulo de inclinación	30°
Azimut	30° Sur
Tecnología	Células policristalinas
Potencia nominal (kW)	23kWp
Superficie (m ²)	202 m ²
Rendimiento (kWh/m ² .a)	9.10
Generación prevista (kWh)	23000.00
Generación medida (kWh)	22529.00

Tabla 2.05: Producción de electricidad PV
Fuente: Voss & Musall, 2012.



Imagen 2.53: PVs sobre cubierta edificios Kleehäuseran
Fuente: Voss & Musall, 2012.



Imagen 2.54: Estado actual edificio residencial año 1909
Fuente: Aguacil et al, 2017.



Imagen 2.55: Estado actual edificio residencial año 1972
Fuente: Aguacil et al, 2017.

En este caso específico, al momento de cubrir la nueva demanda de electricidad mediante la instalación de nuevos paneles PVs adicionales da como resultado una disminución de la eficiencia; cambiando de esta manera la función de principal proveedor de energía en el sitio a un sistema de respaldo de energía para la comunidad (Goldstein, 2015).

2.5.1.6 EDIFICIOS RESIDENCIALES DE LOS AÑOS 1909 Y 1972 - SUIZA

Se presenta un proceso de diseño arquitectónico integrado para abordar proyectos de renovación, mediante una comparación de dos edificios residenciales de los años 1900 y 1970 en Neuchatel (Suiza), incluyendo el diseño de diferentes escenarios, en el cual denoten estrategias pasivas, activas y de integración arquitectónica. Una optimización del potencial BIPV basado en el nivel anual de irradiación solar se lleva a cabo para maximizar el autoconsumo y autosuficiencia.

El primer edificio del análisis (Imagen 2.54), fue construido en 1909, posee 4 plantas con 8 apartamentos y una superficie de piso de 788m². En

las paredes de fachada mantiene un espesor de 40cm, sus ventanas son de acristalamiento simple, mientras que la cubierta es inclinada y tiene un acabado de tejas de cerámica (Aguacil, Lufkin, & Rey, 2017).

El segundo edificio (Imagen 2.55), se construyó en 1972, posee 11 plantas con 52 departamentos y una superficie de piso de 5263m². El material de las paredes de fachada es de hormigón prefabricado con 4cm de aislamiento de poliestireno expandido (EPS), sus ventanas mantienen un doble acristalamiento y la cubierta plana con 6cm de aislamiento EPS (Aguacil et al, 2017).

Hay que recalcar que ambos edificios poseen calderas que funcionan mediante combustible, las que cubren necesidades de agua caliente sanitaria y calefacción.

La metodología de la investigación implicó cuatro fases principales:

- Selección de edificios residenciales
- Análisis detallado de cada edificio

- Desarrollo para cada edificio con cuatro escenarios de renovación arquitectónica, y
- Evaluación de escenarios.

Para el desarrollo y análisis de las edificaciones se optó por realizar un modelado de los mismos y las respectivas simulaciones energéticas se ejecutaron en el programa DesignBuilder v.5 (DB, 2017), un software basado en el motor de simulación EnergyPlus®. El cual ayuda a verificar el cumplimiento de los objetivos establecidos para cada escenario, el ajuste de los detalles constructivos de cada propuesta (Aguacil et al, 2017).

Tras el proceso de conservación, renovación y transformación de fachadas de las edificaciones (Imagen 2.56) se procedió a tomar el diseño final para obtener el consumo horario del edificio durante todo el año en cada escenario de renovación, la estimación de la producción de electricidad por hora en el lugar, para posteriormente llevar a cabo un análisis detallado de la producción de PV como una función del umbral de irradiación para cada elemento de envoltura y de esta manera realizar una selección de las superficies activas.

En cuanto a la definición de fachada de los diferentes escenarios de integración arquitectónica para el edificio de 1909 se propone un sistema de aislamiento externo con revestimiento sintético con elementos PVs en el techo y balastradas, un sistema de fachada ventilada se implementa utilizando elementos PVs, prefabricada, modular y construido con estructura de madera.

Mientras que, para el edificio de 1972, se proponía un sistema de aislamiento interno que cubre la barandilla de ventanas con elementos PVs y un sistema de fachada ventilada con incorporación de paneles PVs en las superficies opacas mayores para reproducir la geometría de la fachada existente, se incorpora un sistema de fachada ventilada usando elementos PV.

Para cada escenario, se obtuvieron dos umbrales diferentes (Imagen 2.57), dependiendo de si la caldera existente se mantiene o sustituye. En la edificación de 1909, el umbral es de 1'175 kWh/m² (Aceite-caldera) y 800 kWh/m² (Bomba de calor), lo que lleva a 14 y 28 MWh año de producción *in situ*, respectivamente, para el 29% de autoconsumo y 24,5% de autosuficiencia.



Imagen 2.56: Transformación de fachadas de edificios.
Fuente: Aguacil et al, 2017.

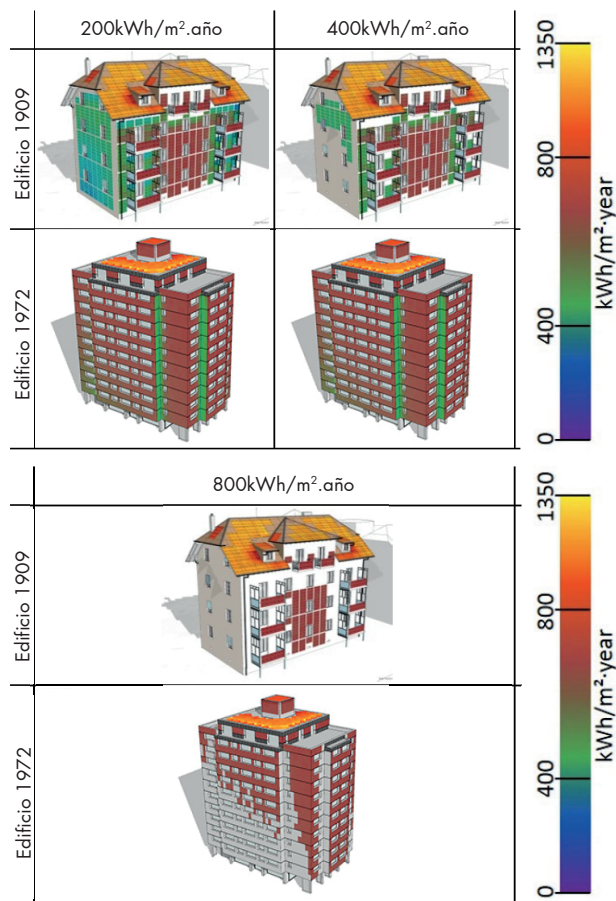


Imagen 2.57: Irradiación anual de edificaciones.
Fuente: Aguacil et al, 2017.

Para la edificación de 1972, el umbral es de 800 kWh/m² (Aceite-caldera) y 600 kWh/m² (Bomba de calor), para 87 y 139 MWh / año de producción *in situ*, respectivamente, y 32% de autoconsumo y 29% de autosuficiencia.

Con base a los resultados de esta investigación, se demuestra la importancia de la optimización para asegurar la rentabilidad de la estrategia BIPV y aumentar la independencia de los proveedores de energía. El resultado principal ofrece, a los arquitectos e ingenieros, estrategias avanzadas de actualización de integración arquitectónica, junto con los resultados de una evaluación para alcanzar la neutralidad de carbono.

Finalmente, en la Tabla 2.06 se muestra una síntesis general de los casos de estudio, en la cuales se describen las características relevantes tales como: demanda, producción, porcentaje de autoabastecimiento, reducción de huella carbono, entre otros.

CUADRO RESUMEN - CASOS DE ESTUDIOS DE EDIFICIOS MULTIFAMILIARES										
Proyecto	País	# departamentos	Tecnología		Estrategias pasivas	Demanda anual	Producción anual	Superficie	% de Abastecimiento	Reducción de CO2
			Incorporación	Ubicación						
Kraftwerk B	Suiza	7	Desde fase de diseño	PVs en cubierta y CSTs en fachada	Sí	62000kWh	32000kWh (PV) y 38000kWh (CST)	261m ² (PV) y 146m ² (CST)	113%	48Ton
Järvenpää	Finlandia	44	Desde fase de diseño	CST en cubierta y PV aleros	Sí	217000kWh	196000kWh	108m ² (PV) y 126m ² (CST)	90%	76Ton
Dieselweg Graz	Austria	204	En edificación existente	CST en cubierta y PV en fachada	Sí	---	---	---	90%	89%
Alessandria Photovoltaic Village	Italia	304	En edificación existente	PV en cubierta y fachada	No	---	160000kWh	---	100% electricidad de áreas comunes y 70% de los departamentos	100Ton
Kleehäuser	Alemania	25	En edificación existente	PV y CST en cubierta	Sí	40006kWh	22529kWh (PV) y 17478kWh (CST)	202m ² (PV) y 61,2m ² (CST)	100%	16Ton
Edificio 1 (1909)	Suiza	32	En edificación existente	PVs en cubierta y balaustrada	Sí	1175kWh/m ² (caldera) y 800kWh/m ² (bomba de calor)	14000kWh (caldera) y 28000kWh (bomba de calor)	---	24,5% (caldera) y 29,0% (bomba de calor)	30%
Edificio 2 (1972)	Suiza	52	En edificación existente	PVs fachada y barandilla	Sí	800kWh/m ² (caldera) y 600kWh/m ² (bomba de calor)	87000kWh (caldera) y 139000kWh (bomba de calor)	---	29,0% (caldera) y 32,0% (bomba de calor)	30%

Tabla 2.06: Cuadro de resumen casos de estudio
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 2.58 Cubierta propuesta para la industria Graiman
Fuente: Marín, Zalamea & Barragán, 2018.



Imagen 2.59: Ejemplo placas de sílice en vivienda patrimonial
Fuente: Zalamea, Mena, Moscoso, Barragán & Méndez, 2018.

2.5.2 INVESTIGACIÓN LOCAL

En el medio se destacan algunos proyectos, que a pesar de no corresponder a multifamiliares (debido a la ausencia de estudios realizados en esta tipología), representan un gran aporte para comprender el rendimiento de los PVs en la ciudad.

2.5.2.1 CASO DE ESTUDIO EN INDUSTRIAS GRAIMAN

La propuesta realizada en Industrias Graiman en Cuenca, evalúa y considera el ámbito de emplazamiento (Imagen 2.58), evidenciando el potencial que representan los edificios industriales analizados, como candidatos para la adaptación de colectores PVs. Debido a la extensión superficial de las estructuras, alrededor de 5 ha, se lograría suplir hasta el 22% de la demanda eléctrica, con una producción anual de hasta 8'569.569,6 kWh. Un aporte importante si se considera que es la misma capacidad energética que consumen en promedio 17.328 cuencanos dentro del área residencial (Marín, Zalamea & Barragán, 2018).

2.5.2.2 CASO DE ESTUDIO EN CONTEXTOS URBANOS PATRIMONIALES CUENCA

El estudio muestra los resultados de la generación de energía PV desde la perspectiva energética como urbano-arquitectónica. El análisis se desarrolla en 4 edificaciones seleccionadas de una o dos plantas, clasificadas como patrimoniales por el INPC, existiendo una controversia entre los valores patrimoniales y medioambientales.

Para ello se simuló datos con el despliegue de placas de sílice monocristalino de 60 celdas (Imagen 2.59) como de tejas PV en la totalidad de faldones. Obteniendo como resultados que la integración de las placas sustituye en exceso la demanda eléctrica entre 4-20 veces y las tejas PV entre 2-9 veces en los casos analizados. El exceso es un factor útil para reemplazar otros consumos urbanos como el transporte. De igual manera, en el ámbito estético se evidencia que las placas PVs no serían perceptibles por ser humano, en el caso de que las edificaciones sean de dos plantas, sin embargo, en aquellas de una planta el impacto sí es significativo (Zalamea, et al., 2018).

2.6 DESCRIPCIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA SIMULACIÓN UTILIZADAS

Hoy en día existen varios programas de simulación energética, que resultan útiles para mejorar el desempeño energético. En el campo de la arquitectura se hallan softwares que permiten obtener la simulación del rendimiento energético y fenómenos físicos como: WeatherTool, Climate Consultant, Ecotec, ArchiWizard, Radiance, DesignBuilder, SAM, entre otros. Los cuales disponen de herramientas que facilitan el cálculo de la captación solar en sistemas térmicos, PVs o simplemente de irradiación. Están en relación directa con la localización y disposición en la superficie de techumbre, fachada e incluso irradiación al interior de la edificación.

En la presente investigación se utilizaron los softwares Archicad®, Ecotec Analysis, SAM y Photoshop, para los correspondientes estudios de sombra y simulaciones de rendimientos de las tecnologías PV; que se describen a continuación:

1. **Archicad®:** es un software para arquitectura, diseñado por la empresa Graphisoft, siendo una herramienta CAD que ayuda con la información de construcción (BIM, Building Information Modeling), es soportado por plataformas

y sistemas operativos IOS (Apple) y Windows. Posibilita generar diseños paramétricos de elementos, con una innumerable cantidad de información sobre las etapas de una construcción, desde la conceptualización hasta la edificación. Los usuarios trabajan con representaciones 2D o 3D (Imagen 2.60), planos, elevaciones, secciones y detalles los mismos que son generados inmediatamente dentro del modelado virtual y actualizadas constantemente. En cuanto al tema gráfico, el programa tiene una amplia variedad de motores de render que permiten generar representaciones arquitectónicas de alta calidad (Imagen 2.61). Por otro lado, el entorno permite incorporar información sumamente necesaria del proyecto como son los elementos de construcción y su respectiva materialidad (GRAPHISOFT®, 2018). Cabe mencionar que su entorno de trabajo ha incorporado la capacidad realizar análisis energéticos con una tecnología que es capaz de confrontar resultados con las normativas de diseño bioclimático. Como resultado, los usuarios pueden realizar cálculos de energía de forma rápida y precisa desde la fase inicial de un proyecto hasta su culminación.

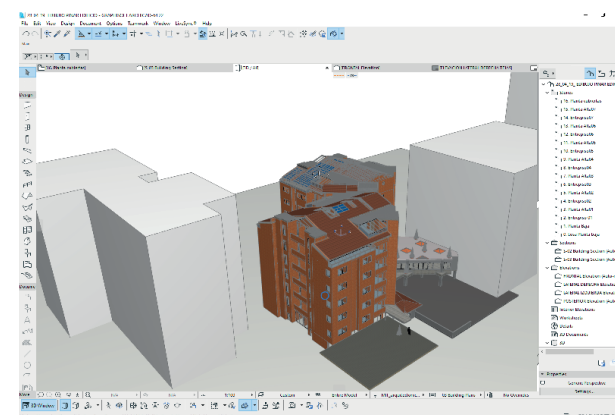


Imagen 2.60: Modelo 3D en entorno de Archicad (Windows).

Fuente: Autores.

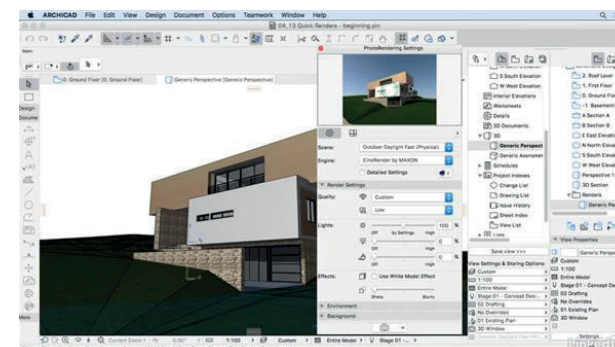


Imagen 2.61: Selección de motor de render en Archicad (IOS)

Fuente: GRAPHISOFT®, 2018.

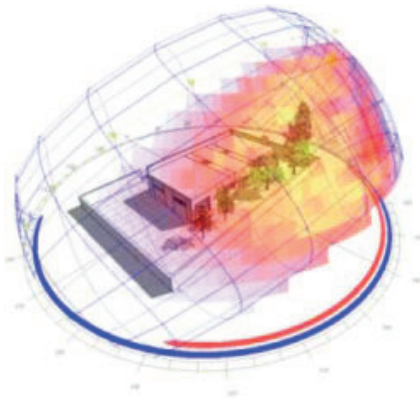


Imagen 2.62: Análisis y visualización de sombras con Ecotect
Fuente: Gutiérrez, 2012.

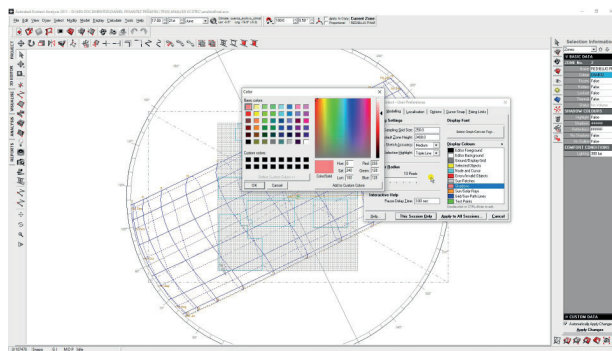


Imagen 2.63: Selección de colores de sombras en Ecotect
Fuente: Autores.

2. **Ecotect Analysis:** es un programa de Autodesk basado en el concepto de que los principios de diseño ambiental son tratados de mejor manera durante las etapas conceptuales del proyecto (Imagen 2.62). El software responde a esto mediante una interacción visual amigable y analítica esencial, brinda una variedad de tipos de simulaciones, permite realizar análisis de la energía total de un edificio, estudios térmicos, de consumo de agua, radiación solar, sombras y reflejos, tanto en proyectos nuevos como existentes (Imagen 2.63) (Ecotect - Radiance - Daysim, 2019).

3. **System Advisor Model (SAM):** es un software gratuito que como modelo tecnoeconómico ayuda a obtener una predicción del rendimiento energético y costos de un sistema de energía renovable (NREL 2018). Permite realizar predicciones de rendimiento y estimaciones de costo de energía para proyectos conectados a la red, en función de los precios de instalación y operación, además de los parámetros de diseño del sistema que el usuario lo especifica.

Para la aplicación, en primera instancia se

elige una opción tecnológica-financiera, para que el programa proceda a llenar de forma automática las variables con los respectivos valores predeterminados, según el tipo de proyecto que se elija (Imagen 2.64) (NREL, 2018). Entre las ventajas que presenta el software están: simular varias tecnologías en un entorno consistente, obtener la presentación de la producción de un modelo eléctrico en un año, con análisis horarios, incluye librerías de datos y sus coeficientes para el eficiente manejo de los componentes del sistema; se visualiza y exporta los resultados en diferentes formatos, entre otras (Román, 2017).

El programa logra calcular la producción de electricidad de un sistema en kW, acorde a la inclinación y orientación, a partir de datos meteorológicos, horarios para un lugar determinado y las especificaciones físicas de los componentes de potencia del sistema. Adicionalmente, se obtienen los modelos financieros de proyectos de tipo residencial y comercial, con el objeto de generar energía al menor costo (Tegen, Lantz, Hand, Maples, Smith, & Schwabe, 2013).

Finalmente, SAM permite visualizar los resultados mediante gráficos estadísticos, tablas y reportes (Imagen 2.65), que van desde tablas métricas, en las que se visualiza el costo nivelado de energía, producción anual del primer año, etc (NREL, 2018).

4. **Adobe Photoshop:** es un programa que permite realizar la edición de gráficos, desarrollado por Adobe Systems Incorporated, dando la posibilidad de ser utilizado en los sistemas operativos de Windows o Mac OS. Actualmente, es uno de los programas imprescindibles de cualquier equipo de marketing y diseño, sobre todo de la rama creativa. Es usado generalmente para la postproducción o corrección de fotografías e imágenes en general (Imagen 2.66). Al ser un programa de edición, se maneja con mapas de bits y una gran cantidad de formatos de imágenes, permitiendo realizar montajes, editar y retocar contenido mediante el uso de sus herramientas (Imagen 2.67). Da la posibilidad de crear ilustraciones hechas según las preferencias de los usuarios (NeoAttack, 2019).

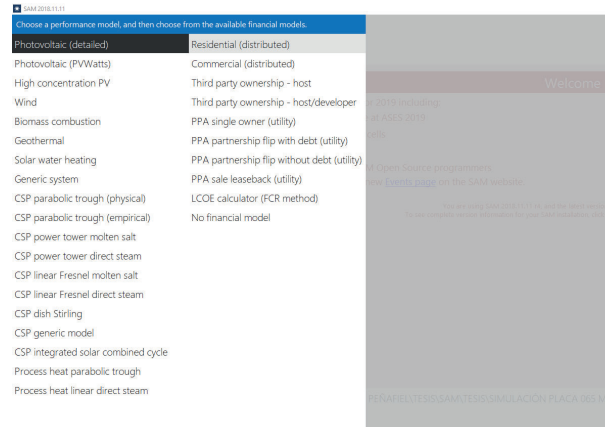


Imagen 2.64: Selección de modelo tecnológico y financiero
Fuente: Autores.



Imagen 2.65: Formas de visualización de resultados
Fuente: NREL,2012

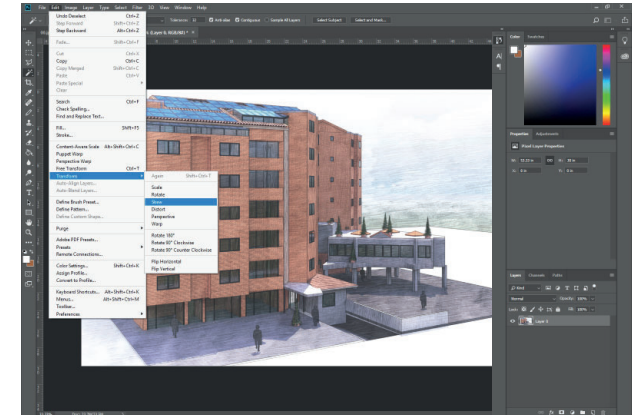


Imagen 2.66: Retoque de imagen
Fuente: Autores.

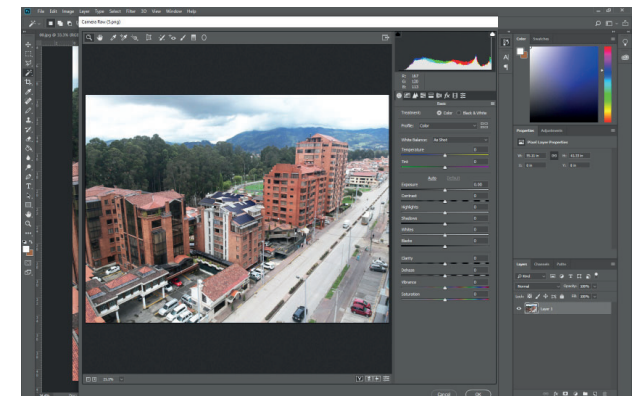


Imagen 2.67: Corrección de imagen, Photoshop
Fuente: Autores.

2.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Luego del análisis realizado en la presente sección, se reflexiona:

- En primer lugar, existe una gran preocupación por las naciones del mundo con respecto al medioambiente, lo que trasciende a distintas organizaciones quienes plantean normas y estándares vinculados al rendimiento energético de las edificaciones, tal es el caso de la Organización Institucional de Normalización (ISO), el Centro Europeo de Normalización (CEN), la Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), entre otras entidades.
- La revisión de la documentación bibliográfica permitió identificar la existencia de criterios favorables encontrados en las edificaciones diseñadas con razonamientos sustentables, sirviendo de motivación para que diversos países desarrollen normas de EE, en las cuales se establecen requisitos mínimos para construcciones de mayor eficiencia, tomando en cuenta los estándares internacionales. Aunque son muchos los países que aún no cuentan con estas reglamentaciones, existen estudios que
- exponen la adaptación de ciertos métodos a las condiciones propias de cada nación, evidenciando la disponibilidad existente para la adopción de dichas metodologías.
- Por consiguiente, el uso de colectores solares demuestra ser tecnológicamente más sencillo, constituyendo una iniciativa para absorber demandas térmicas; en cuanto a los PV, hasta hace poco se consideraban de precio alto, su desarrollo tecnológico e incremento en eficiencia han reducido dramáticamente los costos, así como la demanda de países en desarrollo es sustancial.
- En cuanto a las consideraciones arquitectónicas de integración y posturas del diseño, se observó que existen en el mercado PVs que aún se encuentran en desarrollo, aunque, se muestra que los mismos tienen capacidad de incorporarse a la edificación y pasar desapercibidos. Desde otra perspectiva, existe interés en buscar un resultado consecuente de la expresión misma de los PVs en el edificio. Entre los dos extremos existen posturas medias. Puesto que, no es posible definir de forma absoluta
- cuál es la manera propicia; por ejemplo, la intervención de una edificación patrimonial emplazada en el tejido histórico es distinta al caso de un edificio localizado en cualquier otra parte de la ciudad y todos estos aspectos deben considerarse al momento de plantear la integración PV en las edificaciones.
- Por último, se concluye que no existe la posibilidad de establecer reglas absolutas acerca de características técnicas, morfológicas y de adaptación, para la correcta instalación de sistemas de recolección solar activa, más bien deben vincularse a condiciones puntuales. Es así que, el arquitecto está en la obligación de conocer, al menos esencialmente, las tecnologías disponibles, la relación con demandas y conocimiento de herramientas con posibilidades de aplicación a etapas tempranas del proyecto.

CAPÍTULO 3

EDIFICIO MULTIFAMILIAR PINAR DE LAGO I: SITUACIÓN ACTUAL

CONTENIDOS

Análisis del contexto de implantación

Caracterización y determinación geométrica de techo

Evaluación del estado constructivo

Estudios de sombra y recorrido solar

Caracterización de consumos y demandas energéticas del edificio

Conclusiones del capítulo



INTRODUCCIÓN

Este capítulo analiza el contexto en el cual se emplaza el Edificio Pinar del Lago I objeto de estudio en esta investigación, partiendo del análisis bioclimático del área de estudio, así como de las principales características de la edificación. Se realiza la caracterización geométrica de la techumbre determinando las superficies, pendientes y materiales de cada uno de los faldones y partes de la cubierta, a la vez que se lleva a cabo una evaluación del estado constructivo de la misma. Posteriormente, se efectúan los estudios de afección por sombras del edificio y recorrido solar en los respectivos solsticios y equinoccios determinando así los escenarios más críticos y las condiciones óptimas de captación para tres tipos de alternativas tecnológicas identificadas a través de la investigación. Por último, se definen los consumos energéticos del edificio al 2019, tanto de electricidad como de GLP, en tres periodos: horario, mensual y anual.

3.1 ANÁLISIS DEL CONTEXTO DE IMPLANTACIÓN

En este apartado se realizó una descripción de la ubicación del edificio en estudio, el contexto, datos meteorológicos entre otros.

3.1.1 UBICACIÓN

Las coordenadas geográficas de la ciudad en las que se emplaza el caso de estudio son: Latitud $2^{\circ}53'22.38''S$ y Longitud $79^{\circ}1'59.06''O$ con una altitud de 2592 metros sobre el nivel del mar. El edificio Pinar de Lago I, obra arquitectónica en la cual se desarrolla la investigación se encuentra ubicado en la provincia del Azuay, ciudad de Cuenca, parroquia urbana San Sebastián, entre la Av. Ordóñez Lasso y Calle de la Higuera (Imagen 3.01).

3.1.2 ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO

El término clima puede entenderse como el conjunto de condiciones atmosféricas, que caracterizan a una zona en particular en un periodo determinado. Este se encuentra condicionado por fenómenos meteorológicos como la temperatura, precipitaciones, humedad, vientos, radiación solar, entre otros (Calle & Ortiz, 2016).

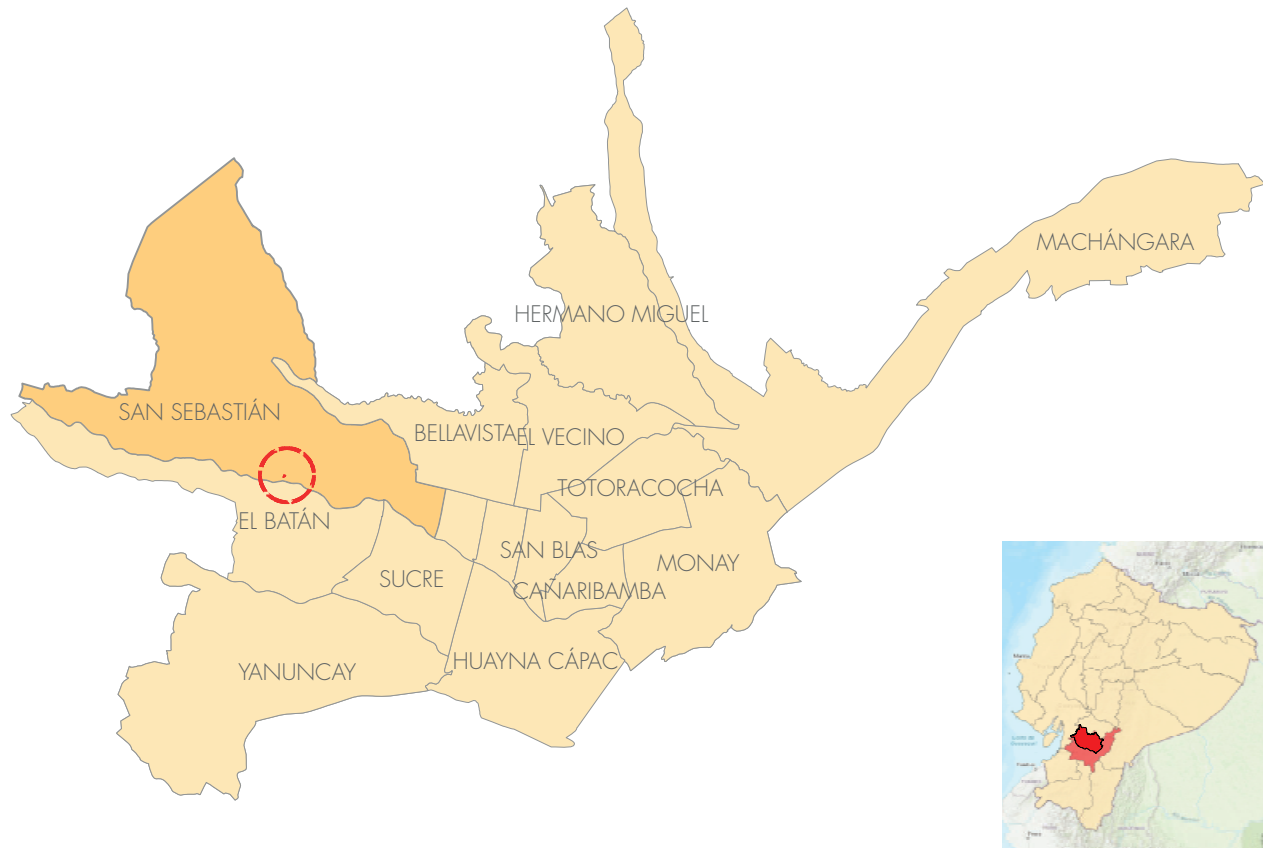


Imagen 3.01: Ubicación del edificio Caso de estudio

Fuente: CEESC - CSC - Paul Esteban Bravo (Análisis Espacial) / <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=152e2f98db7145f3ab0fd05c2a7e6177>
Elaboración: Autores.

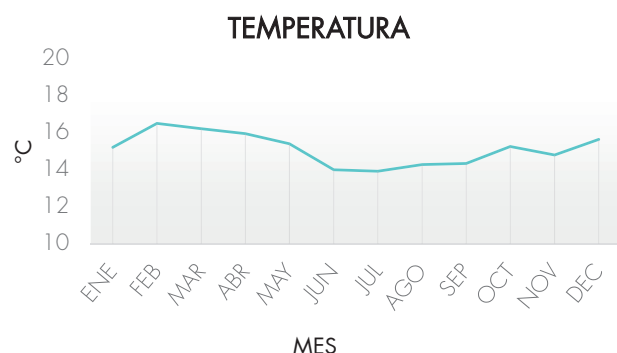


Imagen 3.02: Temperatura (°C), 2016
Fuente: Izquierdo, Pacheco, Gonzalez & Zalamea, 2019.
Elaboración: Autores.

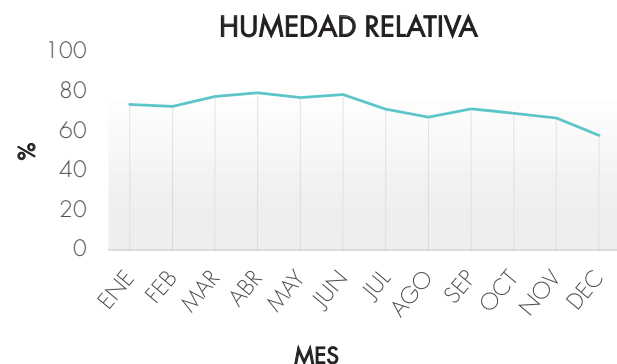


Imagen 3.03: Humedad Relativa (%), 2016
Fuente: Izquierdo, Pacheco, Gonzalez & Zalamea, 2019.
Elaboración: Autores.

A continuación se detallan las características de éstos fenómenos atmosféricos, basados en la realidad geográfica del área de estudio. Los datos a presentarse se obtuvieron del archivo climático validado en la investigación "Simulación fotovoltaica considerando parámetros de integración en edificaciones", el cual presenta información horaria incorporada y tomada de lecturas *in situ* en la ciudad de Cuenca durante el año 2016 (Izquierdo, Pacheco, Gonzalez & Zalamea, 2019).

Este se encuentra calibrado para el uso en conjunto con el software de simulación SAM y ha sido validado para rendimientos PVs, lo que permite aminorar el margen de error en los análisis (Izquierdo, Pacheco, Gonzalez & Zalamea, 2019). Además el fichero cuenta con información únicamente del año 2016, lo cual resulta una ventaja en el análisis de rendimientos PVs, frente a archivos que presentan una base de datos de múltiples años, debido a que no se mitigan los efectos de días y horas extremas. El archivo cuenta con valores horarios de temperatura, humedad relativa, radiación directa, difusa y global, ángulo cenital, dirección y velocidad del viento, entre otros.

3.1.2.1 TEMPERATURA

La ciudad de Cuenca se halla en una zona alta, por lo que tiende a ser fría. Presenta una temperatura promedio anual de 15°C, sin manifestación de cambios térmicos extremos a lo largo del año, evitándose así la necesidad de refrigeración o calefacción (Calle & Ortiz, 2016).

En la Imagen 3.02 se evidencia que en los meses de junio a septiembre, se han registrado las temperaturas más bajas, en un rango de 13,9°C a 14,3°C, mientras que, por el contrario las más altas corresponden a los meses de febrero y marzo.

3.1.2.2 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa promedio registrada al 2016 es de 72,0%. En la Imagen 3.03 se evidencia que los mayores porcentajes alcanzados se encuentran entre los meses de marzo y junio, con 77,7% a 78,6%, respectivamente. Seguido a esto se observa un descenso hasta el mes de agosto (segundo mes con menor HR), dicho valor incrementa hasta el mes de septiembre, de donde finalmente desciende hasta 58,1% en el mes de diciembre.

3.1.2.3 RADIACIÓN SOLAR

Acorde a la manera en que la radiación solar incide en las superficies terrestres, se determinan los siguientes tipos:

- Irradiación normal directa (DNI): es la cantidad de radiación solar captada por una superficie que permanece perpendicular a los rayos provenientes del sol en línea recta desde la posición actual en el cielo. En Cuenca, la radiación normal directa promedio en el 2016 fue de $2,2\text{kWh/m}^2/\text{día}$, alcanzó su máximo pico en el mes de noviembre con $3,7\text{kWh/m}^2/\text{día}$ y el menor en julio con $1,0\text{kWh/m}^2/\text{día}$. En la Imagen 3.04 se muestra que los valores de DNI más bajos están entre los meses de febrero y julio, y ascienden hasta su límite en los últimos meses.
- Irradiación horizontal difusa (DHI): es aquella radiación captada en la superficie terrestre que no llega en un camino directo desde el sol, sino que ha cambiado su dirección por la dispersión en la atmósfera. En la ciudad, esta presentó un promedio de

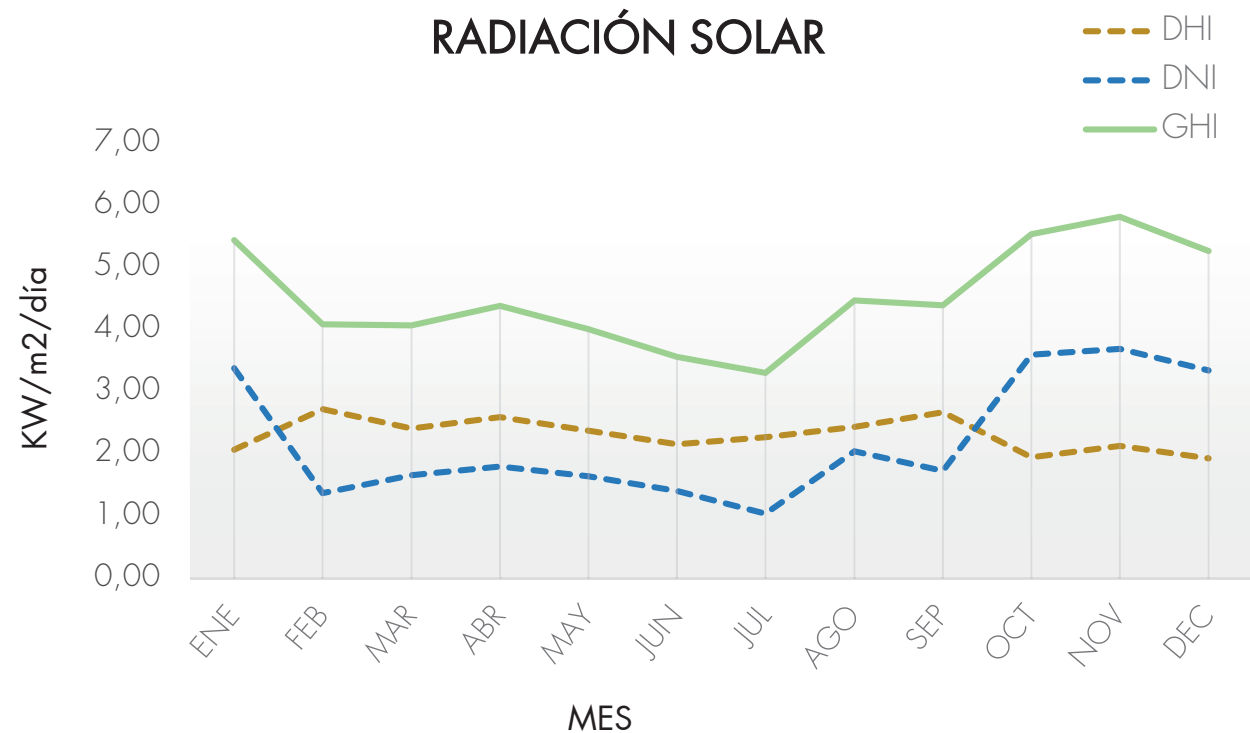


Imagen 3.04: Radiación solar directa, difusa y global ($\text{kWh/m}^2/\text{día}$), 2016

Fuente: Izquierdo, Pacheco, Gonzalez & Zalamea, 2019.

Elaboración: Autores.

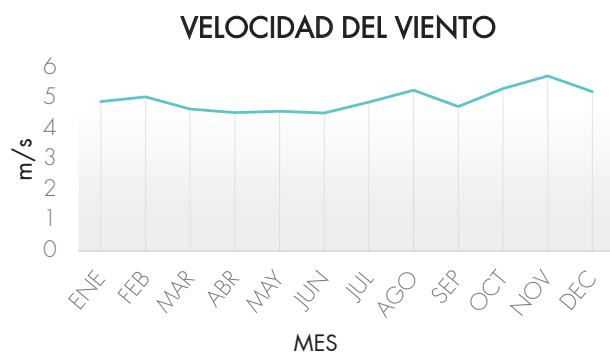


Imagen 3.05: Velocidad del viento (m/s), 2016
Fuente: Izquierdo, Pacheco, Gonzalez & Zalamea, 2019.
Elaboración: Autores.

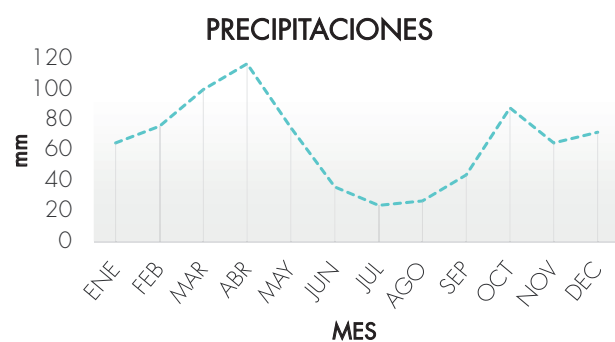


Imagen 3.06: Precipitaciones (mm), 2016
Fuente: Izquierdo, Pacheco, Gonzalez & Zalamea, 2019.
Elaboración: Autores.

2,3kWh/m²/día, variando entre 2,7kWh/m²/día (febrero) y 1,9kWh/m²/día (octubre). En la Imagen 3.04 se observa que la curva se mantiene bastante uniforme entre los meses de febrero y septiembre en los cuales alcanza sus valores más altos, para finalmente descender durante los últimos meses el año. Esta se encuentra predominantemente sobre la curva de la DNI.

- Radiación global (GHI): es la cantidad total de radiación de onda corta recibida desde arriba por una superficie horizontal al suelo. Este valor es el resultado de la suma tanto de la DNI como la DHI. En la Imagen 3.04 se evidencia que la curva sigue la tendencia presentada por la correspondiente a la DNI. La radiación global diaria promedio fue de 4,5kWh/m²/día, alcanzando su máximo valor en el mes de noviembre con 5,8kWh/m²/día y su límite inferior con 3,3kWh/m²/día en el mes de julio.

3.1.2.4 VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO

La velocidad del viento en la ciudad de Cuenca se encuentra ilustrada en la Imagen 3.05, donde se evidencia que la velocidad más alta registra-

da en el 2016 corresponde al mes de noviembre con 5,7m/s, y la mínima al mes de junio con 4,5m/s. La curva muestra que las velocidades menores se presentaron principalmente en el periodo de marzo a junio, un aumento a partir de agosto hasta su límite superior en noviembre.

En la localidad los vientos predominantemente van en dirección noroeste a una velocidad promedio de 5m/s, con una mayor probabilidad de hasta el 12,3% entre los meses de julio, agosto y septiembre, y una menor probabilidad del 10% en los meses de abril y mayo.

3.1.2.5 PRECIPITACIONES

En Cuenca, la probabilidad de días mojados presenta una variación significativa durante el año. La temporada más lluviosa dura aproximadamente 3 meses, de marzo a mayo, alcanzando su pico a los 117mm, en cambio, el periodo más seco determinado se encuentra entre los meses de junio y septiembre, llegando a su límite inferior de 24mm (Imagen 3.06). Finalmente se precisa que existe una diferencia de 93 mm de precipitación entre los más húmedos y los más secos.

3.1.3 CONTEXTO

El contexto en el que se emplaza la edificación se presenta como un área uniforme caracterizada por un amplio proceso de cambios y remodelación del ambiente urbano, destacándose como elemento natural el Río Tomebamba y la vía arterial Ordóñez Lasso. La topografía presente se muestra uniforme con pendientes que varían del 5% al 15% (Imagen 3.07).

La zona en la actualidad se encuentra destinada a la vivienda de alta densidad; así alrededor del edificio caso de estudio, se desarrollan gran cantidad de obras arquitectónicas modernas de mediana y gran altura, siendo en su gran mayoría edificios multifamiliares de 4 a 12 pisos de altura, en concordancia con la respectiva ordenanza establecida para el uso y ocupación de suelo que rigen en ese sector de la ciudad (Pérez, 2018).

El edificio se encuentra rodeado por el Hotel el Pinar del Lago, edificios como el Riverside, Palermo, etc. El lugar está dotado de infraestructura como alumbrado público, vías, servicios básicos, entre otros, y cuenta con equipamientos públicos



Imagen 3.07: Vista frontal del contexto del edificio Pinar del Lago I

Fuente: Autores.



Imagen 3.08: Vista posterior del contexto del edificio Pinar del Lago I

Fuente: Autores.

identificables por tipo como: El Colegio Ciudad de Cuenca, La Agencia Nacional de Tránsito, La Corporación Financiera Nacional y equipamientos privados como el Banco del Pichincha, Hotel Oro Verde, Banco del Austro, Estación de Servicio Eloy Alfaro, entre otros.

El contexto presenta vegetación como arbustos y arbolado, en las orillas del Tomebamba, existen en su mayoría árboles de eucalipto (Imagen 3.08) (Pérez, 2018). La parcelación de predios y manzanas es relativamente homogénea y presenta una densidad alta. En efecto, el costo de suelo de la zona es considerablemente elevado, cuya posesión está en la población de recursos económicos altos.

Finalmente, vale agregar que, cerca del edificio caso de estudio, no se identifican elementos arquitectónicos significativos en el ámbito patrimonial.

3.1.4 LA EDIFICACIÓN

En un comienzo el proyecto nació con el nombre de Complejo Comercial - Habitacional - Recreacional La Laguna; hasta adoptar el nombre que lleva actualmente, de edificio Pinar de Lago I. Posee un superficie aproximada de 4430m² de construcción y su levantamiento data del año 1993 a cargo del Arq. Pablo Vintimilla (Quezada, 2012).

El edificio mantiene una lectura uniforme en sus fachadas, compuestas por mampostería y ventanales en cada nivel (Imagen 3.10 y 3.11), a excepción del bloque que envuelve la caja de ascensores y ciertas esquinas de los bloques que mantienen textura de hormigón visto (Imagen 3.09 y 3.12), como se observa en los alzados arquitectónicos correspondientes.

Con respecto a la estructuración de la edificación, ésta se halla organizada en dos bloques principales, los que se encuentran unidos en el centro por un área común que incluye las circulaciones verticales: escaleras y ascensor del edificio (Imagen 3.13).



Imagen 3.09: Elevación frontal edificio multifamiliar Pinar de Lago I

Fuente: Elaboración autores.



Imagen 3.10: Elevación posterior edificio multifamiliar Pinar de Lago I

Fuente: Elaboración autores.



Imagen 3.11: Elevación lateral izquierda edificio multifamiliar Pinar de Lago I

Fuente: Elaboración autores.



Imagen 3.12: Elevación lateral derecha edificio multifamiliar Pinar de Lago I

Fuente: Elaboración autores.

El Pinar del Lago I, es un edificio de uso mixto, está distribuido en 7 niveles, las primeras plantas están destinadas principalmente al uso de oficinas, a partir de la tercera planta funcionan departamentos. El edificio cuenta con un total de 15 de ellos para 4 personas y 4 suites. Vale mencionar que, esta condición se convierte en una estrategia para reducir los desbalances de consumo, ya que como se verá más adelante, al medio día existe un mayor consumo energético de las oficinas, en tanto que, a primeras horas del día y al final de la tarde-noche la demanda es primordialmente generada por las viviendas.

Las configuraciones internas están distribuidas en las primeras dos plantas de la edificación abarcando disposiciones funcionales como salas de estar, secretarías, espacios para auditorías, almacenes, bodegas, departamentos de computación, gerencia, contabilidad, entre otras; permitiendo una rápida atención de oficinas, atención al público y gerencia o mantenimiento de la edificación. El ingreso principal del edificio colinda con la Avenida Ordóñez Lasso (Imagen 3.14); posee parqueaderos subterráneos y a nivel de la calle para mayor facilidad de acceso (Imagen 3.15).

Las plantas tipo se encuentran distribuidas para cuatro departamentos habitacionales por nivel, dos en cada bloque, conformados por: sala, comedor, cocina, dormitorio máster y dos dormitorios para hijos, lavandería, tres baños y cuarto de servicio, salvo en la última planta de un bloque que está destinado a oficinas.

En cuanto a su materialidad, la edificación es de hormigón visto, mampostería y planos de vidrio. A través de sucesivos módulos opacos y transparentes se genera una composición de planos que juegan con los balcones de cada nivel. La cubierta se encuentra realizada con teja, vidrio y losas de hormigón, como se puede ver en la Imagen 3.16.



Imagen 3.13: Emplazamiento del edificio multifamiliar

Fuente: Autores.



Imagen 3.14: Edificio multifamiliar Pinar de Lago I

Fuente: Autores.



Imagen 3.15: Acceso a los parqueaderos del Edificio

Fuente: Autores.



Imagen 3.16: Cubierta del edificio multifamiliar

Fuente: Autores.



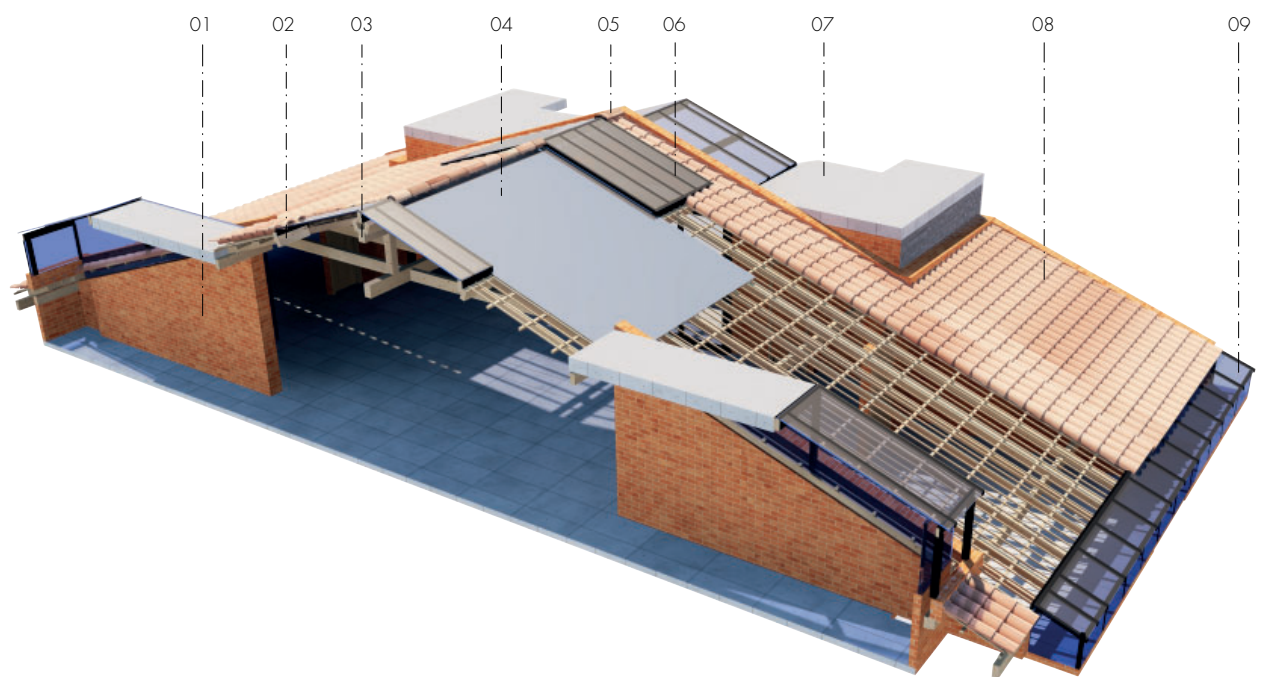
Finalmente, es importante señalar que para la caracterización del techo, no se consideró la cubierta a Nivel=+3.20 del bloque de oficinas, debido a su poca incidencia solar.

3.3 EVALUACIÓN DEL ESTADO CONSTRUCTIVO

La cubierta del edificio, está constituida por cabios y vigas transversales de madera. Para la fijación de los primeros se han dispuesto sobre los muros unas correas de alero y como apoyo en la parte superior otra correa de cumbrero más apoyos secundarios resueltos por puntales que cubren las paredes transversales del edificio, esto debido a que la cubierta demanda una gran distancia y la estructura soportante debe ser rígida (Imagen 3.18).

En virtud de que las luces de los cabios superan los 4,5m se ha optado por añadir correas intermedias para ayudar a trasladar las cargas a las bases asentadas sobre los muros. La composición de la cubierta está dada por tejas coloniales, y para su colocación se sirven de usar listones de madera para fijarlas, el entablado y la capa asfáltica para techos.

La estructura de la cubierta está conformada completamente de madera, y su estado es bueno debido a que se ha usado alternativas de impermeabilizantes tanto exteriores como interiores a la cubierta, esto permitiría efectuar trabajos sobre la cubierta para en un futuro lograr realizar el acoplamiento de sistemas de paneles PVs anclados a dicha estructura.



01. Mampostería de ladrillo

02. Cabios de madera

03. Cumbrero

04. Membrana asfáltica, lámina

impermeabilizante para techos

05. Teja de caballete

06. Pozo de luz

07. Losa de hormigón

08. Teja colonial

09. Estructura de panel de vidrio

Imagen 3.18: Estructura de cubierta Pinar de Lago I

Fuente: Elaboración autores.

3.4 ESTUDIOS DE SOMBRA Y RECORRIDO SOLAR

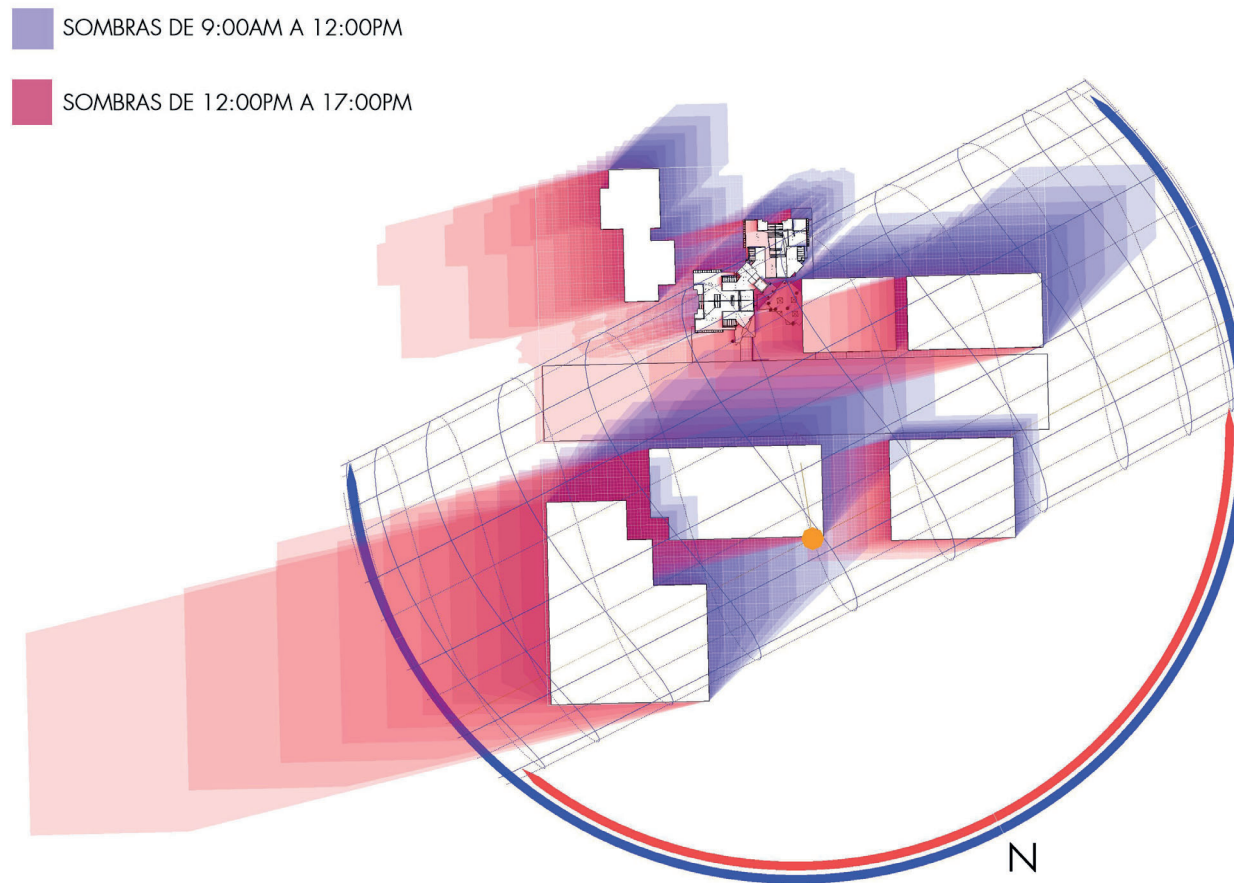


Imagen 3.19: Análisis de sombras del edificio y su entorno
Fuente: Elaboración autores.

El análisis de sombras, se elaboró a partir del modelo 3D de la totalidad del edificio caso de estudio Pinar de Lago I y su contexto inmediato, con el fin de determinar las sombras generadas por los propios bloques del edificio y entender como afectan las construcciones adyacentes a éste (Imagen 3.19).

En esta instancia se procedió a simular sombras desde las 9:00am hasta las 17:00pm, en los días de solsticio que son 21 de junio y 21 de diciembre y en los equinoccios 20 de marzo y 23 de septiembre, como se puede ver en las Imágenes 3.20, 3.21, 3.22 y 3.23. Se realiza principalmente el análisis de sombras en los solsticios debido a que es el momento del año en que el Sol, en su movimiento pasa por uno de los puntos de la eclíptica más alejados y se los puede considerar como casos extremos. De igual manera, y con el objeto de contar con datos de todo el año, se desarrolló el estudio de los equinoccios.

Para la estimación de los porcentajes de sombra expuestos en la Tabla 3.01, en base a los resultados obtenidos del estudio solar realizado mediante el software Ecotec 2011, se procedió a escalar

las imágenes a tamaño real en Archicad 22, a fin de obtener la superficie aproximada de sombra causada por los edificios existentes en el contexto de implantación. A continuación y en base a todo lo mencionado, se presentan los distintos análisis realizados:

3.4.1 SOLSTICIOS

Los resultados obtenidos del estudio de los solsticios son los siguientes:

- En el análisis de sombreado del solsticio de invierno (21 de junio), se observa que la incidencia solar es la menos favorable del año (Imagen 3.20), ya que los faldones 2 y 3 se encuentran totalmente sombreados y el 4 presenta el 74% de la superficie en sombra, únicamente los faldones 5 y 6 evidencian un 100% de iluminación (Tabla 3.01). Este escenario resulta ser el más crítico del año debido a que se encuentra sombreada el 46% del total de la superficie de la cubierta. Cabe recalcar que la principal afección por sombras en la techumbre de la edificación se da en

horas de la tarde (12:00pm a 17:00pm), a excepción del faldón 1, en el cual el 15% de sombras generadas corresponden a horas de la mañana (09:00am a 12:00pm).

- En tanto que, en el solsticio de verano (21 de diciembre), la incidencia solar es más propicia, encontrándose el 24% de la totalidad de la cubierta en sombra (Imagen 3.21). De manera más detallada y como se puede observar en la Tabla 3.01, los faldones 6, 7 y 8 se encuentran totalmente iluminados, los faldones del 1 al 4, presentan un porcentaje de sombras que varía entre el 12% y 35%, y solamente el faldón número 5 se aprecia totalmente sombreado. De similar forma que en el caso anterior, la mayor cantidad de sombras proyectadas sobre la techumbre del edificio caso de estudio provienen de horas de la mañana. Este panorama resulta más beneficioso para la captación solar, ya que al ser los solsticios los casos más críticos a presentarse durante el año, quiere decir que el resto de días la radiación percibida por el techo será positiva.

FALDÓN	Solsticio (%)		Equinoccio (%)	
	jun-21	dic-21	mar-20	sep-23
1	15	13	16	11
2	100	35	25	100
3	100	31	13	17
4	74	12	7	6
5	-	100	-	100
6	-	-	-	-
7	49	-	8	10
8	27	-	4	8

Tabla 3.01: Porcentaje de sombra por faldón según solsticios y equinoccios
Fuente: Elaboración autores.

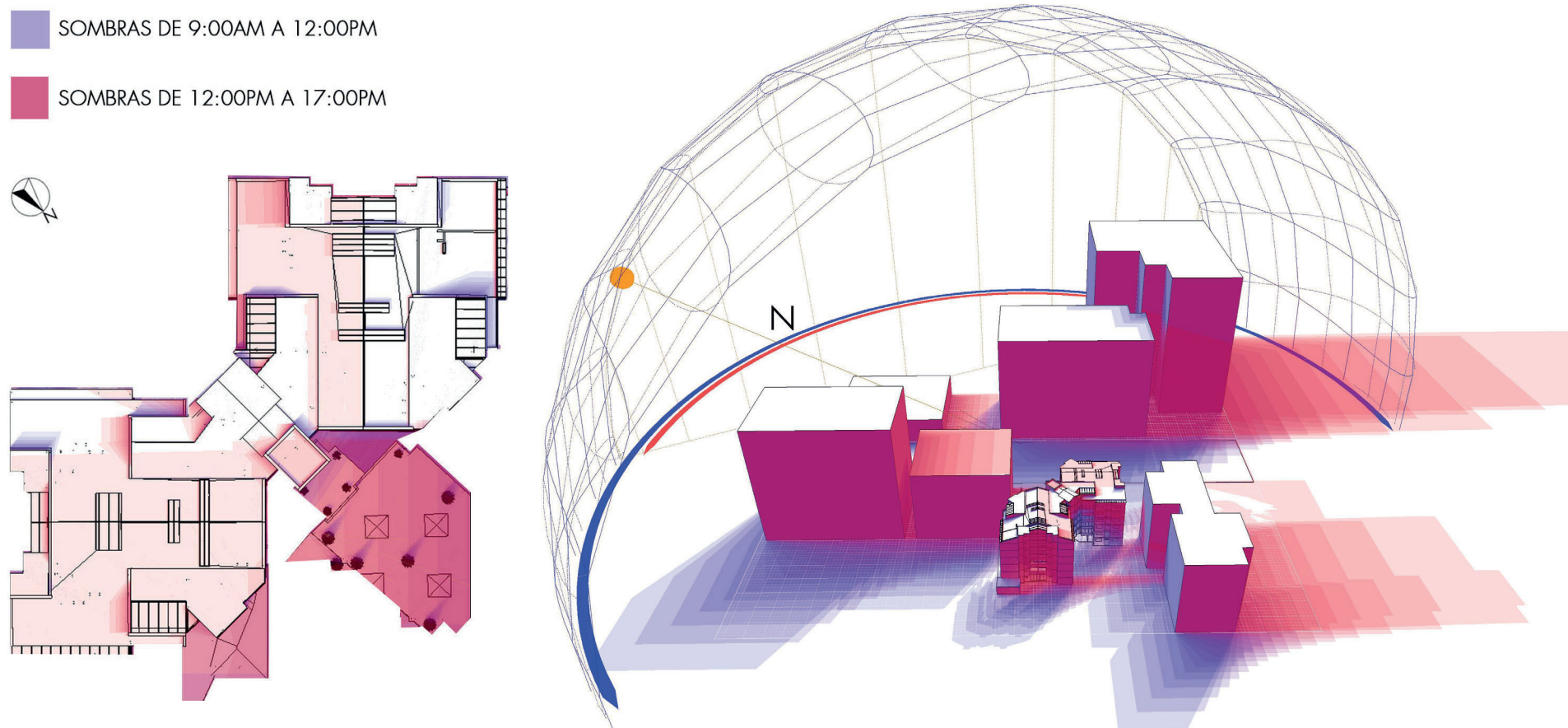


Imagen 3.20: Representación de sombras - solsticio de invierno 21 de junio (planta y 3D)
Fuente: Elaboración autores.

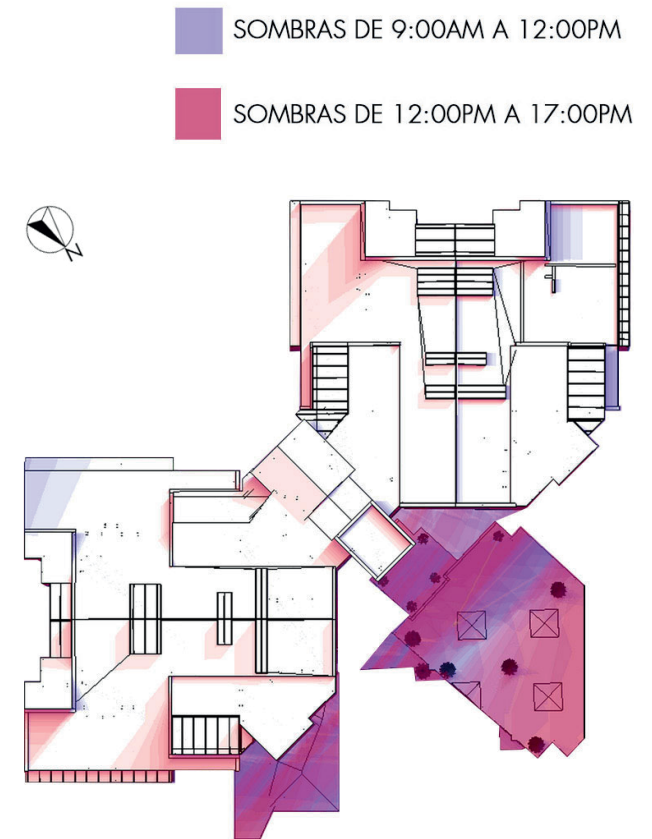
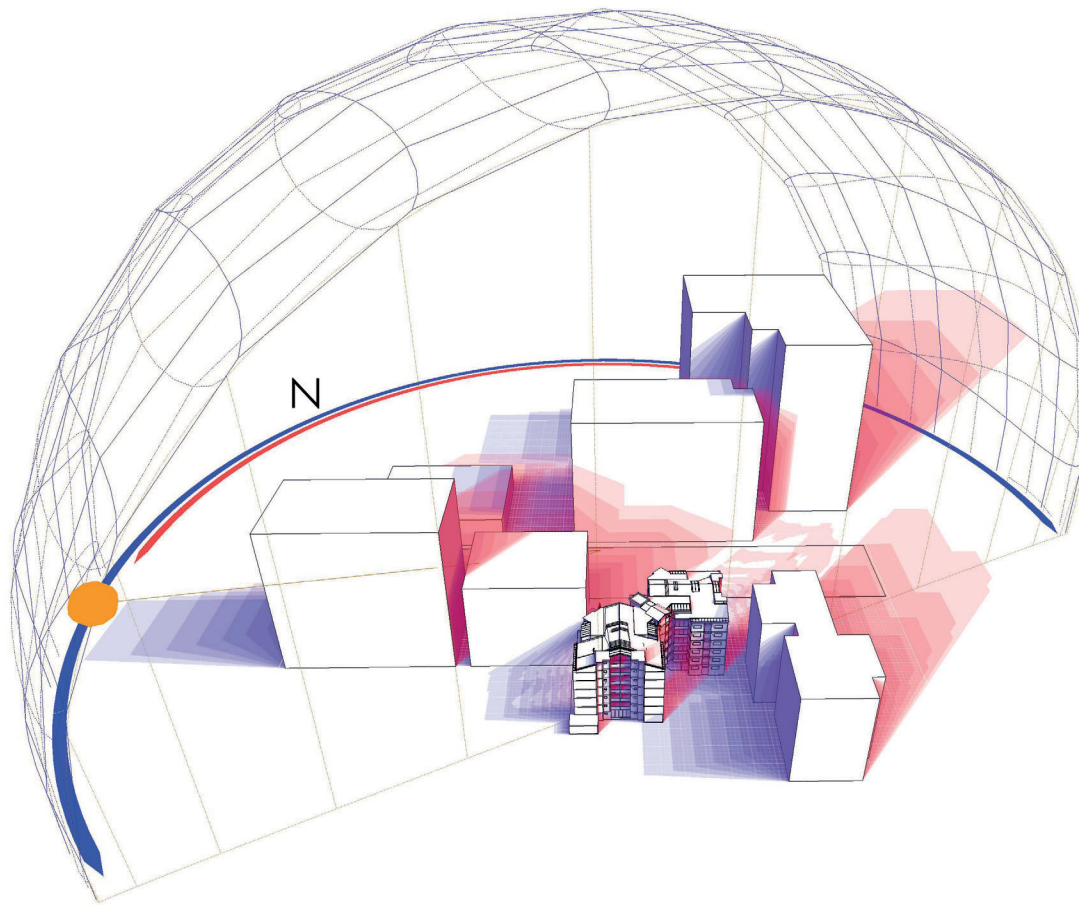


Imagen 3.21: Representación de sombras - solsticio de verano 21 de diciembre (planta y 3D)
Fuente: Elaboración autores.



3.4.2 EQUINOCCIOS

En cambio del análisis efectuado en los equinoccios se pudo apreciar lo siguiente:

- Por una parte, en el equinoccio del 20 de marzo, se determina que solo el 9% de la totalidad del área de la cubierta presenta sombra. En este caso, ningún faldón se encuentra totalmente sombreado y se ven afectados principalmente por sombras generadas durante la tarde (desde las 12:00 hasta las 17:00 horas). Como se puede ver en la Tabla 3.01 los porcentajes de sombra por faldón varían entre el 4% y 25%. De igual manera se aprecia que los faldones número 5 y 6 se encuentran 100% iluminados (Imagen 3.22).
- Por otra parte, en el equinoccio del 23 de septiembre, se evidencian dos faldones totalmente sombreados y uno 100% iluminado (Tabla 3.01). Los faldones sobrantes presentan porcentajes de sombra que varían entre el 6% y 17%. Como se observa en la Imagen 3.23 la cubierta se encuentra principalmente afectada por las sombras proyectadas de la tarde. El

área total sombreada representa el 32% de la superficie total de la cubierta.

3.4.3 RESULTADOS

Después de los estudios realizados se estableció que la techumbre del edificio puede presentar sombras en un rango del 9% al 46%, provenientes primordialmente del horario vespertino.

En cuanto a los faldones, se determina que el número 2, es el que menos radiación recibiría a lo largo del año, ya que se encuentra totalmente sombreado en el solsticio de junio y equinoccio de septiembre, y presenta el 35% y 25% de la superficie total de la cubierta con sombras, en diciembre y marzo, respectivamente. Por el contrario, el faldón 6 no presenta sombras en ninguna de las fechas de análisis.

Es importante señalar que la cubierta a Nivel=+3.20 del bloque de oficinas, en todos los casos analizados se ha presentado totalmente sombreada, razón por la cual no será tomada en cuenta para la incorporación de las tecnologías PV.

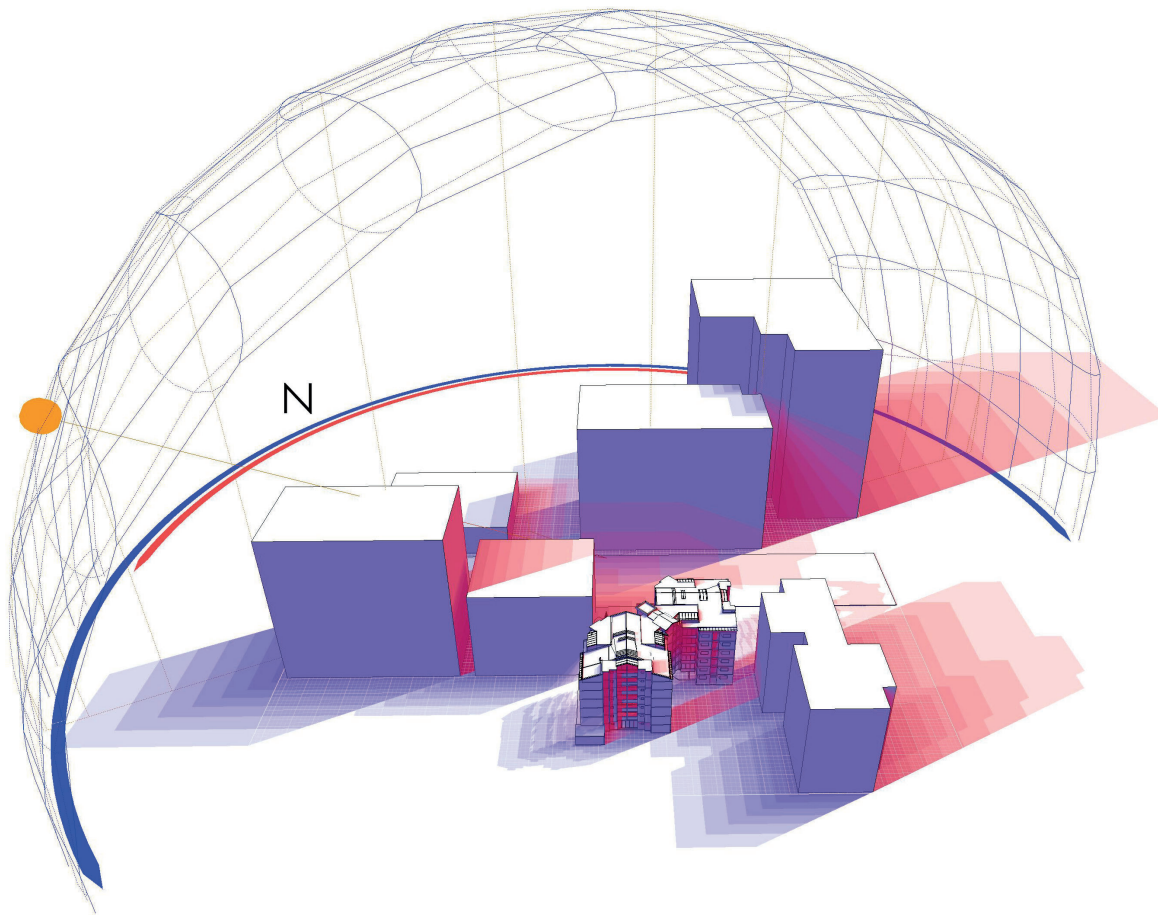
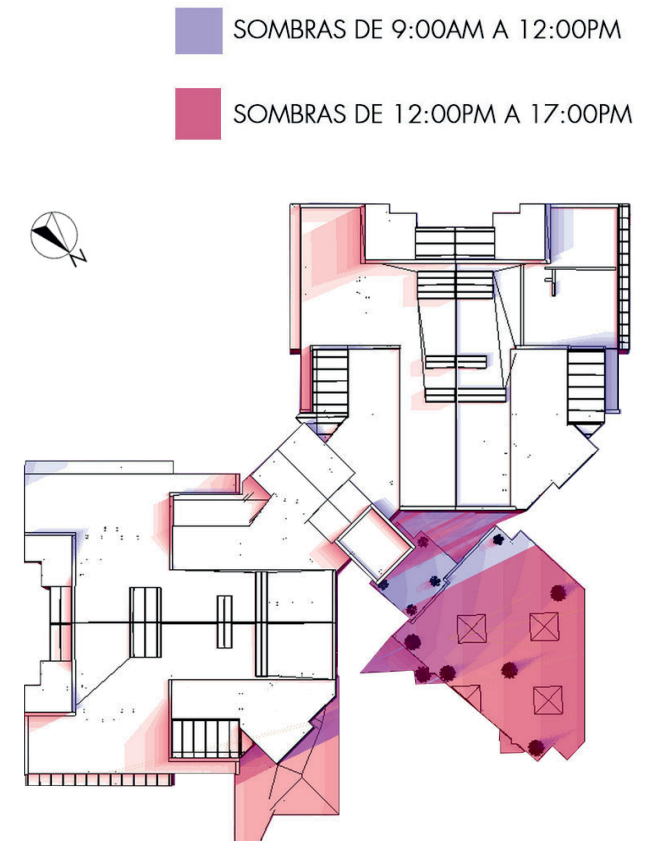


Imagen 3.22: Representación de sombras - equinoccio 20 de marzo (planta y 3D)
Fuente: Elaboración autores.



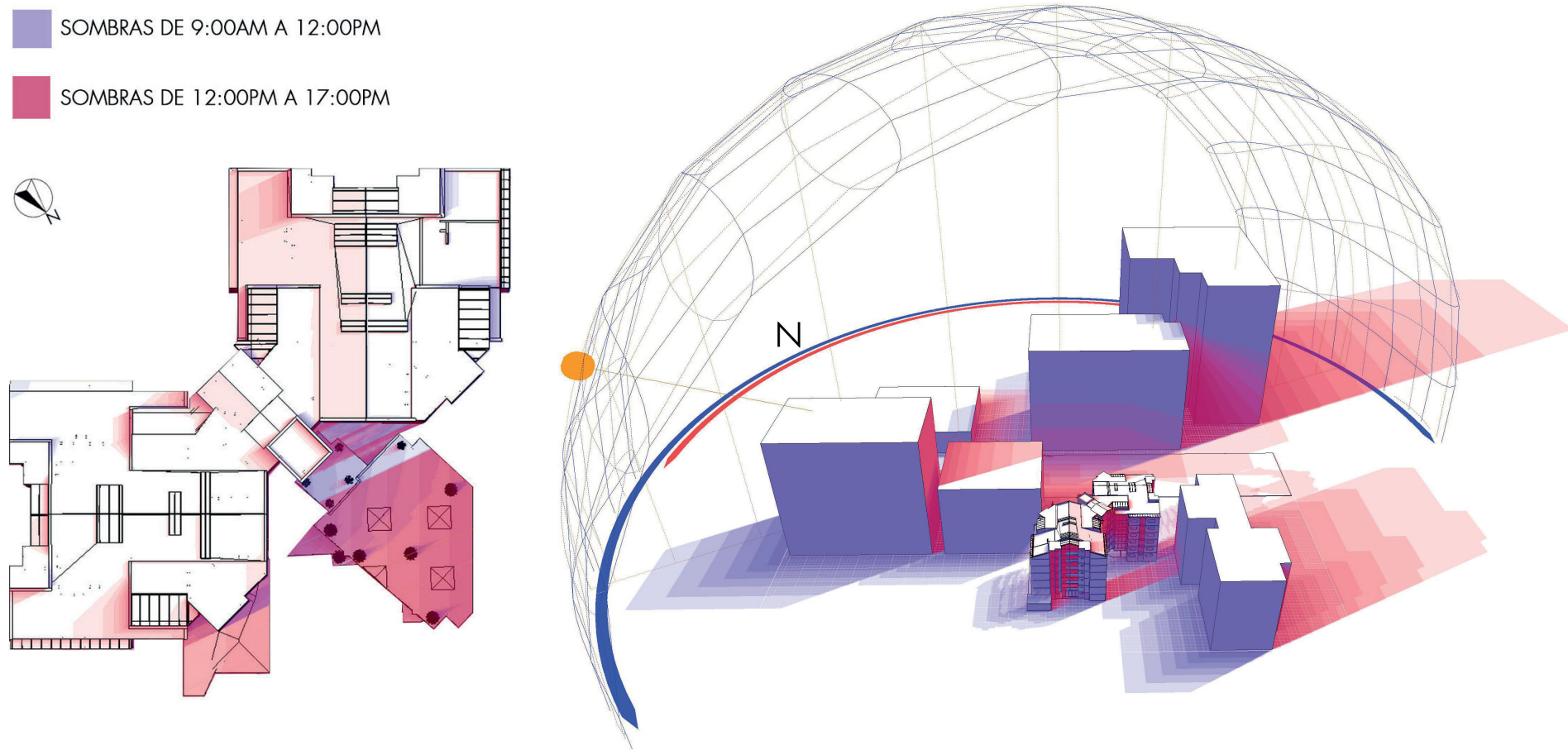


Imagen 3.23: Representación de sombras - equinoccio 23 de septiembre (planta y 3D)
Fuente: Elaboración autores.

Por otro lado, como parte de los resultados, con la ayuda del programa Ecotec se registra para cada faldón y en todos los meses del año la presencia de sombras en dos horas de la mañana y dos de la tarde, como se expone en la Tabla 3.02. La información allí descrita es de importancia para la fase de simulación de resultados, en la cual se deberá considerar las pérdidas e la producción PV por sombreado.

Finalmente, después de los análisis se concluye que la implantación de paneles PVs sobre la cubierta sería factible ya que recibiría la mayor parte del año radiación solar directa. Es importante destacar que a pesar de que el edificio es bastante bajo con respecto a los de su entorno casi no recibe sombra, algo que en países estacionales sería crítico, al ser la altura solar considerablemente menor.

SOMBREAMIENTO DE FALDONES													
FALDÓN	HORA	MES											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	07:00-08:00												
	08:00-09:00												
	16:00-17:00												
	17:00-18:00												
2	07:00-08:00												
	08:00-09:00												
	16:00-17:00												
	17:00-18:00												
3	07:00-08:00												
	08:00-09:00												
	16:00-17:00												
	17:00-18:00												
4	07:00-08:00												
	08:00-09:00												
	16:00-17:00												
	17:00-18:00												
5	07:00-08:00												
	08:00-09:00												
	16:00-17:00												
	17:00-18:00												
6	07:00-08:00												
	08:00-09:00												
	16:00-17:00												
	17:00-18:00												
7	07:00-08:00												
	08:00-09:00												
	16:00-17:00												
	17:00-18:00												
8	07:00-08:00												
	08:00-09:00												
	16:00-17:00												
	17:00-18:00												

Iluminado
Sombreado

Tabla 3.02: Sombras en faldones según hora
Fuente: Elaboración autores.

3.5 CARACTERIZACIÓN DE CONSUMOS Y DEMANDAS ENERGÉTICOS DEL EDIFICIO

No. Medidor	Dpto.	Tipo de tarifa	No. Usuarios		Ocupación
			Actual	Diseño	
2010270538	A-PB	R	3	4	Hab
2010270727	A-1	R	0	4	No hab
2010270674	A-3	R	3	4	Hab
2010270525	A-4	R	4	4	Hab
1000494646	B-1	R	0	4	No hab
2010270544	B-3	R	2	4	Hab
2010272348	B-4	R	4	4	Hab
2010270657	C-1	R	1	4	Hab
2010272257	C-2	R	1	4	Int
2010270724	C-3	R	3	4	Hab
2010270729	C-4	R	2	4	Hab
2010270553	D-1	R	1	4	Int
2010270555	D-2	R	2	4	Hab
2010272254	D-3	R	3	4	Hab
2010270768	D-4	R	2	4	Hab
2014233360	Suit 101-104	R	2	5	Int
2010136706	Suit 105-108	R	2	7	Int
2010136720	Ofic. 02-03	CD	R = Residencial / CD = Comercial con demanda / SCD = Servicio comunitario con demanda		
2010272259	Ofic. 04	R			
2010270537	Ofic. 05	R			
03411229	Ofic. 06	CD			
3411230	Área comunal	SCD			

Tabla 3.03: Consumo eléctrico anual (2018) del edificio
Fuente: Elaboración autores.

El consumo y demanda energética están sujetos a la situación geográfica en la que se hallan emplazadas las edificaciones, ya que están en función de las condiciones climatológicas de la zona, como se expuso anteriormente.

En el sector residencial, como es el caso del edificio el Pinar del Lago I, las demandas son principalmente del combustible fósil GLP (destinado a la cocción de alimentos y calentamiento de agua), seguido de demandas eléctricas. Por lo que, para la caracterización de consumos y demandas energéticas del edificio se registraron tanto aquellas eléctricas como térmicas.

Es importante señalar que, de la totalidad de departamentos existentes en la edificación (19 incluidas las suites), 2 se encuentran deshabitados (No hab) y 6 presentan una ocupación intermitente (Int) (Tabla 3.03). Actualmente y con relación al uso residencial, el edificio alberga un total de 35 personas, habiéndose diseñado para 72, es decir, se encuentra al 48,6% de su capacidad de ocupación máxima. Por ello se realizó una comparación entre la demanda energética existente en el edificio y aquella que se daría al aprove-

char su capacidad habitacional máxima.

3.5.1 CONSUMO ENERGÉTICO ACTUAL

En base a lo expuesto, para el presente análisis no se tomarán en cuenta los departamentos que se encuentran totalmente desocupados (No hab), debido a que no presentan demandas energéticas en el escenario actual del edificio. Cabe agregar que para todos los análisis se incluyeron los consumos comerciales y comunitarios del edificio.

3.5.1.1 CONSUMO ELÉCTRICO

Este análisis se realizó en base a la información de 20 medidores, de los cuales 15 presentan consumos residenciales, 4 de tipo comercial y 1 comunitario. Es necesario aclarar que las suites comparan medidor como se puede ver en la Tabla 3.03, por otro lado no se consideraron los medidores correspondientes a los departamentos actualmente desocupados (A-1 y B-1). De esta manera los consumos eléctricos se determinaron en dos escenarios: anual y semanalmente.

A. CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR AÑO

Para la caracterización anual al 2018 y 2019, a través de la página virtual de la Centro Sur http://www.centrosur.gob.ec/?q=consulta_planillas_sap#, se procedió a consultar las planillas mensuales de consumo eléctrico, de cada uno de los medidores, tanto de aquellos que presentan tarifas de tipo residencial, comercial como comunitario, obteniendo los datos expuestos en la Tabla 3.04. En base a esto, en la Imagen 3.24, se compara los consumos residencial, comercial y comunal del edificio en los dos años.

En la Imagen 3.24 se observa que la curva correspondiente al consumo residencial del 2018 no presenta grandes variaciones a lo largo del año. Se determina que el mes de mayor consumo es diciembre con 2595,90kWh y el de menor enero con 1580,67kWh, existiendo una variación promedio del 21,9% con respecto al promedio mensual determinado de 1956,38kWh. En cambio, en el año 2019 se evidencia un comportamiento contradictorio hasta julio en relación a la curva del 2018, este mes es el pico más bajo con 1792,40kWh, seguidamente se eleva de una

CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL				
MES	2018		2019	
	CONSUMO (kWh)	COSTO (\$)	CONSUMO (kWh)	COSTO (\$)
Enero	3580,59	339,16	3869,58	402,31
Febrero	2957,16	298,46	3845,40	371,06
Marzo	4326,84	390,30	3856,62	368,03
Abril	3944,34	374,19	3655,68	349,14
Mayo	3371,10	338,62	3820,92	367,14
Junio	5272,80	481,07	3887,32	370,71
Julio	3873,96	373,51	3746,72	356,84
Agosto	3598,56	349,86	4167,52	407,43
Septiembre	3680,16	358,44	3336,48	336,57
Octubre	3698,52	358,80	4571,20	424,34
Noviembre	3870,82	372,19	4155,92	391,43
Diciembre	4328,88	425,27	5554,70	538,74
TOTAL	46503,73	4459,87	48468,06	4683,74

Tabla 3.04: Consumo eléctrico anual (2018) del edificio

Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, 2019.

Elaboración: Autores.

manera drástica hasta diciembre el mes de mayor consumo con 3448,54kW. Estos meses presentan una variación promedio del 25,1% con relación al promedio mensual de 2164,46kWh. En el 2019 en el sector residencial existió un 9,6% más de consumo eléctrico.

En cambio con respecto el consumo comercial se evidencia que las curvas siguen una tendencia similar, presentando un promedio mensual que varía entre 1050,94kWh y 1040,27kWh, en 2018 y 2019, respectivamente. En ambos casos el mes de mayor consumo es julio que alcanza hasta los 1166,88kWh, contrariamente los meses de menor consumo registrado son marzo (903,72kWh) y noviembre (913,28kWh), respectivamente.

En cuanto al consumo comunitario de 2018, este presenta oscilaciones marcadas de enero a julio, y un aumento leve pero constante hasta diciembre. El mes de mayor consumo identificado es junio con 1904,34kWh y el de menor consumo febrero con 257,04kWh, existiendo una diferencia del 86,5% entre ambos, en otras palabras, el consumo del mes de junio es cuatro veces el de marzo. Estos dos meses presentan una variación prome-

CONSUMO ELÉCTRICO ANUAL

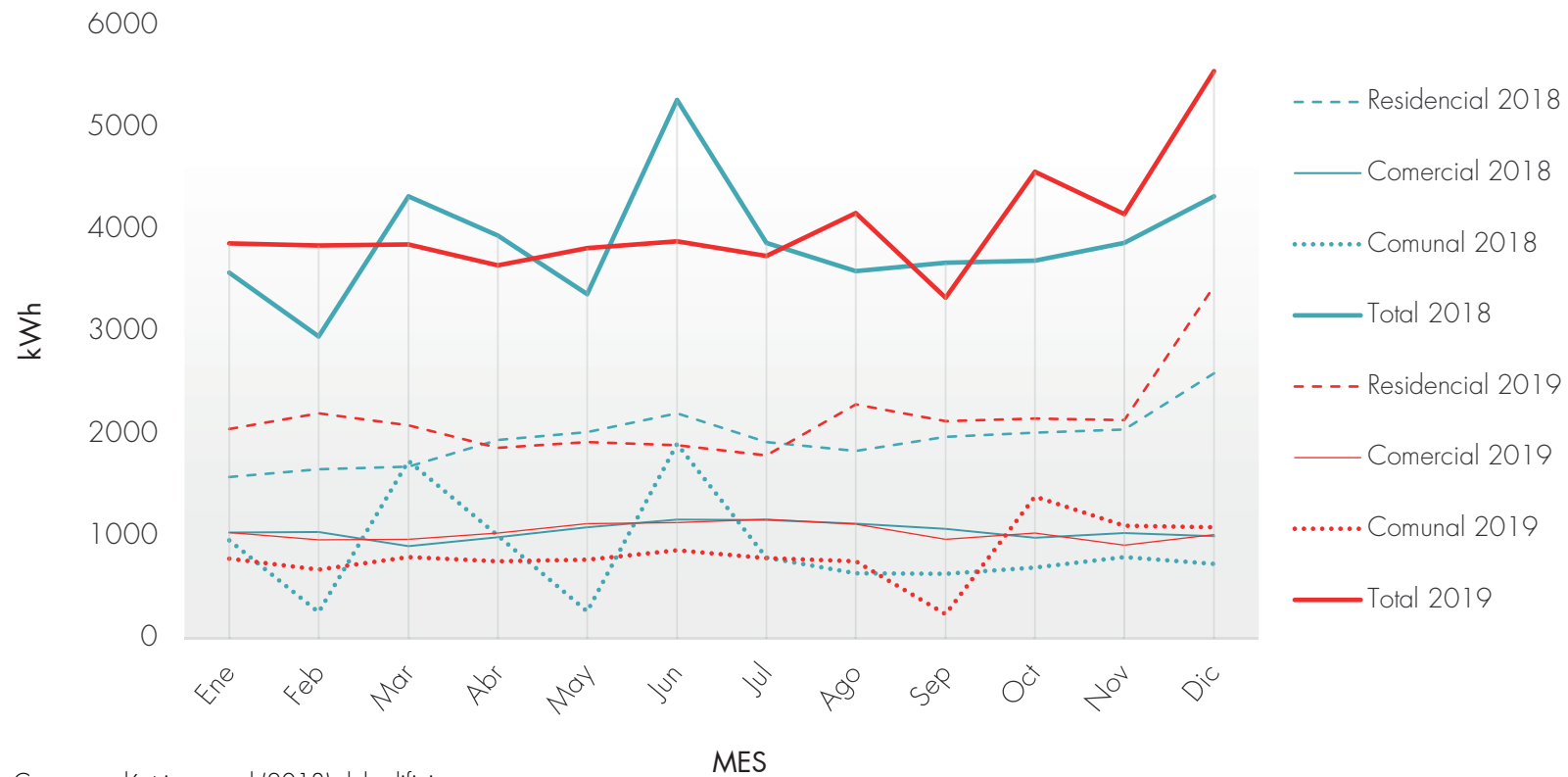


Imagen 3.24: Consumo eléctrico anual (2018) del edificio
Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, 2019.
Elaboración: Autores.



dio del 62,4% con respecto al consumo promedio mensual identificado de 868,00kWh.

Contrariamente, en el año 2019 durante los meses de enero a julio la curva se mantiene constante, evidenciándose picos, a partir de mes de septiembre (237,66kWh) hasta llegar a su límite superior en octubre (1389,24kWh). Estos presentan una variación promedio del 55,7% con respecto al promedio identificado de 834,28kWh. En este caso, se observa que el consumo del año 2019 es menor al presentado en el 2018.

Como resultado de la suma de estos datos, se puede ver en la Imagen 3.24 que el consumo total de la edificación sigue principalmente la tendencia presentada por las líneas del consumo comunitario, a excepción de los últimos meses del año en los cuales se ven más influenciadas por las curvas del tipo residencial. El consumo total anual del edificio registrado en el 2018 es de 46503,73kWh y en el 2019 de 48468,06kWh, con un consumo mensual promedio de 3875,31kWh y 4039,01kWh respectivamente.

Asimismo, considerando los montos expuestos en

cada planilla, se obtiene un estimativo del costo total de consumo por el servicio eléctrico incluido el precio de comercialización (\$1,41), alcanzando los \$4459,87 y \$4683,74, en 2018 y 2019, respectivamente. Solo el subsidio registró un valor de \$2906,7 y \$2989,07 en los años mencionados. En donde el 75,0% del valor de subsidio corresponde al sector residencial, siendo el costo promedio del subsidio mensual de \$185.

Finalmente, se reflexiona que el promedio mensual por unidad habitacional registrado en el 2019 es de 137,68kWh, el mismo que varía entre 57,65kWh y 177,06kWh, en relación con el número de personas que viven en cada departamento. Se estima, que el consumo eléctrico mensual por habitante en este tipo de edificación es de aproximadamente 45,1kWh.

B. CONSUMO PROMEDIO DIARIO POR SEMANA

En la Tabla 3.05 se muestra el consumo promedio diario por semana del edificio, obtenido a partir de mediciones realizadas en periodos de 10 o 15 minutos durante el día con lectores cuar-



CONSUMO ELÉCTRICO DIARIO / HORARIO DEL EDIFICIO PINAR DEL LAGO I (kWh)							
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO
00:00 - 01:00	3,85	3,81	3,30	3,34	2,99	3,02	3,26
01:00 - 02:00	3,37	3,28	3,03	2,98	3,43	2,83	4,20
02:00 - 03:00	2,78	3,42	3,55	2,82	3,97	2,87	3,27
03:00 - 04:00	2,88	3,40	3,08	3,74	3,04	2,69	3,93
04:00 - 05:00	2,78	3,18	3,09	3,77	3,58	2,65	3,50
05:00 - 06:00	2,93	3,26	3,71	3,75	3,43	2,65	2,81
06:00 - 07:00	3,77	3,78	3,57	3,04	3,65	2,72	3,01
07:00 - 08:00	3,83	4,16	5,41	4,21	3,68	3,36	2,77
08:00 - 09:00	8,69	6,39	8,95	7,83	7,23	3,81	3,15
09:00 - 10:00	10,37	8,96	9,06	8,28	7,79	5,02	3,84
10:00 - 11:00	7,42	8,59	7,60	7,65	8,07	4,76	5,31
11:00 - 12:00	7,34	8,02	7,00	6,88	7,89	4,78	4,39
12:00 - 13:00	7,09	7,20	7,80	6,50	6,87	4,09	3,47
13:00 - 14:00	5,68	6,66	4,44	5,21	4,95	3,86	3,48
14:00 - 15:00	6,12	6,61	6,80	5,76	6,38	3,56	3,46
15:00 - 16:00	6,28	7,43	7,08	8,16	6,75	4,19	3,49
16:00 - 17:00	8,47	8,46	7,49	10,47	7,28	3,71	3,81
17:00 - 18:00	7,54	10,34	8,25	8,70	7,56	3,88	3,30
18:00 - 19:00	6,91	8,28	6,88	8,22	5,92	3,72	3,84
19:00 - 20:00	5,02	5,27	5,50	6,43	3,64	3,85	5,03
20:00 - 21:00	6,13	5,05	5,31	5,74	4,20	4,00	4,72
21:00 - 22:00	5,08	4,73	4,13	4,07	4,71	3,89	4,66
22:00 - 23:00	4,98	4,30	3,46	3,79	4,40	4,58	4,41
23:00 - 24:00	4,32	3,51	3,68	3,97	3,40	3,68	4,43
TOTAL	133,64	138,07	132,15	135,29	124,79	88,16	91,53

Tabla 3.05: Consumo eléctrico promedio diario por semana del edificio

Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, 2019.

Elaboración: Autores.

CONSUMO ELÉCTRICO ACORDE A DÍA DE LA SEMANA

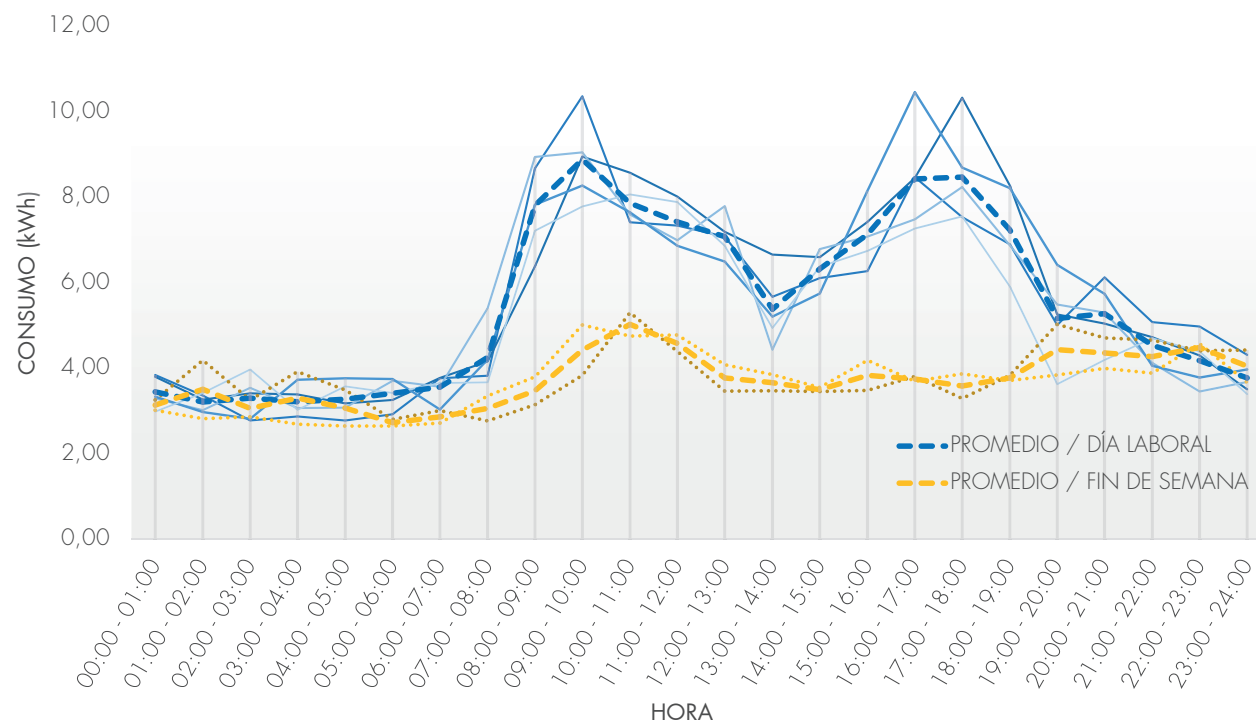


Imagen 3.25: Consumo eléctrico promedio horario del edificio acorde a día de la semana (general)

Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, 2019.

Elaboración: Autores.

to horarios A1800 ALPHA Meter localizados en los medidores de las viviendas durante 3 meses, determinando el consumo horario, y consecuentemente el diario y semanal. En la Imagen 3.25 se evidencia que el día de mayor consumo de la semana es el martes que alcanza los 138,07kWh y el de menor consumo corresponde al sábado con 88,16kWh, es decir, existe un 36,1% más de consumo y una variación promedio del 19,8% con respecto al consumo promedio diario identificado del edificio de 120,52kWh.

De similar forma que en el caso anterior, para analizar los consumos determinados se optó por diferenciar los de tipo residencial-comunal y comercial, y además aquellos en días laborables y fin de semana. Partiendo de esto, se observa una tendencia similar entre los días laborables, en los cuales los valores de consumos fluctúan en un rango de 125kWh a 138kWh, que marcan una diferencia con relación al fin de semana en el que, el consumo promedio es de 89,8kWh, evidenciándose un consumo inferior con un diferencial del 32%. Esto considerando los registros totales del edificio tanto residencial-comunal como comercial.

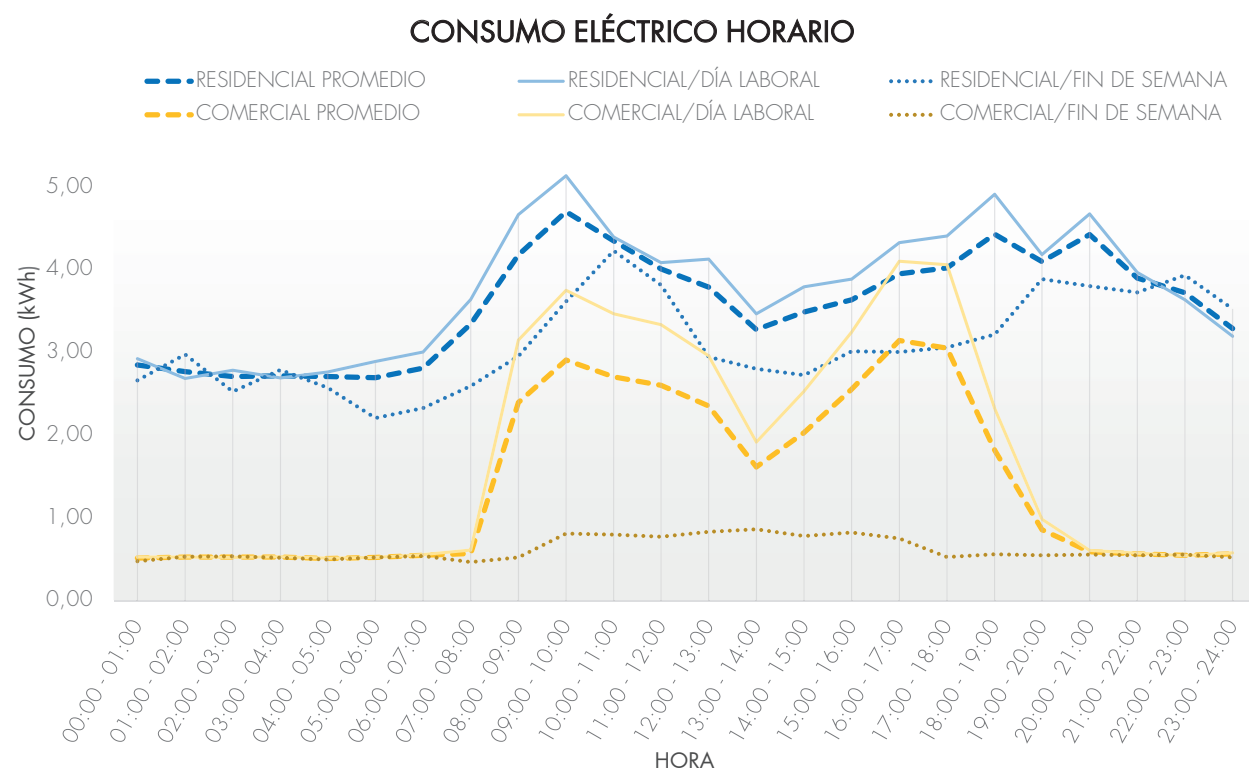


Imagen 3.26: Consumo eléctrico promedio horario por semana del edificio detallado

Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, 2019.

Elaboración: Autores.

De igual manera se observa distintas tendencias entre los consumos residencial y comercial, siendo mayor el primero, tomando en cuenta el número de medidores analizados correspondientes a este sector (Imagen 3.26).

En el consumo comercial en días laborales se evidencia un incremento a partir de las 08:00am, es decir, al inicio de la jornada laboral, seguidamente se observa un descenso alrededor de las 13:00 horas, como respuesta al descanso de medio día, y nuevamente asciende a partir de las 14:00 horas, para al final decaer paulatinamente desde las 18:00 horas, a consecuencia del término de la jornada laboral. Cabe recalcar que el consumo se mantiene constante durante las horas no laborales. Contrariamente, en días de fin de semana no presenta variaciones, manteniéndose uniforme durante las 24 horas del día.

En tanto que, la curva de tipo residencial en días laborables, marca su inicio aproximadamente a las 06:00am, debido al comienzo de las actividades matutinas, alcanza su pico máximo a las 10:00 horas, y desciende progresivamente hasta las 14:00 horas. Luego, al final de la tarde se

vuelve a incrementar el consumo, debido a que los usuarios regresan a sus hogares de las actividades diarias, y se usan mayormente electrodomésticos o dispositivos tecnológicos, consumiendo de esta manera gran cantidad de energía eléctrica. A su vez, los rangos se incrementan por las actividades nocturnas que demandan iluminación artificial. Como se aprecia en la Imagen 3.26, la curva del consumo los fines de semana es similar al consumo diario pero en menor intensidad.

3.5.1.2 CONSUMO TÉRMICO

Con referencia al consumo de GLP presente en el edificio, con la ayuda del personal se determinó el consumo mediante el registro de venta de gas durante el mes de marzo de 2019, considerando una semana previa y posterior al muestreo para aminorar errores en el registro de datos, los resultados se especifican en la Tabla 3.06, de la cual se precisa lo siguiente:

- Existe un consumo promedio mensual de 18 cilindros de gas de uso doméstico de 15kg.

DEMANDA MENSUAL DE GLP				
DEPT.	DESTINO			TOTAL
	Cocina	Calefón	Otros	
A-PB	1	1	-	2
A-3	1	-	1	2
A-4	1	-	-	1
B-3	1	1	-	2
B-4	1	1	1	3
C-1	-	1	-	1
C-2	-	-	-	0
C-3	1	1	-	2
C-4	1	-	-	1
D-1	-	-	-	0
D-2	-	1	-	1
D-3	1	1	-	2
D-4	1	-	-	1
Suites	-	-	-	0
TOTAL	9	7	2	18

Tabla 3.06: Demanda de GLP del edificio
Fuente: Elaboración autores.

- El 50,0% del consumo total se utiliza para la cocción de alimentos.
- Cerca del 38,9% de cilindros consumidos se destinan para el uso del calefón y,
- El 11,1% del consumo total es para la secadora y reserva (otros).

Cabe acotar que los departamentos C-2, D-1 y las 4 suites, no presentan uso constante, por ello durante el periodo en que se realizó la toma de datos, presentan un consumo de GLP bajo e incluso nulo. Por otro lado, considerando lo mencionado con antelación, de que todas las demandas térmicas se conviertan en eléctricas, es decir, el funcionamiento de la cocina tradicional y calefón a gas, sería reemplazado por artefactos eléctricos como la cocina de inducción, ducha eléctrica y calefón eléctrico. Se determina el consumo que provocaría la implementación de estos aparatos, y se realizan las respectivas conversiones de unidades, tomando en cuenta la equivalencia y eficiencia.

Es así que, tomando en cuenta la equivalencia de 1 cilindro de gas de 15kg=200.62kWh y la efi-

ciencia de la cocina a gas como de inducción (Tabla 3.07), de 40% y 84%, respectivamente (Tama, 2013), se obtiene lo siguiente:

- El edificio requiere 722,2kWh mensualmente para la cocción de alimentos con cocinas eléctricas de inducción.
- Contemplando la utilización de bombas de calor, para el agua caliente sanitaria que presentan una eficiencia del 350% con respecto a los calefones a gas (eficiencia=97%) (Villalta & Buñay, 2016), se necesitará aproximadamente 402,2kWh mensuales.
- Para la utilización de secadora y reserva 401,2kWh.
- Y finalmente, la suma por los consumos térmicos, el edificio requiere aproximadamente 1525,6kWh, para sustituir los 18 cilindros de gas consumidos en el mes de estudio (marzo), esto considerando las respectivas equivalencias y eficiencias.

	Cocina a gas GLP	Cocina eléctrica Inducción
Eficiencia	40%	84%
Unidad definida	Cilindro GLP 15Kg	1kWh
Energía por Unidad	722223.0kj	3600kj
Energía considerando el Factor eficiencia	288889.2kj	3024kj
Unidades para hervir 10 litros de agua	0.0109 cilindro	1.04kWh
Costo por Unidad GLP subsidiado 1.60 USD/ cilindro	1.74¢USD	9.98¢USD
Costo por Unidad GLP internacional 15 USD/cilindro	18.35¢USD	9.98¢USD

Tabla 3.07: Análisis comparativo cocina tradicional vs cocina de inducción
Fuente: Tama, 2013.
Elaboración: Autores.

TARIFA RESIDENCIAL	
kWh	Costo (\$)
1 - 50	0,0910
51 - 100	0,0930
101 - 150	0,0950
151 - 200	0,0970
201 - 250	0,0990
251 - 300	0,1010
301 - 350	0,1030
351 - 500	0,1050
501 - 700	0,1285
701 - 1000	0,1450
1001 - 1500	0,1790
1501 - 2500	0,2752
2501 - 3500	0,4360
Superior	0,6812

Tabla 3.08: Tarifa eléctrica residencial
Fuente: ARCONEL, 2019.
Elaboración: Autores.

Por otro lado, mediante un sencillo análisis de costos, y con base a los cálculos realizados considerando el precio subsidiado oficial del cilindro de gas de uso doméstico de 15kg a \$1.60, se obtiene que se liquida un total de \$28,80 mensualmente, en tanto, que tomando en cuenta el costo real de cilindro a \$15,00 el total es de \$270.00, es decir, 9.4 veces más. En cambio, con el costo oficial del kWh de 9.33 centavos que no incluye el costo de distribución de \$1,41 aproximadamente (Macías, Valarezo, & Loo, 2018) (Tabla 3.08), el total mensual sería de \$142,34. Como se evidencia las cifras de las demandas de GLP, son realmente considerables al retirarse el subsidio.

3.5.1.3 CONSUMO TOTAL DEL EDIFICIO

Realizando el cálculo de los consumos promedios mensuales tanto eléctricos como térmicos, residenciales y comerciales se determina que en la actualidad el edificio requiere aproximadamente: 4039,01kWh por consumos eléctricos y 1525,63kWh por consumos térmicos, precisando 5564,64kWh mensualmente, que en tema de costos representa un saldo de \$519,18 al mes.

Además, como se puede observar en la Tabla 3.09 el edificio consumió en el año 2019 un total de 66775,62kWh.

3.5.2 DEMANDA ENERGÉTICA CON CAPACIDAD HABITACIONAL MÁXIMA

Para el escenario en el que el edificio presentase el aprovechamiento máximo de su capacidad habitacional para la que fue diseñado, se consideraron todos los departamentos (incluyendo aquellos que se encuentran desocupados), en conjunto con los consumos comerciales y comunitarios del edificio. En base a ello se tiene que:

- En cuanto a demandas eléctricas el Pinar del Lago I requeriría aproximadamente 4309,23kWh mensualmente.
- En relación con el consumo térmico precisa de aproximadamente 44 cilindros de uso doméstico de 15kg, que transformados a su equivalente, corresponden a 8775,12kWh al mes.
- Finalmente, se determina que el edificio nece-

sitaría mensualmente 13084,35kWh, es decir, 157012,19kWh al año (Imagen 3.27).

Los valores obtenidos de la demanda eléctrica, se calcularon a partir del consumo promedio mensual a nivel nacional de los clientes residenciales en el 2018, que fue de 135,26kWh (ARCONEL, 2019) y el número de personas que puede albergar cada departamento (diseñados principalmente para 4 personas).

De similar manera, la cantidad de cilindros requeridas, se obtuvo de la composición familiar de 4 personas y que el número promedio a nivel nacional de cilindros de GLP consumidos mensualmente es de 2,43 (1,18 para cocción de alimentos y 1,25 para agua caliente sanitaria) (Guamán, Guevara & Ríos, 2016).

En base a lo expuesto y a manera didáctica se realizó una estimación de la demanda energética máxima por mes del edificio, considerando como se puede ver en la Tabla 3.09 que el valor de la demanda proyectada es 2,35 veces mayor al consumo identificado en el año 2019.

CONSUMO - DEMANDA ENERGÉTICA (kWh)		
MES	CONSUMO 2019	DEMANDA MÁXIMA
Enero	5395,21	12685,97
Febrero	5371,03	12629,12
Marzo	5382,25	12655,50
Abril	5181,31	12183,02
Mayo	5346,55	12571,56
Junio	5412,95	12727,69
Julio	5272,35	12397,09
Agosto	5693,15	13386,53
Septiembre	4862,11	11432,47
Octubre	6096,83	14335,72
Noviembre	5681,55	13359,26
Diciembre	7080,33	16648,26
TOTAL	66775,62	157012,19

Tabla 3.09: Consumo - demanda energética 2019
Fuente: Elaboración autores.

CONSUMO EXISTENTE VS DEMANDA MÁXIMA

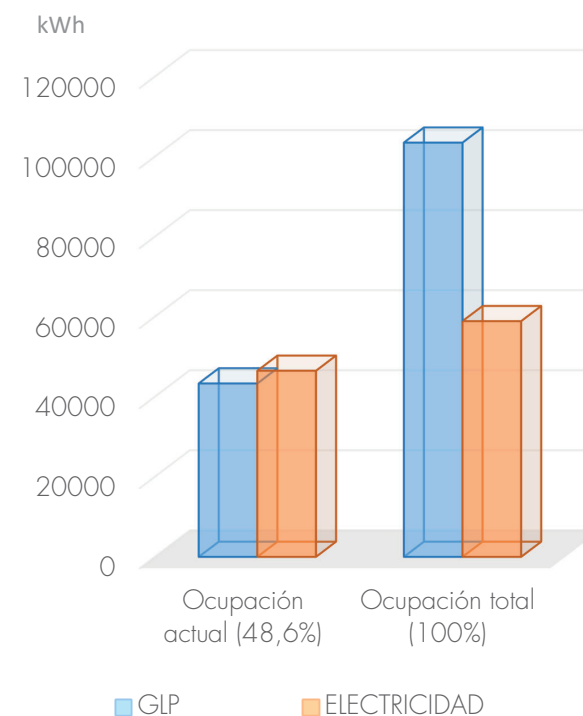


Imagen 3.27: Consumo existente vs Demanda máxima
Fuente: Elaboración autores.



3.5.3 CONSUMO ENERGÉTICO CON INCORPORACIÓN DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

Como dato adicional se realizó una estimación del consumo energético que involucraría el reemplazar el uso de autos convencionales (a base de combustibles fósiles) por vehículos eléctricos (EV, en adelante) para los habitantes del edificio. Esto debido a que el mayor consumo energético en Cuenca se da en el sector del transporte al representar éste, el 60% de la energía total requerida en la ciudad (Barragán, 2018). Así, se propone que la demanda energética de la movilidad personal se incluya en el balance de energía del edificio, al involucrar como se menciona en la investigación "Approaching net zero energy housing through integrated EV" al EV como un componente activo del edificio, es decir, como un aparato eléctrico más del hogar (Doroudchi, Alanne, Okur, Kyyrä & Lehtonen, 2018).

Hasta ahora los EVs no han sido tomados en cuenta dentro del consumo energético de las edificaciones, por lo que su demanda eléctrica tampoco ha sido considerada en el balance energético de edificios Net Zero (Doroudchi et al, 2018). Sin

embargo, en un futuro, donde se espera que la proporción de EVs aumente junto con el nivel de automatización de edificios, sistemas de gestión de energía inteligente para controlar el intercambio energético entre los vehículos y edificios, esto se convertirá en una necesidad. Según Doroudchi et al, 2018 la carga de EVs tiene el potencial de convertirse en uno de los principales contribuyentes al balance energético de los edificios y comunidades en el futuro, ya que su demanda de energía estará cada vez más cubierta por la electricidad doméstica y los recursos de energía distribuida.

Es así que, tomando como referencia el recorrido promedio anual de 20000km realizado por un automóvil particular en actividades cotidianas, se emplea como valor base del promedio de consumo del EV 3396,9kWh al año o lo que es lo mismo, 283kWh mensualmente (Espinoza, 2015).

En efecto, se consideran las dos instancias mencionadas previamente, determinando por consiguiente que:

Al tomar en cuenta el número de familias que alberga actualmente el edificio y considerando un

automóvil por cada una de ellas, en total 11, se registra que en conjunto con el consumo actual calculado anteriormente y la demanda que se generaría por los EVs que es de 37365,9kWh anual, el edificio requeriría aproximadamente 102941,58kWh al año para satisfacer los requerimientos energéticos.

En cambio, considerando se ocupen todos los parqueaderos existentes en el sótano y planta baja que son 28, la demanda por los vehículos se elevaría a 95113,2kWh, y el total anual sería de 252125,39kWh.

3.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Posterior a los diversos temas abordados en este capítulo, se concluye que:

- Del análisis bioclimático se determinó que el contexto de implantación del edificio se halla a una altitud de 2592 msnm, con temperaturas promedio de 15°C y humedad relativa en un rango de 58,1% a 78,6%. Se identificó una radiación global horizontal de 4,5kWh/m²/día, directa de 2,2kWh/m²/día y difusa de 2,3kWh/m²/día. La dirección predominante de los vientos fue Noreste y la velocidad promedio del viento de 5m/s. El promedio anual de precipitaciones fue de 65,75 mm, acorde a la información obtenida del fichero climático del año 2016 desarrollado en la investigación de Izquierdo, Pacheco, Gonzalez & Zalamea, 2019.
- En referencia a la edificación, esta se emplaza en una zona destinada a la vivienda de alta densidad, rodeado de varios edificios multifamiliares con alturas que varían de 4 a 12 pisos. Se determina que la lectura del edificio Pinar del Lago I se mantiene uniforme en sus fachadas, combinando la textura de hormigón visto y mampostería de ladrillo. En cuanto a la estructura se organiza en dos bloques principales, unidos en el centro por un área común que incluye las circulaciones verticales. Por otro lado, la estructura de la cubierta está hecha de madera, y su estado mantiene buenas condiciones.
- Del análisis del contexto de implantación y estudio de sombras, se concluye que a pesar de que los bloques edificados del condominio Pinar del Lago I se encuentran rodeadas por varios edificios que varían en una altura de 10 a 16 pisos, se registra para la cubierta una incidencia de sombras que varía en un rango de 9% a 46% de la superficie total de la misma, provenientes principalmente de horas de la mañana, en los días más críticos, razón por la cual, se considera que la implantación de paneles PVs sobre la cubierta sería factible ya que recibiría radiación solar directa la mayor parte del año.



- Además, tomando en cuenta el nivel de irradiación de Cuenca de $1600\text{kWh}/\text{m}^2$ año (Calle, Tinoco, 2018) y la superficie total de techumbre de la edificación de 651.54m^2 , se determina que podría existir 1042.50MWh de irradiación al año, evidenciándose el alto potencial para el aprovechamiento de ERs de captación solar, como son los PVs.
- En cuanto al consumo energético, el edificio el Pinar del Lago I, requirió aproximadamente $7650,17\text{kWh}$ para solventar los consumos al 2019, tanto térmicos como eléctricos. Pero, considerando el reemplazo de los electrodomésticos tradicionales por eléctricos, que destacan ser más eficientes, el consumo mensual se reduciría a $5564,64\text{kWh}$, correspondiendo el 27,4% únicamente a consumos térmicos.
- Después de haber realizado una comparación entre los consumos energéticos del 2018 y 2019, se encontró que, se consumieron $1964,3\text{kWh}$ más, es decir, en el año 2019

existió un 2,93% más de consumo, llegando a tener consumos hasta de $7080,33\text{kWh}$ al mes.

- La demanda energética determinada al considerar que el edificio se encuentre utilizando la capacidad habitacional máxima es aproximadamente 2,35 veces mayor a la actual (2019). Además, se observa que de la demanda máxima que se requeriría al incorporar los VE ($252125,39\text{kWh}$) el 37,7% corresponde al consumo eléctrico de los mismos.

CAPÍTULO 4

PROPUESTA DE REDISEÑO, SIMULACIONES Y RESULTADOS

CONTENIDOS

Rediseño de cubierta con tecnologías BAPV y BIPV

Propuesta constructiva

Descripción de tecnología para simulación

Simulación de rendimientos fotovoltaicos BIPV y BAPV

Implicaciones arquitectónicas

Conclusiones del capítulo



INTRODUCCIÓN

Los resultados obtenidos y descritos en los capítulos anteriores sirven como base para presentar una propuesta de rediseño arquitectónico, técnico eléctrico del edificio Pinar del Lago I, con referencia a las simulaciones de las tres alternativas de aplicación PV: paneles de sílice monocristalinos, paneles sin contactos metálicos entre células y tejas fotovoltaicas, detallando cuales son los respectivos procedimientos para la instalación, la estimación energética, implicaciones arquitectónicas, impacto estructural y estimación de períodos de amortización permiten determinar cuál opción de las estudiadas en el transcurso de la investigación es la óptima y aplicable en el edificio multifamiliar Pinar del Lago I.

4.1 REDISEÑO DE CUBIERTA CON TECNOLOGÍAS BAPV Y BIPV

Tomando como base los estudios efectuados de la situación actual del Pinar del Lago I, investigaciones realizadas a nivel nacional sobre la estimación del potencial de autogeneración eléctrica PV en conjunto con las implicancias arquitectónicas, se realizó 3 propuestas de incorporación de PVs que marcan los distintos niveles de integración arquitectónica y producción de las tecnologías (Kaan & Reijenga, 2004; IEA SHC Task 41, 2012), centrándose en la posibilidad de autogeneración PV, al considerar los consumos energéticos existentes en el edificio (Zalamea & García, 2016), se contempló integrar:

- PVs de sílice monocristalino (BAPV), debido a su disponibilidad en el mercado ecuatoriano, estudios y validaciones de rendimiento realizados en el medio local (Izquierdo & Pacheco, 2017),
- Paneles PV sin contactos metálicos entre células, estos por ser tecnologías innovadoras que poseen un alto rendimiento y rentabilidad a partir de estimaciones de eficiencias referenciales (Sunpower, 2019), y,

- Tejas fotovoltaicas (BIPV), estas cuentan con gran capacidad de integración arquitectónica, por el hecho de ser alternativas con capacidades de mimetización, adaptación estética y física en cubiertas resultando estéticamente armoniosas, ya que encajan perfectamente en distintos diseños arquitectónicos (Kaan & Reijenga 2004; IEA SHC Task 41, 2012).

Para ello, en primer lugar se determinaron aquellas características generales y de importancia para los 3 sistemas, como es el dimensionamiento de cada faldón, la respectiva pendiente, inclinación y orientación o azimut considerado para la colocación de los paneles. Las características mencionadas se muestran en la (Imagen 4.01 y Tabla 4.01).

Al respecto, se observó que la superficie de los faldones más grandes tiene alrededor de 90m² y de los más pequeños oscila entre 1,66m² y 9,45m². El ángulo azimut determinado para cada uno, que corresponde al formado entre el norte y la perpendicular de este en sentido horario, varía entre 16° y 285°.



Imagen 4.01: Clasificación de faldones según ángulo Azimut
Fuente: Elaboración autores.

CARACTERÍSTICAS DE FALDONES				
No.	SUPERFICIE (m ²)	PENDIENTE (%)	INCLINACIÓN (°)	AZIMUT (°)
1	97,77	35	19,29	285
2	88,93	35	19,29	106
3	92,74	35	19,29	16
4	92,11	35	19,29	195
5	9,45	35	19,29	61
6	9,45	35	19,29	241
7	3,38	25	14,04	61
8	1,66	25	14,04	241

Tabla 4.01: Características de faldones
Fuente: Elaboración autores.

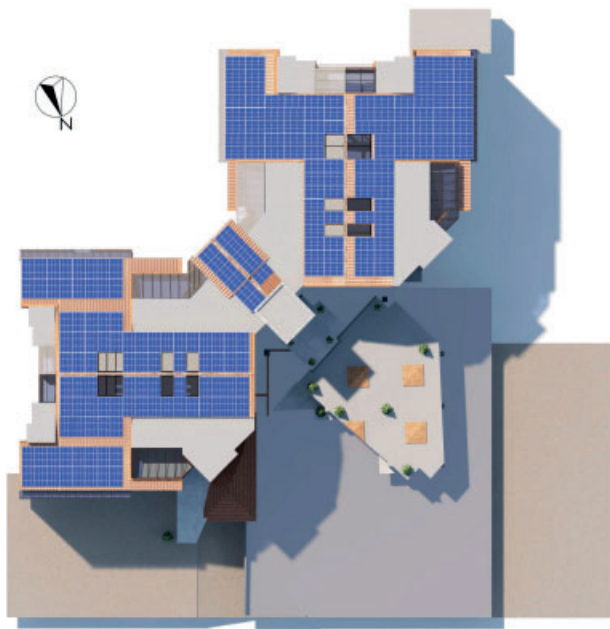


Imagen 4.02: Paneles monocristalinos distribuidos en techumbre
Fuente: Elaboración autores.

Del análisis de sombras y recorrido solar, realizado en el punto 3.4 del capítulo anterior, en el que se determinaron las superficies sombreadas sobre cada faldón en los días extremos correspondientes a los solsticios 21 de junio y 21 de diciembre principalmente, se estableció lo siguiente: para el solsticio de invierno, el menos favorable, la cubierta se mantuvo totalmente iluminada desde las 9 de la mañana hasta las 4 de la tarde, en tanto que, en el solsticio de verano a partir de las 8am y hasta las 5pm no presentaron áreas sombreadas. Por ello para lograr un resultado aproximado se analizó cada uno de los faldones y meses del año, considerando porcentajes de pérdida según sea el caso.

Por otro lado, en cuanto al rediseño de la cubierta se generaron modificaciones menores en la techumbre para la integración de los PVs, las cuales fueron válidas para las 3 tecnologías, puesto que, en los faldones 1, 2, 3 y 4 (Imagen 4.01) se respetó la ubicación actual de los lucernarios por encontrarse brindando iluminación al área de baños y de circulaciones verticales como es el caso de las gradas. Sin embargo en los cuatro faldones y para todos los tragaluces se decidió mantener una

longitud homogénea, por lo cual el diseño actual fue replanteado. Con base a todo lo expuesto, se realizó el rediseño de la cubierta con las siguientes tecnologías PVs:

4.1.1 PANEL DE SÍLICE MONOCRISTALINO (BAPV)

Los PVs a base de células monocristalinas cuentan con una larga trayectoria en la industria y son los más comunes para el uso residencial. Además, en un estudio previo se validó el rendimiento de estos paneles (15,50%) en la ciudad de Cuenca (Izquierdo & Pacheco, 2017). Así para la primera propuesta se usó paneles PVs monocristalinos de 60 celdas, destacados por ser de los más usados dentro del mercado nacional.

El panel PV entrega un total de 270W/30V cuyas dimensiones son de 1640x992x40mm. Posee un marco de aluminio de alta calidad de 40mm; según datos del fabricante el rango de temperatura de funcionamiento oscila entre los - 45°C ~ 85°C (Proviento, 2019).

Con base a este panel y las características físicas,



Imagen 4.03: Elevación lateral derecha con paneles monocristalinos distribuidos en techumbre
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.04: Elevación frontal con paneles monocristalinos distribuidos en techumbre
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.05: Perspectiva con paneles monocristalinos distribuidos en techumbre
Fuente: Elaboración autores.



se procedió a colocarlos en la cubierta de la edificación sobre una estructura solar coplanar con perfilería de aluminio proceso que será detallada en el punto 4.1.1.1. Dando una totalidad de 208 paneles (Imagen 4.02) distribuidos de la siguiente manera:

Faldón 1 —> 53; **faldón 2** —> 50;
faldón 3 y 4 —> 47; **faldón 5 y 6** —> 4;
faldón 7 —> y **faldón 8** —> 1PV.

Es pertinente recalcar que del faldón 8 (Imagen 4.01), solo se consideró la mitad, debido a que el ingreso a la cubierta se mantiene en ese lugar.

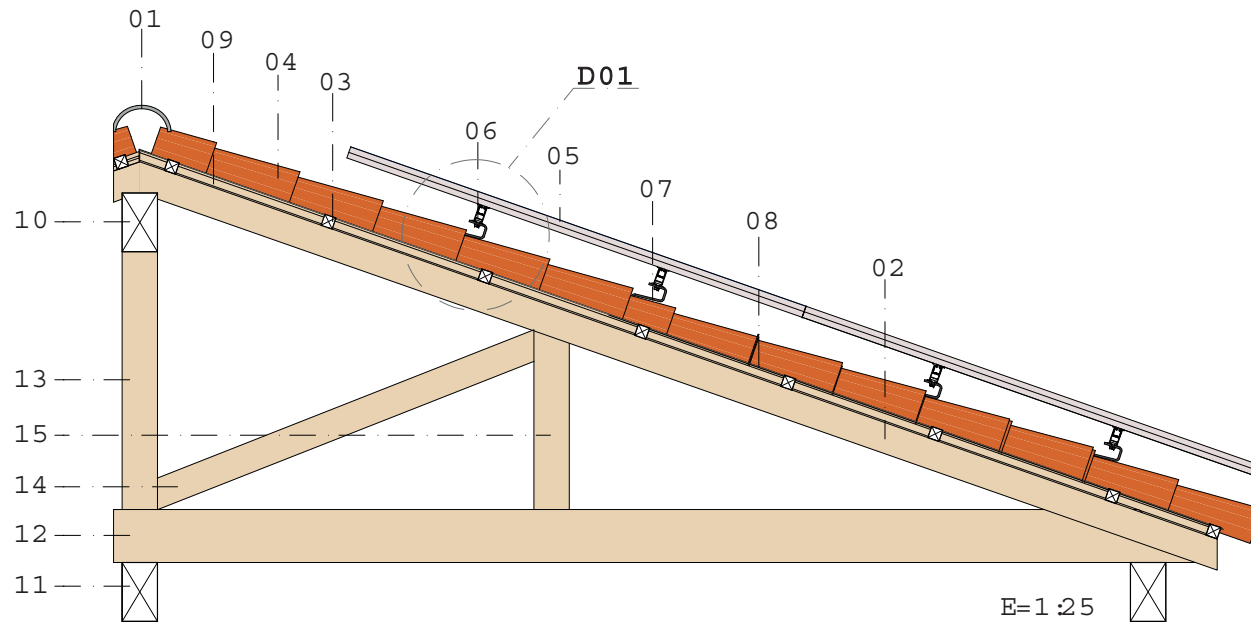
Se debe mencionar que para lograr la uniformidad en los faldones 1, 2 (Imagen 4.03), 3, 4 (Imagen 4.04), se replanteó el diseño de los pozos de luz existentes. Para esto, en los faldones 2, 3 y 4 (Imagen 4.01), se tomó como base la dimensión del largo (1.50m) del tragaluz de mayor superficie, adoptando esta longitud para todos y manteniendo el ancho actual de cada pozo de luz. . Aplicando el mismo criterio, en el faldón 1 se considera como longitud para todos los pozos de luz 1,90m, conservando el ancho de los mismos. Esta homogeneidad permite realizar una compaginación entre los paneles y lucernarios, facilitando una adecuada

colocación de los PVs. Este replanteo realizado en la techumbre de la edificación se lo aplicó como base para la incorporación de las tecnologías BAPV y BIPV presentadas en este estudio.

El ángulo de inclinación de los paneles, se mantuvo acorde a la pendiente de cada faldón como se puede observar en la Imagen 4.05.

4.1.1.1 MONTAJE PANELES DE SÍLICE DEMOCRISTIANO / DETALLES CONSTRUCTIVOS

El sistema permite instalar paneles PVs sobre superficies de teja (Imagen 4.06 - Imagen 4-17), adaptándose a la inclinación de la cubierta existente, a través de una fácil instalación de una estructura modular, la cual posibilita su ampliación en cualquier momento según las necesidades. La estructura se fija al techo utilizando perfiles de aluminio como base de los módulos PVs, agregando abrazaderas intermedias que mantendrán fijadas y seguras las placas solares a la estructura. El anclaje con la cubierta se lo hace con ganchos salvatejas unidos por pernos a las vigas de madera (Imagen 4.08 - Imagen 4.13) por lo que el tejado existente no tuvo la necesidad de ser reemplazado.



- | | |
|--|--|
| 01. Teja de caballete | 09. Listones de madera |
| 02. Cabios de madera | 10. Cumbre |
| 03. Correas de madera | 11. Viga solera de madera |
| 04. Teja colonial | 12. Tirante viga de madera |
| 05. Panel PV 270W/30V 1640x992x40mm | 13. Montante poste central |
| 06. Perfil de aluminio 40x38mm | 14. Diagonal |
| 07. Gancho salvateja | 15. Poste montante |
| 08. Membrana Asfáltica, lámina impermeabilizante para techos | 16. Tuerca especial para unión de perfil |

Imagen 4.06: Detalle constructivo con paneles de sílice monocristalino de 60 celdas
Fuente: Elaboración autores.

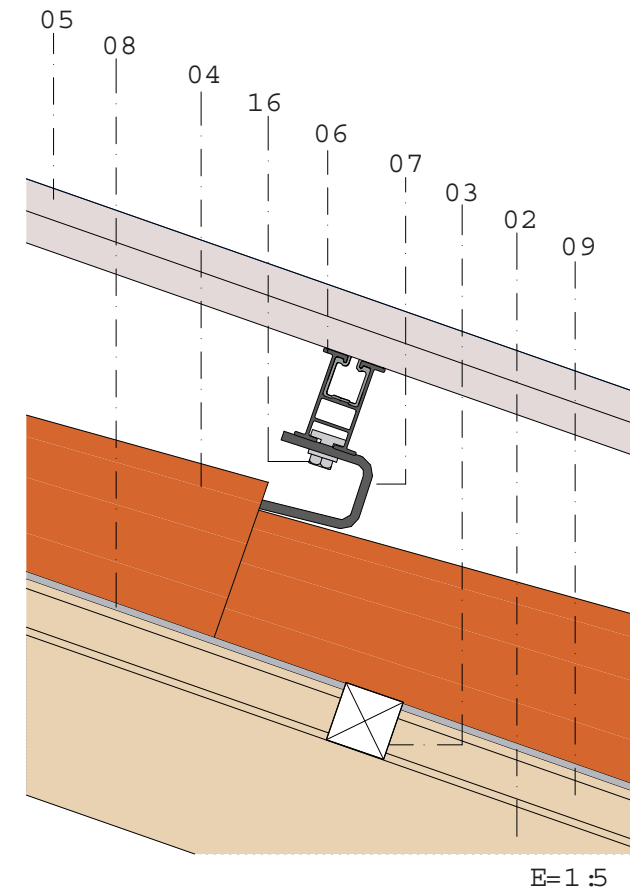
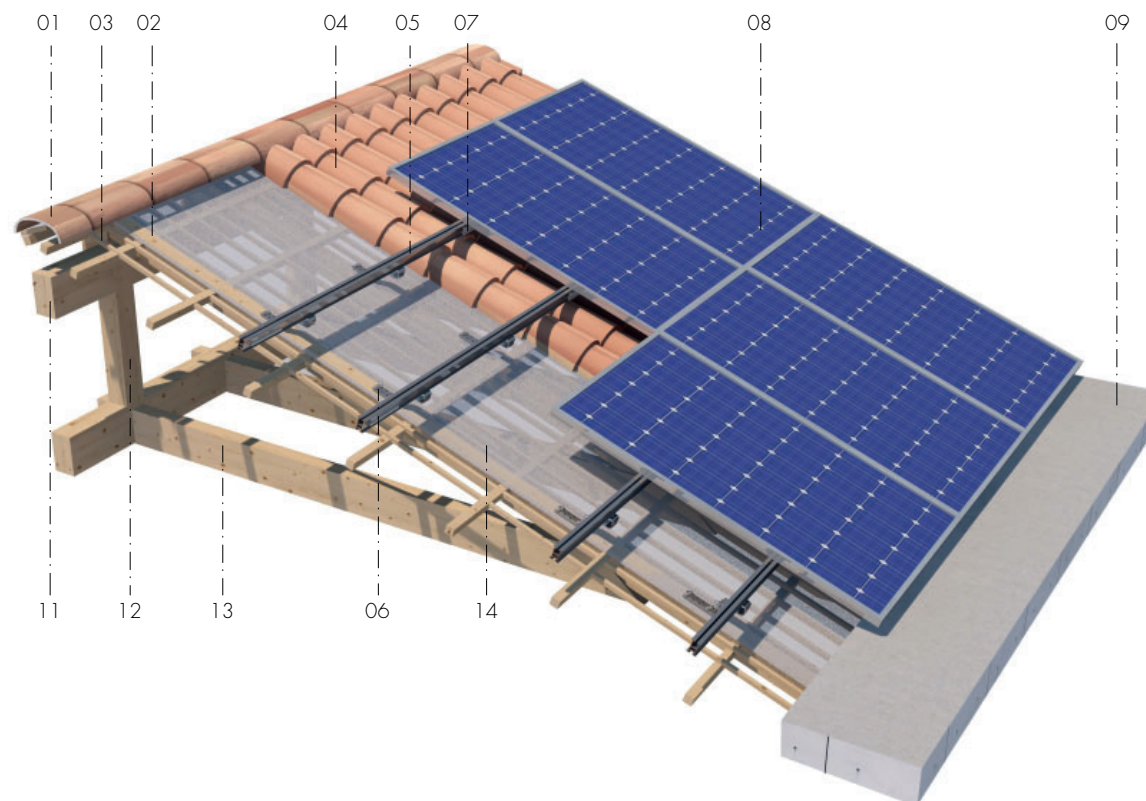


Imagen 4.07: Detalle constructivo (D01) paneles de sílice monocristalino de 60 celdas
Fuente: Elaboración autores.



- 01. Teja de caballete
- 02. Cabios de madera
- 03. Listones de madera
- 04. Teja colonial
- 05. Perfil de aluminio 40x38mm
- 06. Gancho salvateja
- 07. Unión lineal de perfil
- 08. Panel PV 270W/30V
1640x992x40mm
- 09. Losa de Hormigón
- 10. Correas de madera
- 11. Cumbre
- 12. Pendolón de madera
- 13. Tirante de madera
- 14. Membrana Asfáltica, lámina impermeabilizante para techos

Imagen 4.08: Sistema constructivo con paneles de sílice monocristalino de 60 celdas
Fuente: Elaboración autores.

- 01. Teja de caballete
- 02. Cabios de madera
- 03. Listones de madera
- 04. Teja colonial
- 05. Perfil de aluminio 40x38mm
- 06. Gancho salvateja
- 07. Unión lineal de perfil
- 08. Panel PV 270W/30V
1640x992x40mm
- 09. Correas de madera
- 10. Cumbre
- 11. Membrana Asfáltica, lámina impermeabilizante para techos

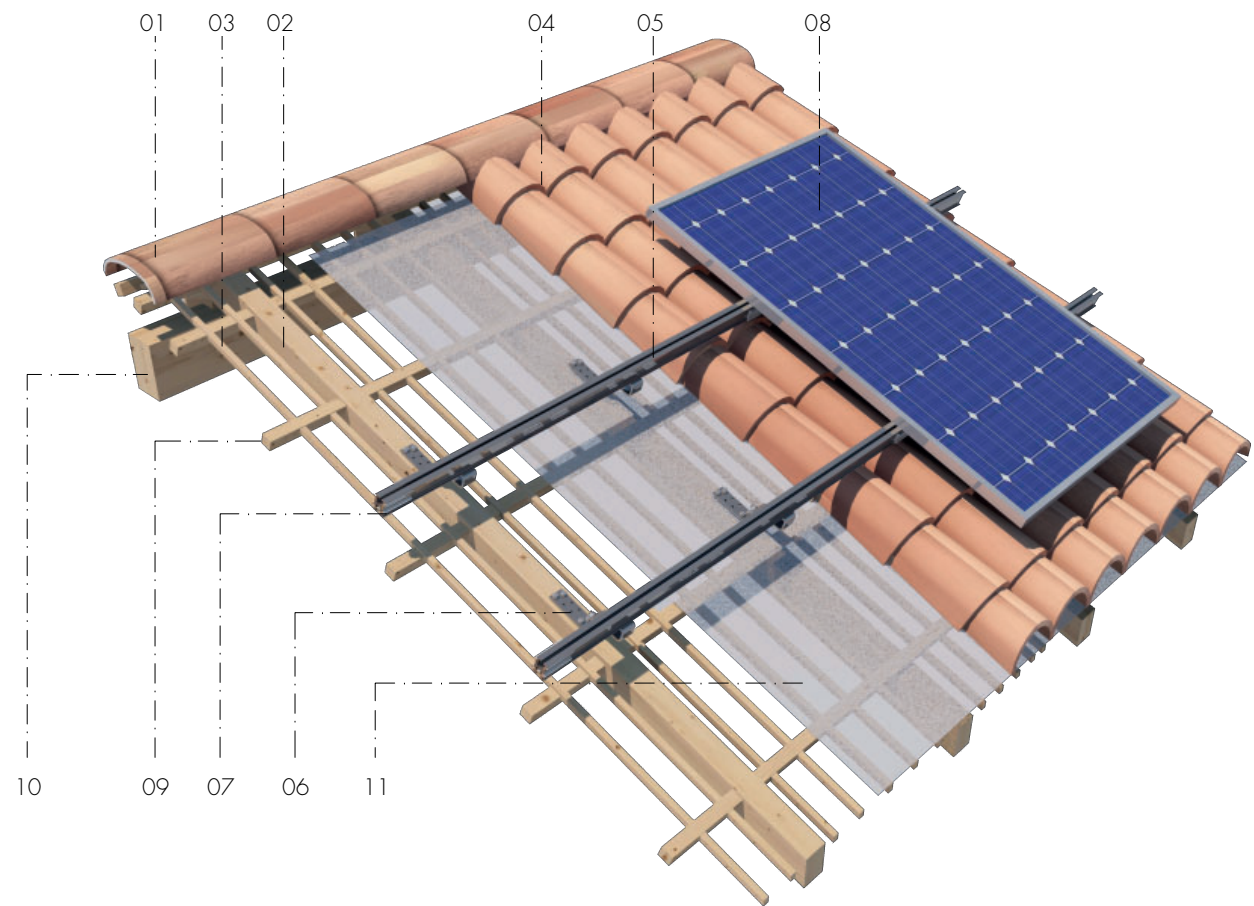
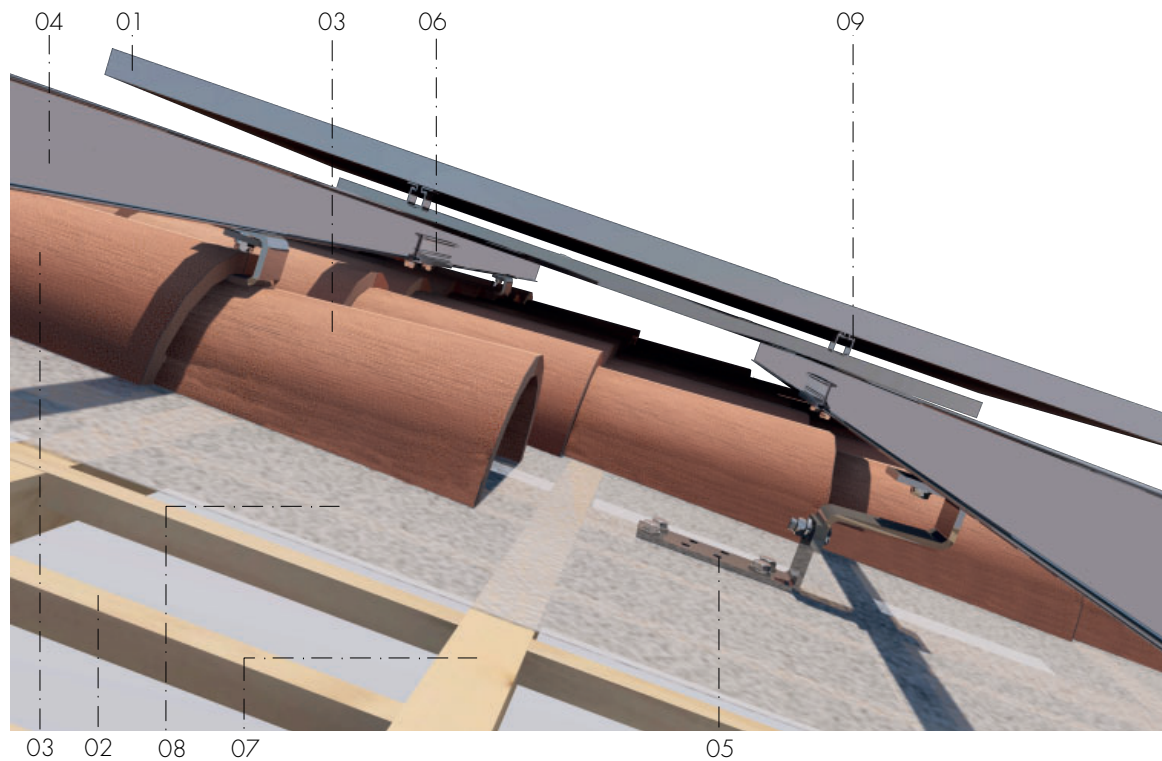


Imagen 4.09: Anclaje de estructura de paneles a envigado de la edificación
Fuente: Elaboración autores.



01. Panel PV 270W/30V
1640x992x40mm
02. Listones de madera
03. Teja colonial

04. Perfil de aluminio 40x38mm
05. Gancho salvateja
06. Correas de madera

07. Membrana Asfáltica, lámina impermeabilizante para techos
08. Gancho para unión panel PV

Imagen 4.10: Detalle de anclaje de estructura para paneles
Fuente: Elaboración autores.

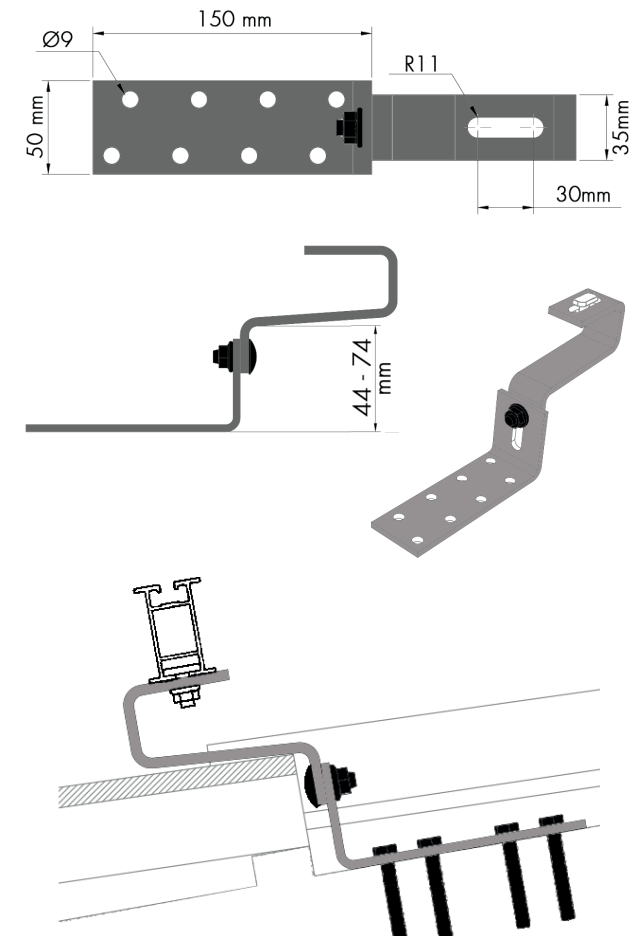


Imagen 4.11: Gancho salvateja, unión y dimensiones
Fuente: Elaboración autores.

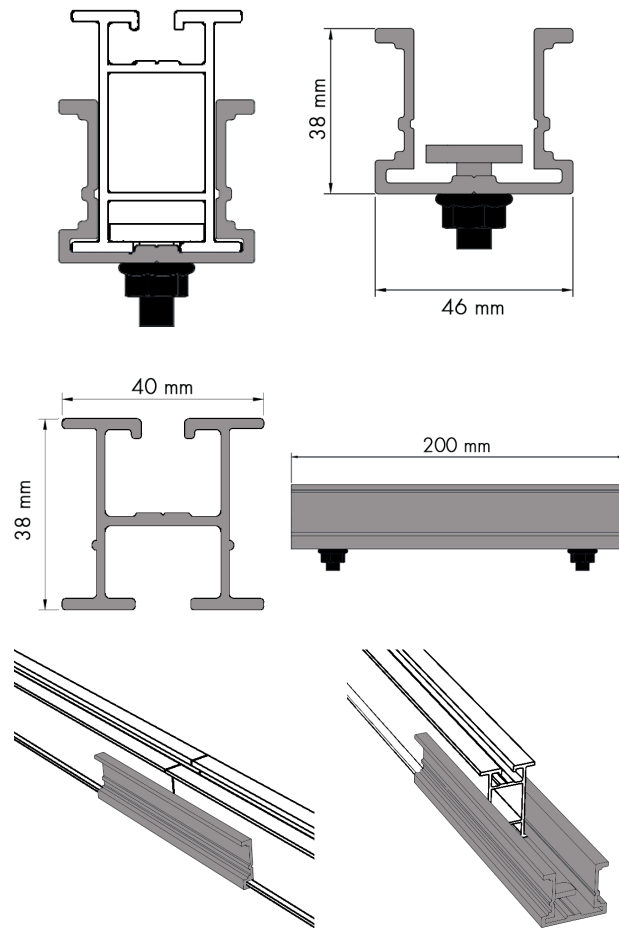
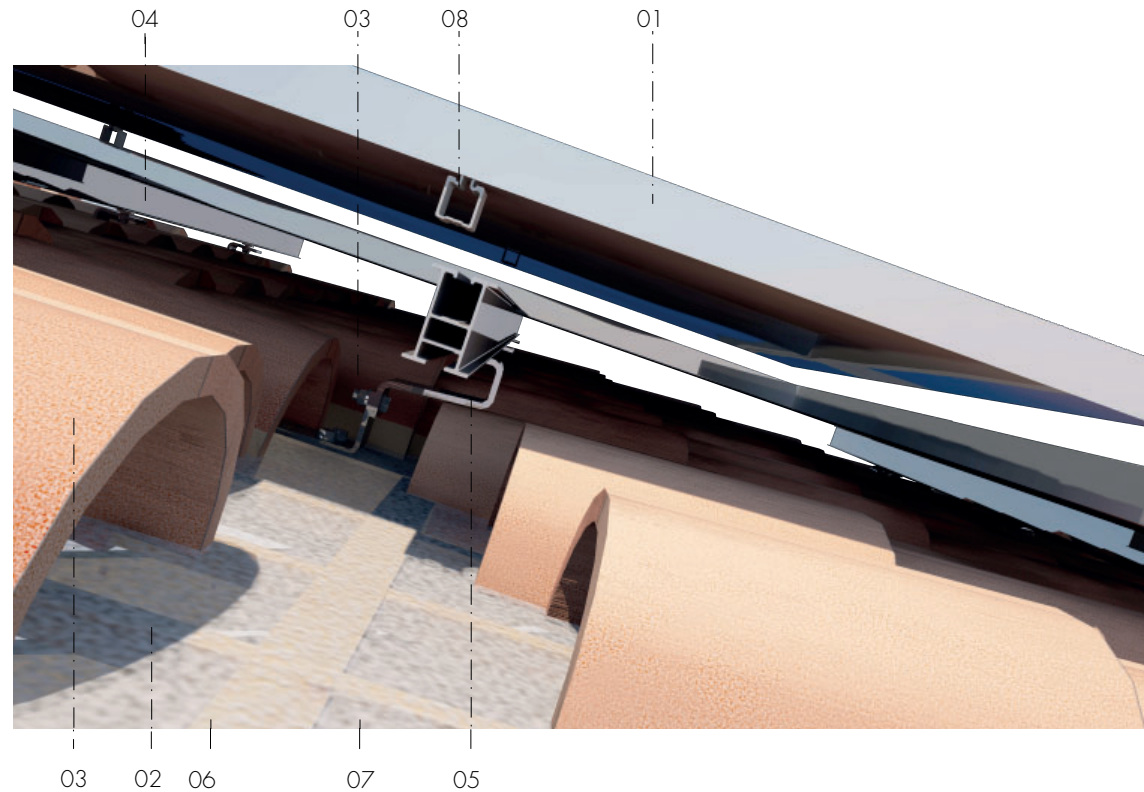


Imagen 4.12: Soportes y unión del perfil de aluminio
Fuente: Elaboración autores.



01. Panel PV 270W/30V
1640x992x40mm
02. Listones de madera
03. Teja colonial

04. Perfil de aluminio
40x38mm
05. Gancho salvateja
06. Correas de madera

07. Membrana Asfáltica, lámina
impermeabilizante para techos
08. Gancho para unión panel PV

Imagen 4.13: Detalle de anclaje de estructura para paneles
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.14: Paneles sin contactos metálicos distribuidos en techumbre
Fuente: Elaboración autores.

4.1.2 PANEL PV SIN CONTACTOS METÁLICOS ENTRE CÉLULAS (BIPV)

La placa PV representa una nueva generación de paneles solares PVs de gran rendimiento, debido a que ofrecen un nuevo modo de estructuración. Un reconocido fabricante americano, presenta un nuevo diseño respecto a la fabricación de paneles solares, logrando aumentar el área de captación solar dentro del panel, brindando de esta manera una mayor potencia en comparación a PVs convencionales. Lo cual se logra gracias a la eliminación de conexiones metálicas entre células. Este avance tecnológico como objetivo principal plantea eliminar cualquier tipo de posibilidad de aparición de puntos calientes en las placas (sobrecalentamiento al punto de poder destruirse una célula PV) por problemas relacionados con las conexiones metálicas entre células (Sunfields, 2019).

Asimismo, disponen de una tecnología que, en el caso de existir sombra, tan solo pierden en producción la parte proporcional sombreada. Es decir, no ocurre como en los paneles convencionales que se pierde el 33%, 66% o el 100% de producción en caso de existir sombras (Sunpower, 2019).

Este panel PV se ha desarrollado para instalaciones con fines residenciales, brinda un alto rendimiento y una eficiencia del 19,9% (Sunpower, 2019), destacando su diseño totalmente negro que otorga elegancia y armonía a la edificación (Imagen 4.14).

El panel mide 1690x998x46mm, lo cual le permite convertirse en un producto ideal para instalaciones sobre tejados de viviendas, desarrollando una integración estética sobria, al mantenerse uniforme el color negro sin las conexiones sobre las células internas del panel (Sunpower, 2019).

La superficie del panel permite desplegar sobre la techumbre de la edificación un máximo de 208 PVs, de manera idéntica a la que se encuentran distribuidos los paneles de 60 celdas descritos en el punto 4.1.1, tanto en faldones 1-2 (Imagen 4.15), 3-4 (Imagen 4.16), 5-6 y 7-8. Cabe recalcar que la orientación y el ángulo de los PVs también guardan la disposición usada previamente, manteniendo una lectura uniforme en la imagen (Imagen 4.17).



Imagen 4.15: Elevación lateral derecha con paneles sin contactos metálicos distribuidos en techumbre
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.16: Elevación frontal con paneles sin contactos metálicos distribuidos en techumbre
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.17: Perspectiva con paneles sin contactos metálicos distribuidos en techumbre
Fuente: Elaboración autores.

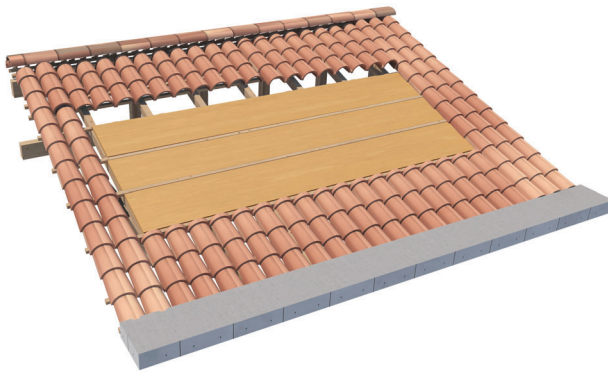


Imagen 4.18: Montaje horizontal de tableros de madera
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.20: Colocación de perfiles de aluminio
Fuente: Elaboración autores.

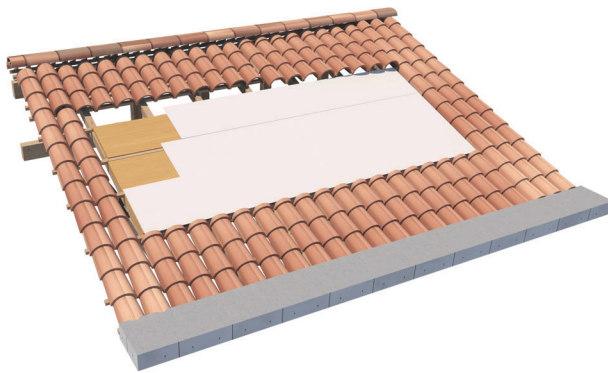


Imagen 4.19: Incorporación de capas impermeabilizantes
Fuente: Elaboración autores.

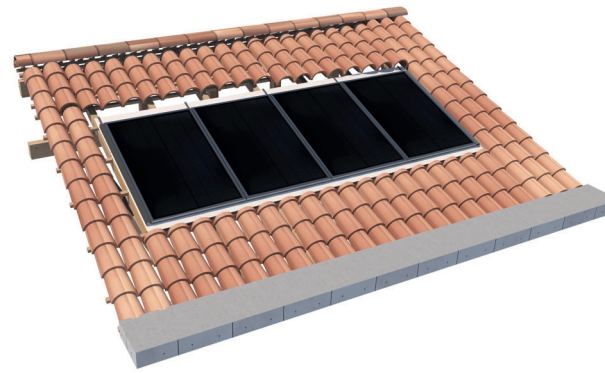


Imagen 4.21: Disposición de paneles sin contactos metálicos
Fuente: Elaboración autores.

4.1.2.1 MONTAJE PANELES DE PANELES PV SIN CONTACTOS METÁLICOS ENTRE CÉLULAS / DETALLES CONSTRUCTIVOS

El sistema permite instalar paneles PV integrados en la techumbre, adaptados a la inclinación existente.

El procedimiento empieza por retirar las tejas que serán reemplazadas por los respectivos tableros de montaje horizontal colocados al nivel de las correas de la cubierta (Imagen 4.18), luego se incorpora las capas impermeabilizantes de construcción para mantener seca la parte interna de la cubierta (Imagen 4.19) e inmediatamente se atornilla los perfiles de aluminio dispuestos según el tamaño necesario que requiera el panel PV (Imagen 4.20).

A continuación, se disponen los paneles (Imagen 4.21), al colocarse sobre los perfiles y atornillarlos se incorpora el alero con sistema impermeabilizante a nivel de las tejas que se mantienen sobre la cubierta. Proceso que se realiza para permitir un correcto flujo de agua proveniente de lluvias, manteniéndose a nivel de tejas, alero y paneles, dando como resultado final un sistema integrado (Imagen 4.24 - Imagen 4.25).

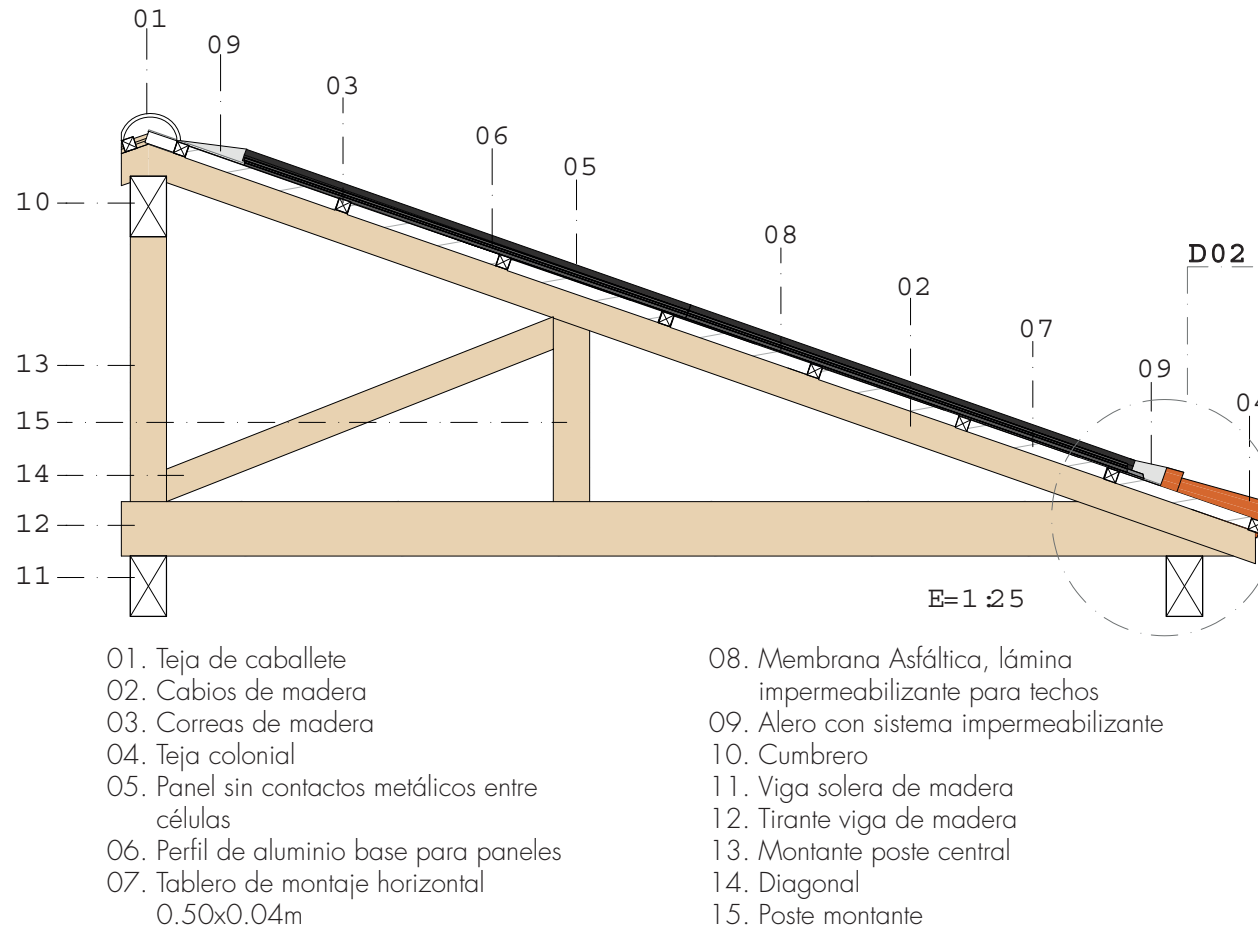


Imagen 4.22: Detalle constructivo con paneles de sílice monocristalino de 60 celdas.
 Fuente: Elaboración autores.

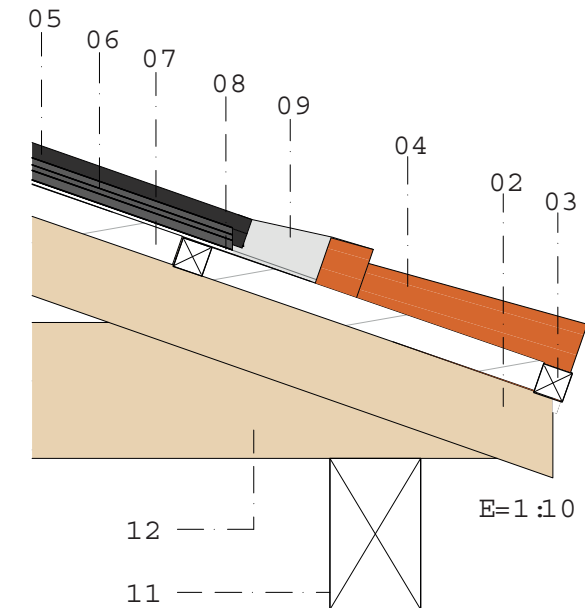


Imagen 4.23: Detalle constructivo (D02) PVs sin contactos metálicos
 Fuente: Elaboración autores.

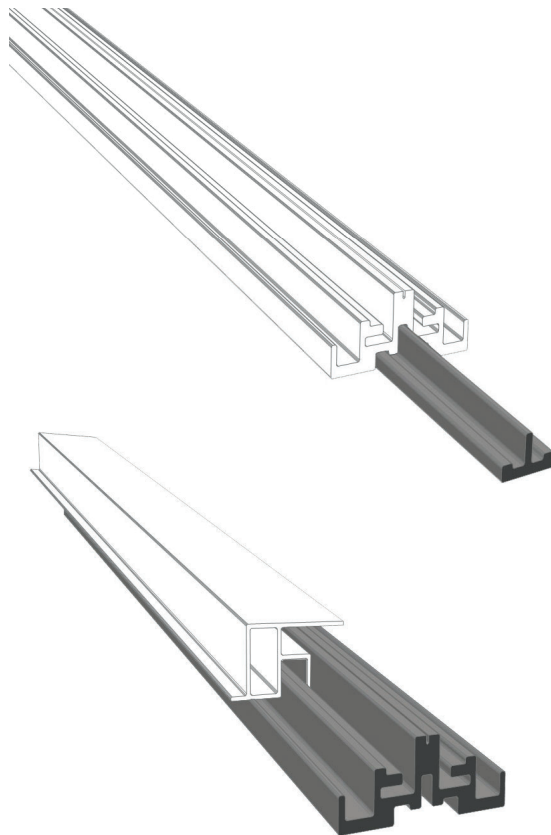
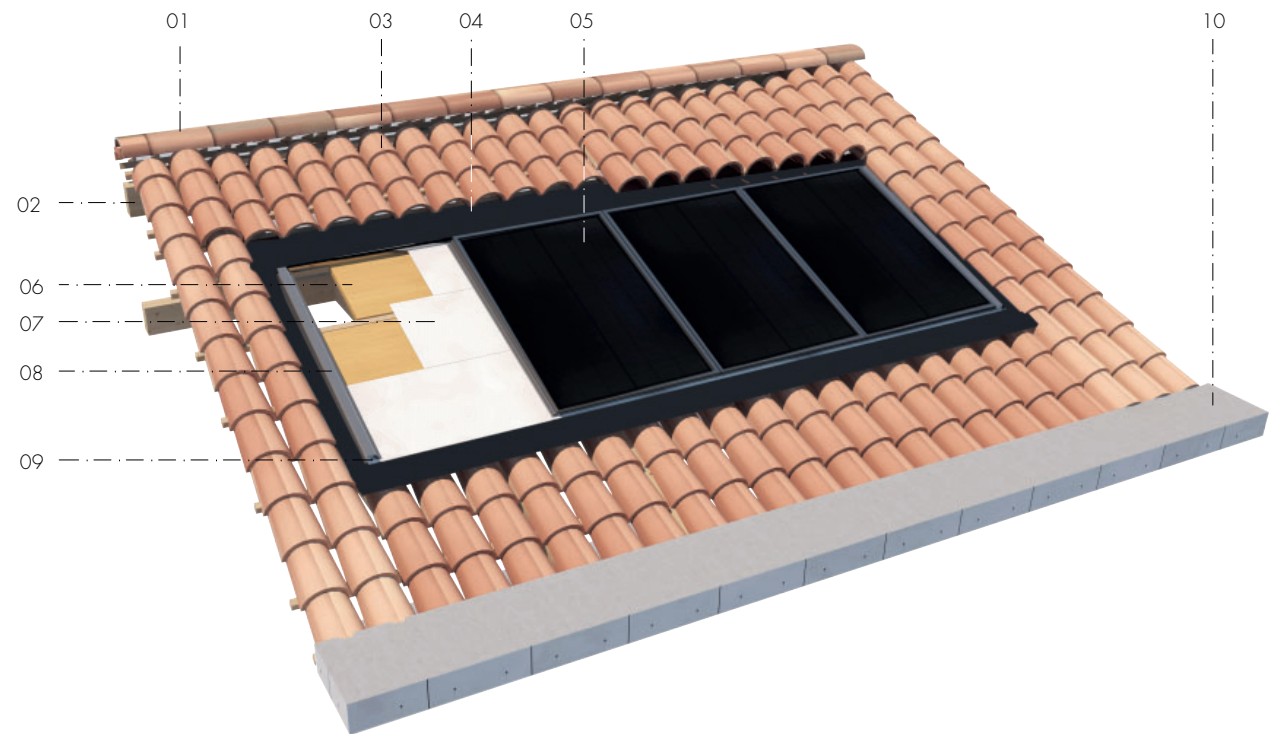


Imagen 4.24: Unión de perfiles de aluminio
Fuente: Elaboración autores.



01. Teja de caballete
02. Cumbre
03. Teja colonial

04. Alero con sistema impermeabilizante
05. Panel sin contactos metálicos entre células
06. Tablero de montaje horizontal
07. Capa impermeabilizante de construcción

08. Perfil de aluminio tipo L
09. Perfil de aluminio base para paneles
10. Losa de Hormigón

Imagen 4.25: Sistema constructivo con paneles sin contactos metálicos entre células
Fuente: Elaboración autores.

4.1.3 TEJAS FOTOVOLTAICAS (BIPV)

Hoy en día, gracias al avance tecnológico existen en el mercado tejas solares PVs como una alternativa del sistema BIPV, las cuales permiten de manera discreta generar energía limpia. La principal característica es que esta tecnología desempeña un papel fundamental en cuanto a la estética en la arquitectura debido a que quedan integradas en la envolvente de la edificación (Martínez, 2016) y no se ven como una instalación auxiliar a la vivienda, como ocurre con los PVs de sílice monocristalino (BAPV) en el punto 4.1 analizado anteriormente.

Una reconocida empresa con gran recorrido en cuanto a proyectos sostenibles, decidió crear sus propias tejas solares PVs, las cuales están diseñadas como alternativa energética eficiente comparado con paneles PVs. Entre las ventajas se halla el gran parecido a las tejas habituales, alcanzando una mejor integración de la tecnología con la edificación, generando un impacto visual armónico (INARQUIA, 2019).

Los materiales de los que están hechas las tejas solares, resultan ser tres veces más sólidos que los de

una teja clásica. Se fabrica con un cristal templado que protege las células PVs, y facilitan el ingreso de luz (Imagen 4.26). Presentan una resistencia a los impactos mayor que las tejas cerámicas convencionales, debido a que están conformadas por tres capas:

- » Vidrio templado de alta resistencia,
- » Una película de color que actúa como una persiana según incide la luz y,
- » Células fotovoltaicas.

En tal sentido, las tejas PVs poseerían las mejores condiciones de integración estética y desempeño (Shukla, Sudhakar y Baredar 2016).

Los tipos de tejas solares disponibles en el mercado son cuatro: Teja Texturizada, Teja Lisa, Teja Pizarra y Teja Toscana. Esta última es aplicada en el análisis, presenta dimensiones características de 184x365mm (Imagen 4.28), y una eficiencia del 12,0% (Richardson, 2019), las cuales son discretas, sin exhibir sus células PVs desde cualquier ángulo de visión (Tesla, 2019), permitiendo crear un diseño óptimo e integrado, para que el tejado solar parezca una cubier-



Imagen 4.26: Tejas PVs distribuidas en techumbre
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.27: Perspectiva con tejas PVs distribuidas en techumbre
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.28: Elevación frontal tejas PVs distribuidas en techumbre
Fuente: Elaboración autores.



Imagen 4.29: Elevación lateral derecha con tejas PVs distribuidas en techumbre
Fuente: Elaboración autores.

ta convencional (Imagen 4.27 - Imagen 4.29).

4.1.3.1 MONTAJE TEJAS FOTOVOLTAICAS (BIPV)/ DETALLES CONSTRUCTIVOS

El sistema permite instalar tejas PV reemplazando el tejado existente en la cubierta.

El procedimiento inicia por retirar las tejas actuales y adaptar un sistema de machihembrado de madera de $\frac{3}{4}$ "x6" sobre la cubierta actual (Imagen 4.30 y 4.36). Posteriormente, se debe cubrir esta estructura con una barrera de vapor, film poliestileno de 100 micrones con un espesor no menor a 10mm (Imagen 4.30). A continuación se fijan listones de madera de $1\frac{1}{2}$ "x $\frac{1}{4}$ " y tirantes de 2"x 1" (Imagen 4.32). Se procede a colocar una placa de poliestireno expandido con un espesor de 2cm entre los listones y tirantes, para nivelarla (Imagen 4.33) y crear una superficie apta para la colocación una membrana impermeable de polietileno e=10mm con cara de aluminio. Finalmente, se realiza la fijación de las tejas PV (Imagen 4.37 - Imagen 4.38).

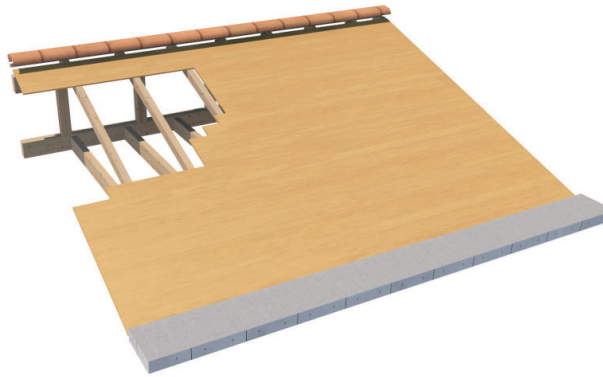


Imagen 4.30: Machihembrado de madera $\frac{3}{4}$ "x6" sobre vigas de cubierta
Fuente: Elaboración autores.

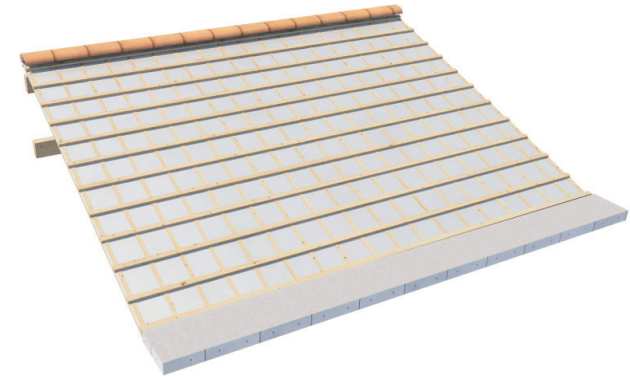


Imagen 4.32: Tendidos de listones y tirantes de madera sobre cubierta
Fuente: Elaboración autores.

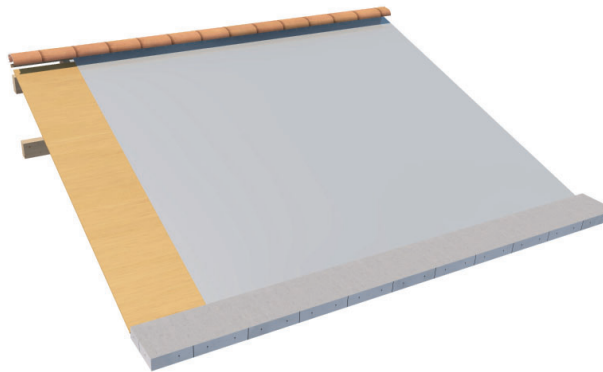


Imagen 4.31: Colocación barrera de vapor, film poliestileno 100 micrones
Fuente: Elaboración autores.

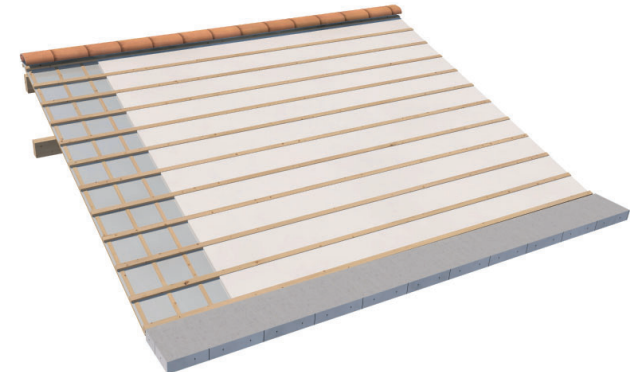


Imagen 4.33: Tendido de placas de poliestireno expandido e=2cm entre tirantes
Fuente: Elaboración autores.

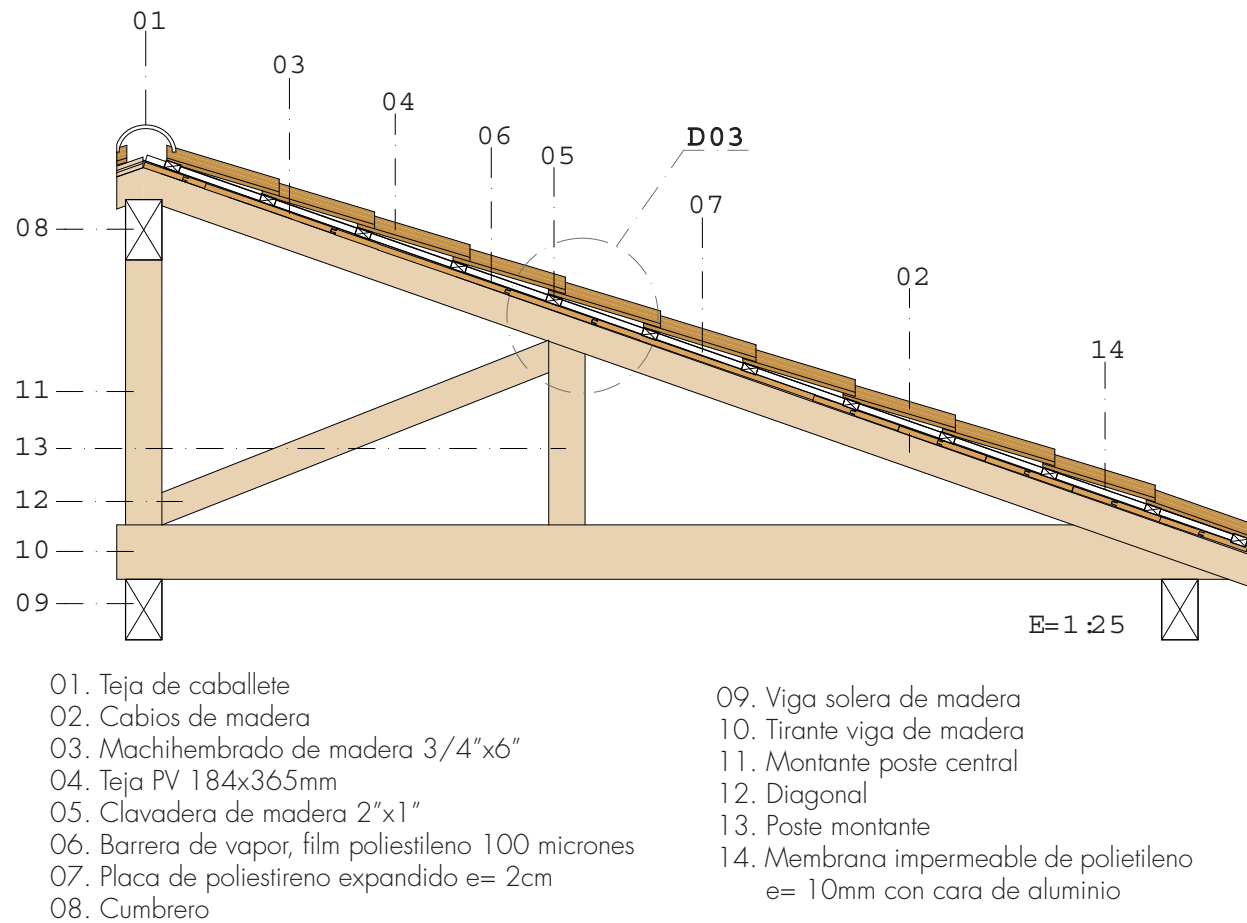


Imagen 4.34: Detalle constructivo tejas PVs.

Fuente: Elaboración autores.

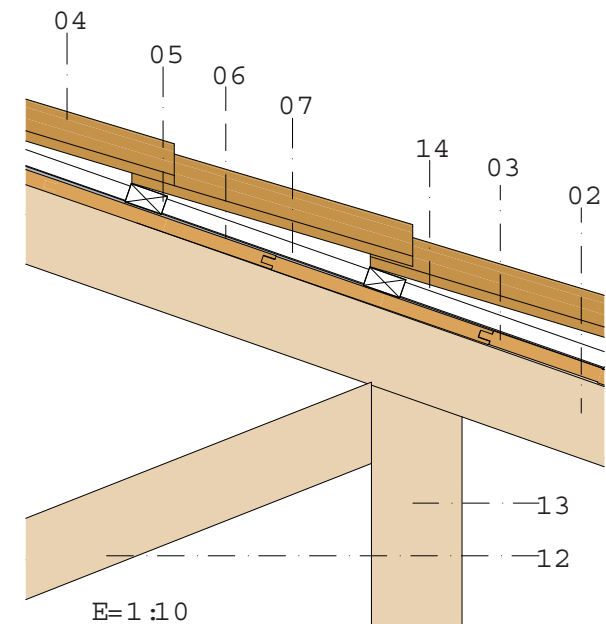


Imagen 4.35: Detalle constructivo (D03) tejas PVs

Fuente: Elaboración autores.

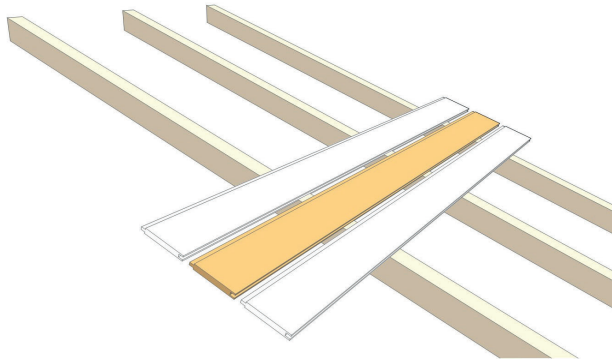


Imagen 4.36: Montaje de machiembrado de madera $\frac{3}{4}$ "x6"
Fuente: Elaboración autores.

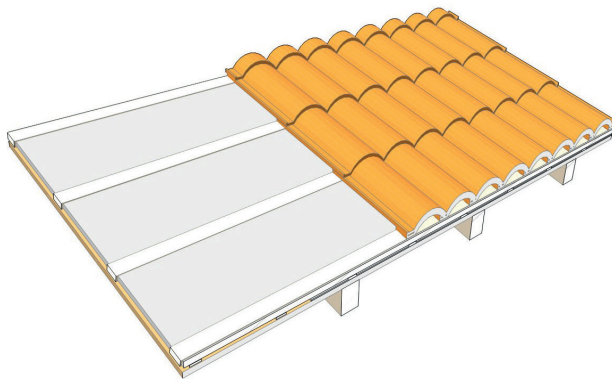
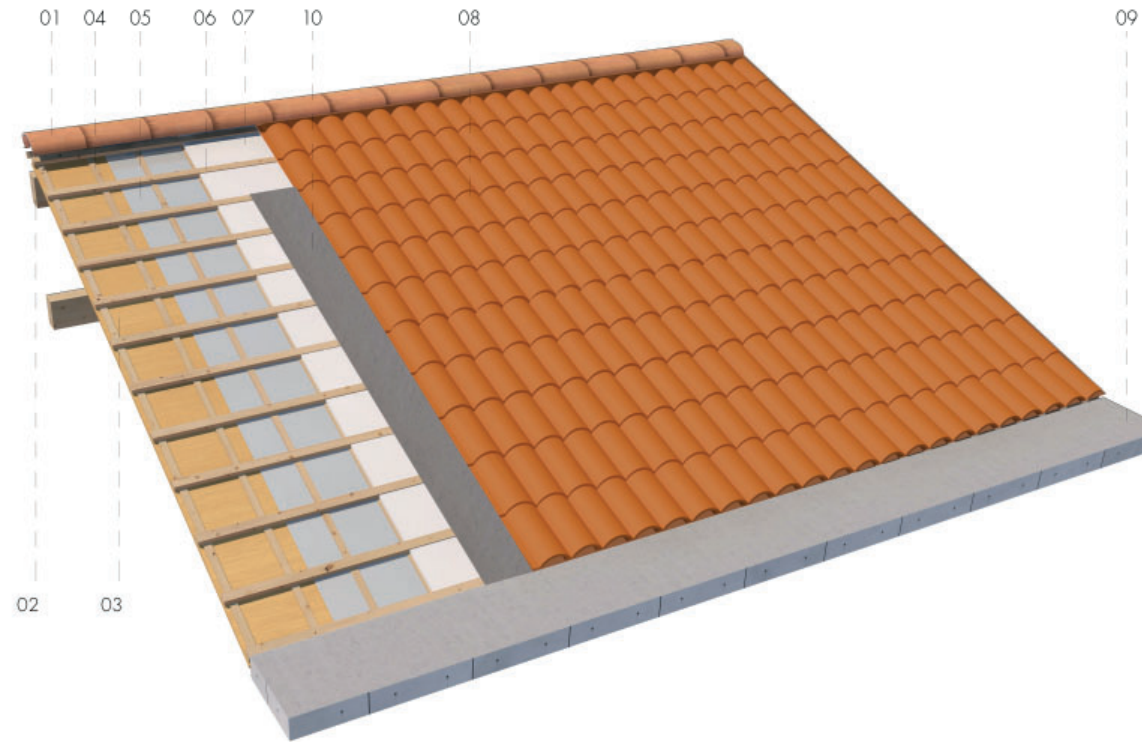


Imagen 4.37: Tendido de tejas tesla sobre tirantes de cubierta
Fuente: Elaboración autores.



- 01. Teja de caballete
- 02. Cumbre
- 03. Machihembrado de madera $\frac{3}{4}$ "x6"
- 04. Listón de madera $1\frac{1}{2}$ "x $\frac{1}{4}$ "

- 05. Membrana impermeable de poliestileno e=10mm
- 06. Clavadera de madera 2"x1"
- 07. Placa de poliestireno expandido e= 2cm

- 08. Teja PV 184x365mm
- 09. Losa de Hormigón
- 10. Membrana impermeable de polietileno e= 10mm con cara de aluminio

Imagen 4.38: Sistema constructivo con tejas PVs
Fuente: Elaboración autores.



4.1.4 IMPACTO ESTRUCTURAL DE LAS TECNOLOGÍAS (BAPV-BIPV) EN LA CUBIERTA.

En cuanto al impacto estructural generado por la incorporación de tecnologías solares activas en cubiertas de edificaciones existentes, varias investigaciones establecen que no existe una afección mayor a los elementos de la techumbre, ya que el peso de los paneles no llega a ser una carga elevada para la cubierta (Arroba & Mencías, 2009; Ecotality, 2019), considerando que desde la fase de diseño estas deben estar proyectadas para soportar una sobrecarga mínima. Éstas se encuentran definidas en los reglamentos de construcción de cada país.

En este contexto a nivel nacional se encuentra vigente la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC - SE - CG Cargas (No Sísmicas), 2015, en la cual rige un valor de $0,70 \text{ kN/m}^2$ como sobrecarga mínima uniformemente distribuida para cubiertas planas, inclinadas y curvas. Asimismo, la NEC - 2015 establece que debe considerarse un valor por cargas vivas para trabajos de mantenimiento en las superficies de techumbres.

Además, el continuo avance tecnológico ha venido desarrollando placas solares y estructuras más livianas para aminorar cargas en medida de lo posible. Es así que, los PVs reflejan una sobrecarga mínima, la cual no afectaría de forma negativa a los elementos existentes (Arroba & Mencías, 2009). Por lo tanto, la clave en la instalación de PVs se encuentra en la correcta distribución del peso, a fin de lograr que la carga se encuentre uniformemente distribuida (Ecotality, 2019).

Con base a esto, se realizó una comparación de la incidencia del peso de cada tecnología con respecto a la sobrecarga mínima ya establecida en la NEC-2015, dando los siguientes resultados:

- En cuanto a los paneles de sílice monocristalinos los cuales tienen un peso de 18 kg/cu , se encontró que, por la instalación de estos se genera un sobrepeso de apenas $0,18 \text{ kN/m}^2$ (incluyendo la respectiva estructura), representado el 26% de la carga mínima establecida en la normativa. Cabe mencionar que este caso es considerado el más crítico, ya que al ser una tecnología BAPV no existe un reemplazo de materiales, por el contrario, los

elementos son incorporados sin modificar la techumbre.

- Para el caso de los paneles sin contactos metálicos entre células al contar con un peso de $18,7 \text{ kg/cu}$, se estimó que ejercería una carga de $0,18 \text{ kN/m}^2$ sobre la cubierta. De igual manera que el caso anterior la fuerza generada en la techumbre es menor. Es importante tomar en cuenta que al ser esta una alternativa BIPV existe reemplazo de materiales, por lo cual el peso agregado no repercutiría en gran medida.
- En relación a la integración de las tejas PVs no representaría impacto en los elementos de la estructura, puesto que las tejas que componen la techumbre actual se reemplazarían en su totalidad; además, el peso y tamaño de estas son similares.

Finalmente, si se considera realizar una instalación PV, se recomienda verificar el estado de los elementos de la cubierta, para asegurar un correcto funcionamiento durante la vida útil de las tecnologías.

4.2 SIMULACIÓN DE RENDIMIENTOS FOTOVOLTAICOS BIPV Y BAPV

Con base a las propuestas presentadas y ayuda del software SAM se obtuvo el rendimiento estimado de producción eléctrica por metro cuadrado de PV, para el año 2019.

Las simulaciones se realizaron a partir de las 06:00 de la mañana hasta las 18:00 horas, considerando la orientación e inclinación de la tecnología instalada, estableciéndose de similar manera que en la caracterización de consumos y demandas, la producción anual, mensual, diaria y horaria, con la finalidad de realizar una confrontación con el consumo actual determinado y las demandas proyectadas de la edificación. Para ello, se consideró la eficiencia de 15,5% de los paneles de sílice monocristalinos establecida en una investigación previa (Izquierdo & Pacheco, 2017), de 19,9% de los paneles sin contactos metálicos entre células (Sunpower, 2019) y de 12,0% para las tejas PV (Richardson, 2019).

Para lo cual, previamente, con sustento en los análisis de sombras y recorrido solar efectuados en el capítulo anterior, se tomó en cuenta un porcentaje de pérdida por sombras del rendimiento de las tecnologías PV, que acorde a estudios se estima

se encuentra alrededor del 50% (Acosta & Arenas, 2015), pero varía en mayor o menor grado según el tipo de sombra arrojada sobre el panel. Por consiguiente en la presente investigación, a fin de representar la situación menos favorable o más crítica a suceder, se optó por considerar para el cálculo de la producción un factor de rendimiento bajo sombras de las tecnologías PV de 25%. En consecuencia, en la Tabla 3.02 se registraron los faldones sombreados en dos horas de la mañana (7:00 a 9:00) y dos de la tarde (16:00 a 18:00). Cabe recalcar que en estas horas la captación de energía solar es menor y en gran medida por radiación difusa, por lo que no presentan una producción energética mayor.

4.2.1 PRODUCCIÓN - CONSUMO PROMEDIO MENSUAL POR AÑO DEL EDIFICIO

En este ítem se determinó la generación energética mensual alcanzada por los PVs y se realizó una comparación con los consumos registrados y las demandas proyectadas del edificio. Con base en la Tabla 4.02 se precisó que el mes de mayor producción es noviembre con 5.262,79kWh

MES	CONSUMO (kWh)		DEMANDA MÁXIMA ESPERADA (kWh)	PRODUCCIÓN (kWh)		
	2018	2019		Panel de sílice	Panel sin contactos metálicos	Tejas PV
Enero	5106,22	5395,21	12685,97	6430,58	8254,49	4977,58
Febrero	4482,79	5371,03	12629,12	4831,13	6201,38	3739,53
Marzo	5852,47	5382,25	12655,50	5261,98	6754,44	4073,03
Abril	5469,97	5181,31	12183,02	5462,74	7012,15	4228,43
Mayo	4896,73	5346,55	12571,56	5185,39	6656,13	4013,74
Junio	6798,43	5412,95	12727,69	4455,36	5719,04	3448,67
Julio	5399,59	5272,35	12397,09	4368,10	5607,03	3381,12
Agosto	5124,19	5693,15	13386,53	5714,53	7335,34	4423,32
Septiembre	5205,79	4862,11	11432,47	5484,16	7039,64	4245,01
Octubre	5224,15	6096,83	14335,72	6679,90	8574,53	5170,57
Noviembre	5396,45	5681,55	13359,26	6799,04	8727,46	5262,79
Diciembre	5854,51	7080,33	16648,26	5912,39	7589,32	4576,48
TOTAL	64811,29	66775,62	157012,19	66585,31	85470,96	51540,27

Tabla 4.02: Consumo, demanda y producción energética del edificio, (sin inclusión de EVs)
Fuente: Elaboración autores.

a 8.727,46kWh, y el de menor producción julio con 3.381,12kWh a 4368,10kWh, según la tecnología PV empleada, existiendo una variación del 19,8% del valor promedio mensual identificado de 5.548,78kWh para los paneles de sílice, de 71122,58kWh con los paneles sin contactos metálicos y de 4295,02kWh, correspondiente a las tejas PV. Contrariamente y como se vio en el capítulo anterior los meses de mayor y menor consumo son febrero-junio (2018) y diciembre-septiembre (2019), respectivamente.

Así la producción energética obtenida por cada tecnología PV, se confronta con los meses más críticos obtenidos de (Imagen 4.39 - Imagen 4.40):

- El consumo de 2018 y 2019 del edificio
- La demanda máxima (al estar el edificio ocupado al 100% de su capacidad de diseño)
- La demanda actual considerando la inclusión de EVs.
- Y finalmente la demanda máxima incorporando los EVs.

Como se ve en la Imagen 4.39 las curvas de producción presentan la misma tendencia, mante-

niéndose sobrepuestas sobre las de consumo. Sin embargo, se evidencia que la energía aportada por los paneles sin contacto metálico entre células es mayor al consumo del edificio, contrariamente, la energía generada por las tejas PV, se encuentra por debajo de los valores de consumos registrados, durante todos los meses del año. El consumo de 2019 se muestra casi coincidente con la curva de producción de los paneles de sílice monocristalino, sin embargo, se evidencia una mayor producción en el mes de enero y de septiembre a diciembre. En lo opuesto, se presencia una generación eléctrica inferior al consumo actual en los meses de febrero, junio y julio.

En relación a la demanda actual con la inclusión de EVs para los inquilinos del edificio, se observa que la curva se encuentra entre aquella del consumo actual y la demanda máxima esperada. Por último, la demanda máxima proyectada con la inclusión de EVs es la más elevada, siendo 3,8 veces mayor al consumo registrado en el edificio en el año 2019 (Imagen 4.40).

De esta manera se realiza una comparación con los meses más críticos del 2018 y 2019 al

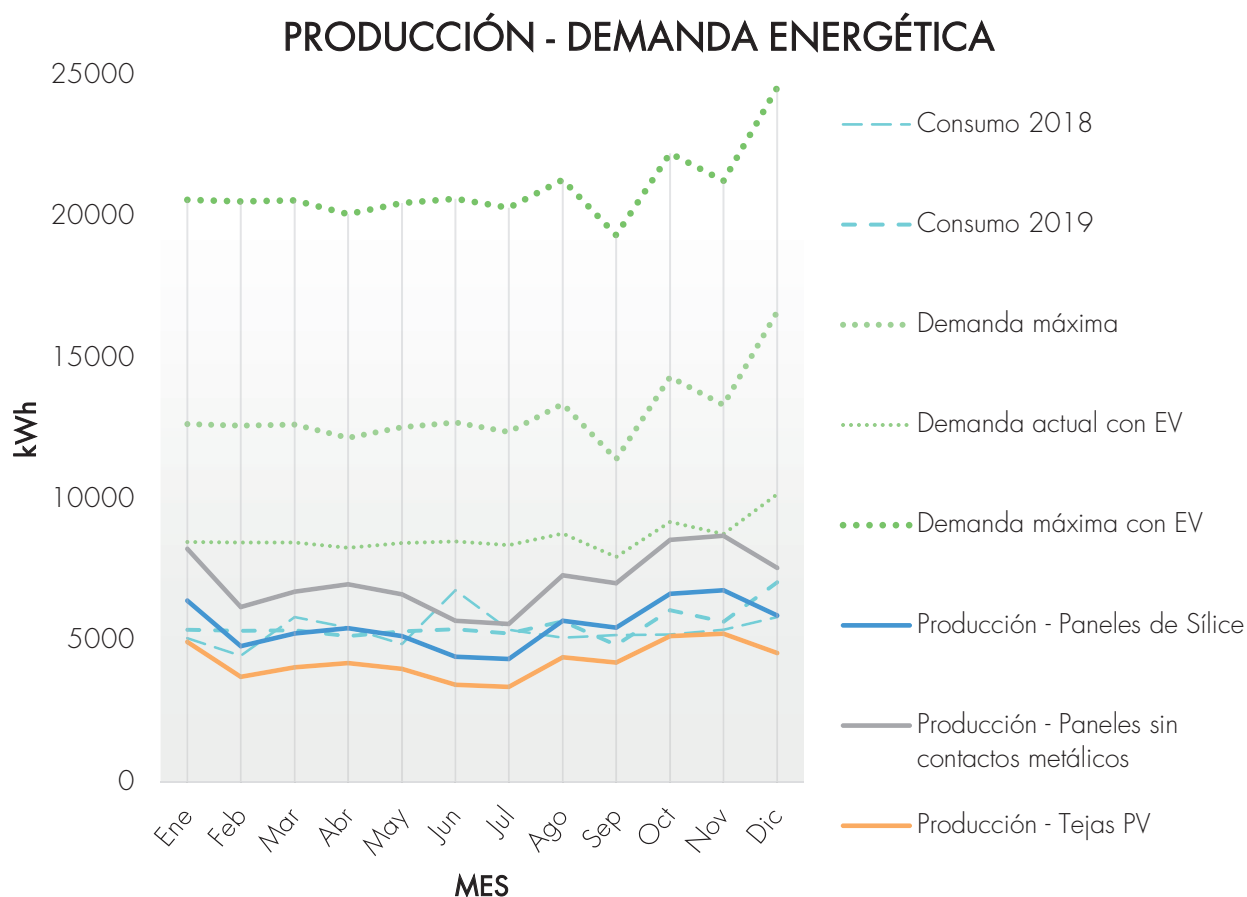


Imagen 4.39: Consumo y producción energética del edificio
Fuente: Elaboración autores.

PRODUCCIÓN - DEMANDA (kWh)

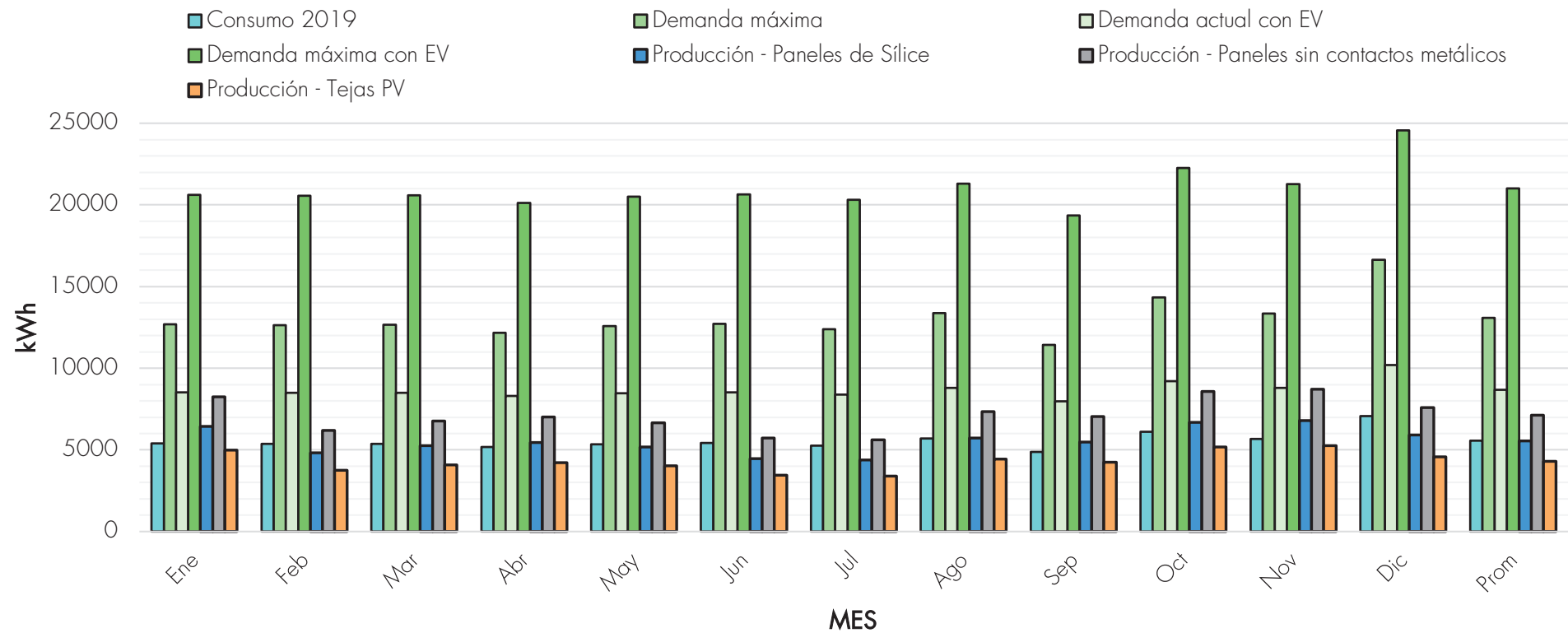


Imagen 4.40: Comparación Demanda - Producción
Fuente: Elaboración autores.

ser considerados los casos más extremos a presentarse. A partir de ello, en la Tabla 4.03 se exponen los porcentajes de autoabastecimiento con respecto a la producción energética de cada tecnología PV. Es así que, se logra un autoabastecimiento entre el 20,44% y 131,88%.

4.2.2 PRODUCCIÓN ANUAL Y MENSUAL POR FALDÓN

La producción anual por faldón se ilustra en la Imagen 4.41. En esta se puede observar que los faldones 1 a 4 son los que brindan un aporte energético significativo, lo cual es una consecuencia de la superficie disponible para el despliegue de PVs, y la orientación de los mismos.

Los paneles de sílice monocristalino alcanzan hasta los 17120,38kWh, en el faldón 1 (al ser el de mayor área), y un mínimo de 321,58kWh en el faldón 8. Esta tendencia se repite con las otras dos tecnologías, sin embargo, los paneles sin contactos metálicos entre células producen 1,28 veces más energía que los paneles tradicionales, alcanzando su pico con 21976,24kWh. En tanto que,

PORCENTAJES DE AUTOABASTECIMIENTO (%)				
	Período	Paneles de Sílice	Paneles sin contactos metálicos	Tejas PV
Consumo 2018	Febrero	107,77	138,34	83,42
	Junio	65,54	84,12	50,73
	Anual	102,74	131,88	79,52
Consumo 2019	Septiembre	112,79	144,79	87,31
	Diciembre	83,50	107,19	64,64
	Anual	99,72	128,00	77,18
Demanda máxima	Septiembre	47,97	61,58	37,13
	Diciembre	35,51	45,59	27,49
	Anual	42,41	54,44	32,83
Demanda actual con Evs	Septiembre	68,76	88,26	53,22
	Diciembre	58,00	74,45	44,89
	Anual	63,94	82,07	49,49
Demanda máxima con Evs	Septiembre	28,33	36,36	21,93
	Diciembre	24,06	30,88	18,62
	Anual	26,41	33,90	20,44

Tabla 4.03: Consumo, demanda y producción energética del edificio, (sin inclusión de EVs)
Fuente: Elaboración autores.

PRODUCCIÓN ANUAL POR FALDÓN

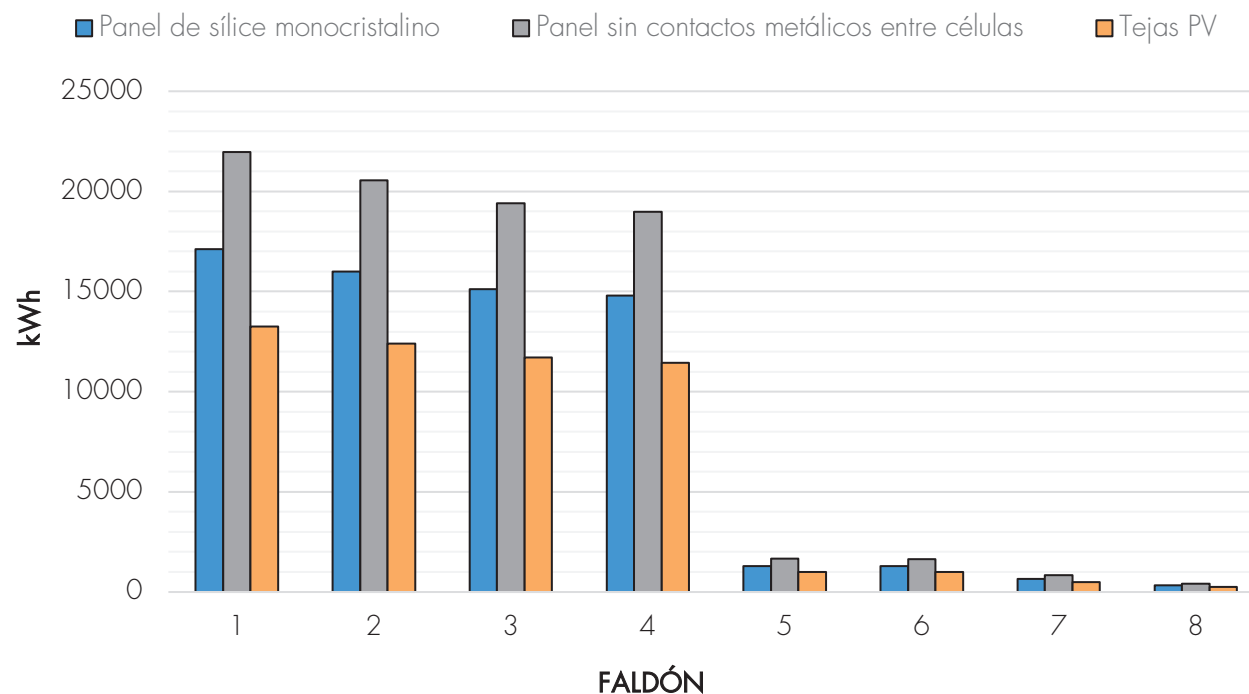


Imagen 4.41: Producción PV anual del edificio por faldón, según tecnología PV
Fuente: Elaboración autores.

las tejas PV, presentan una producción energética 0,22 veces menor, siendo su mayor aporte el correspondiente al faldón 1 con 13252,01kWh, y el menor apenas de 248,92kWh.

Es así que, se evidencia que los paneles sin contactos metálicos entre células, son los que aportan con mayor producción energética, lo cual se encuentra directamente relacionado con la eficiencia del panel.

Además, en la Imagen 4.42 se ilustra la producción mensual por faldón generada por los paneles de sílice monocristalino. En esta se puede observar que los faldones 7 y 8, son los que aportan con la menor cantidad de producción energética, brindando 648,16kWh y 321,58kWh al año, respectivamente. A estos le siguen los faldones 5 y 6, con 1293,08kWh y 1286,16kWh anual, que de igual manera representa una producción energética notablemente inferior a la de los faldones restantes. Los faldones 2 (16005,96kWh/año), 3 (15112,57kWh/año) y 4 (14797,43kWh/año), con similar cantidad de PVs, presentan una producción semejante entre ellos. Por últi-

mo, el faldón 1 al ser el de mayor superficie y con mayor cantidad de PVs desplegados, es el que genera el aporte energético más alto al edificio, alcanzando a producir hasta 11,6kW en una hora y 17120,38kWh al año. Finalmente, se puede apreciar que los meses de mayor producción son noviembre y octubre, contrariamente a lo que sucede en los meses de junio y julio.

4.2.3 PRODUCCIÓN - DEMANDA PROMEDIO DIARIA Y HORARIA

Para este análisis y el correspondiente a días característicos y extremos, se profundizó el estudio en los paneles de sílice monocristalino, ya que, las otras dos tecnologías presentan una relación proporcional con ésta, siendo 1,28 veces mayor en el caso de los paneles sin contactos metálicos entre células y 0,22 veces menor para las tejas, tal como se mencionó con antelación.

Con base a los consumos registrados por los medidores cuarto horarios instalados en la edificación, se determinó una producción diaria promedio de 182,35kWh. En las primeras horas del día y en

PRODUCCIÓN MENSUAL POR FALDÓN

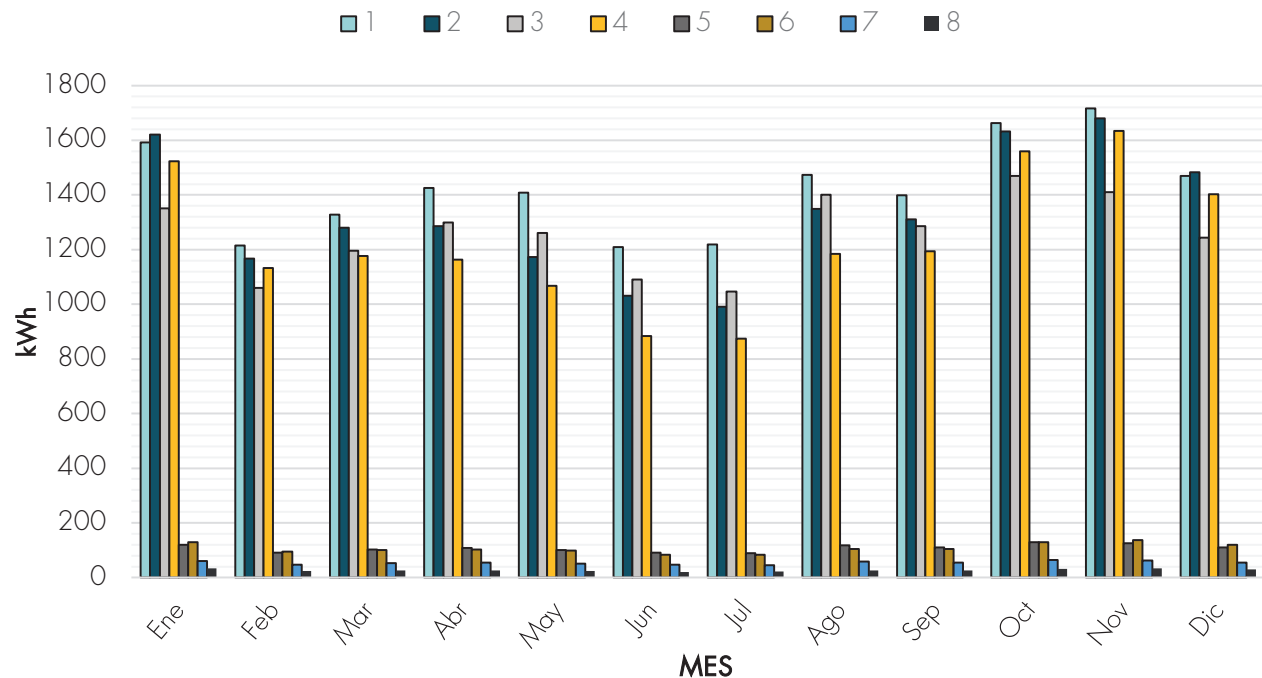


Imagen 4.42: Producción anual de paneles de sílice monocristalino por faldón
Fuente: Elaboración autores.

consecuencia de la poca irradiación presente en la techumbre, se alcanzan niveles de producción promedio de 1,2kWh y 4,4kWh, llegando al pico al medio día con 35kWh y descendiendo hasta 0,06kWh al final. En confrontación con la demanda diaria determinada en el capítulo anterior, se observa que para el caso de los días laborables existe una sobreproducción promedio de 49,56kWh diarios, es decir 37,6% más de lo requerido y en el fin de semana se evidencia un excedente promedio de 103,04%, es decir, se produce prácticamente el doble de lo necesario en estos días.

De igual manera al comparar las horas de mayor consumo durante el día (09:00 a 11:00) que presentan valores de 7,62kWh y 7,06kWh con las respectivas horas de generación, se observa una sobreproducción de cerca del triple de lo requerido, al encontrarse un valor promedio de 21,97kWh, con ello las demandas elevadas se hallan en relación con aquellas horas de producción más elevada.

En la Imagen 4.43 se muestra la producción horaria total del edificio acorde a la tecnología PV

empleada durante un año, pudiendo apreciarse el rendimiento y aporte energético de cada una.

En el caso de las tejas PV, se observa que a lo largo del 2019 la producción eléctrica alcanzaría frecuentemente valores cercanos a los 20kwh - 25kWh en horas próximas al medio día (10:00am a 13:00pm). De igual manera se muestra que los paneles de sílice monocristalino de 60 celdas aportarían con una producción entre los 30kWh - 35kWh. En tanto que los paneles sin contactos metálicos entre células, son los que logran una mayor producción energética con aproximadamente 40kWh, bajo las mismas condiciones que las dos anteriores. Estas llegan a su pico en el mes de septiembre produciendo hasta 31,10kWh, 40,18kWh y 51,58kWh, respectivamente.

4.2.4 PRODUCCIÓN - DEMANDA EN DÍAS CARACTERÍSTICOS Y EXTREMOS

A partir de los datos de producción obtenidos de la simulación en el software SAM para los paneles de sílice monocristalino, se analizó el escenario

PRODUCCIÓN HORARIA

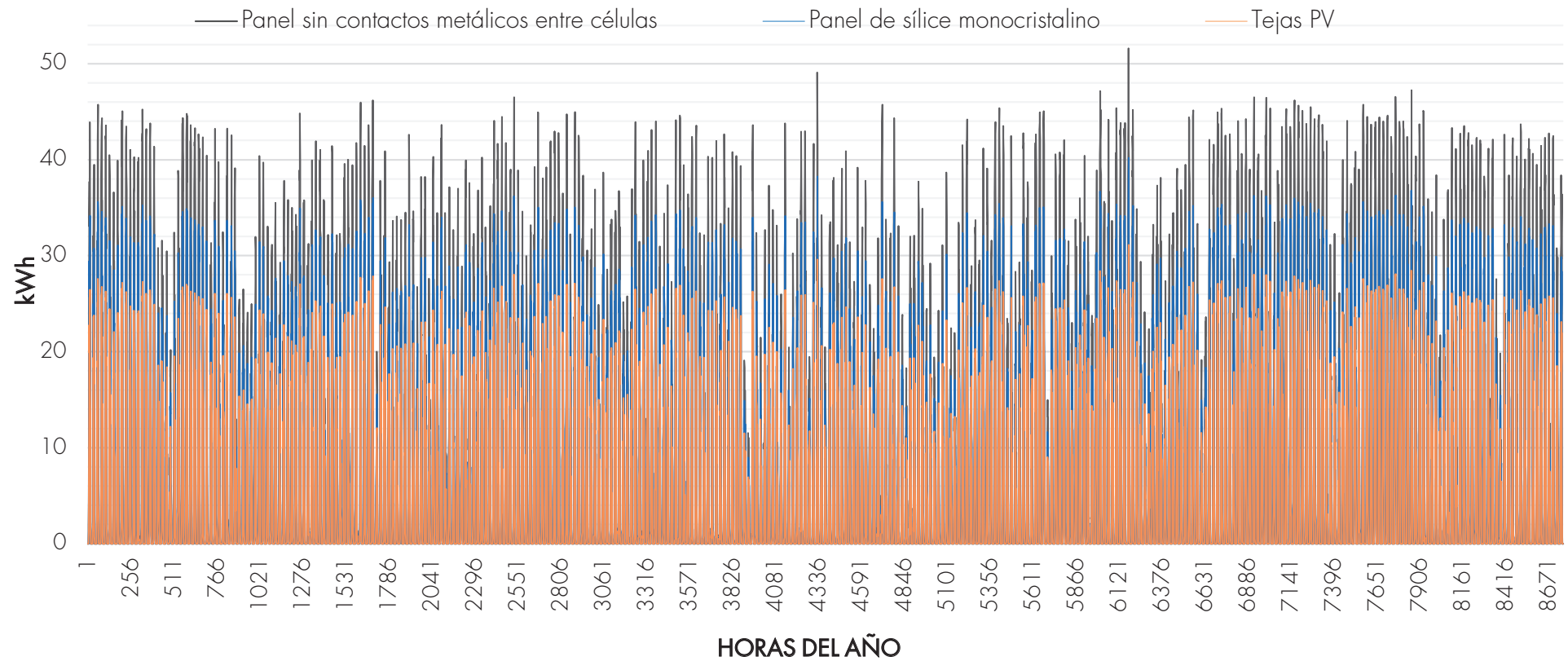


Imagen 4.43: Producción horaria anual del edificio, según tecnología PV

Fuente: Elaboración autores.



para el caso de días extremos y promedio identificados, como los días de máxima y mínima irradiación, correspondientes al 26 de octubre y 13 de junio, respectivamente, los días promedio del mes de máxima y mínima irradiación, noviembre y julio; el día promedio de producción en confrontación con los días de demanda mínima, máxima y promedio, tanto la actual como la máxima estimada. Vale recalcar que estos serían los escenarios extremos a presentarse durante el año.

En la Imagen 4.44 se presentan los resultados obtenidos, en ella se muestra la elevada producción al medio día, llegando a cubrir inclusive la demanda promedio máxima esperada. Es importante precisar que no se realiza el análisis horario considerando la carga de los autos eléctricos. De similar manera, los porcentajes de autoabastecimiento con relación a los días de demandas máxima, promedio y mínima se exponen en la Tabla 4.04, indicando que para ambos casos (consumo actual y demanda máxima sin inclusión de EVs), la relación más favorable es aquella entre la demanda mínima y producción máxima, con valores de 211,8% y 87,2%, respectivamente. Contrariamente, en las peores condiciones; al considerar

la demanda máxima y producción mínima se tiene un autoabastecimiento del 26,8% y 11,0%.

Todos los datos expuestos con antelación, presentan un análisis más profundo para el caso de los paneles de sílice monocristalino de 60 celdas, dado a que su eficiencia fue probada en un estudio previo. En este sentido, para las otras dos tecnologías se utilizaron rendimientos teóricos, anteriormente expuestos. Es importante mencionar que para los tres casos se simuló el despliegue PV con el fin de conseguir el máximo porcentaje de autoabastecimiento posible.

En la Tabla 4.05, se muestran un resumen de las principales características abordadas con cada tecnología como: la producción, la potencia nominal y pico, el porcentaje de abastecimiento, costo, entre otras.

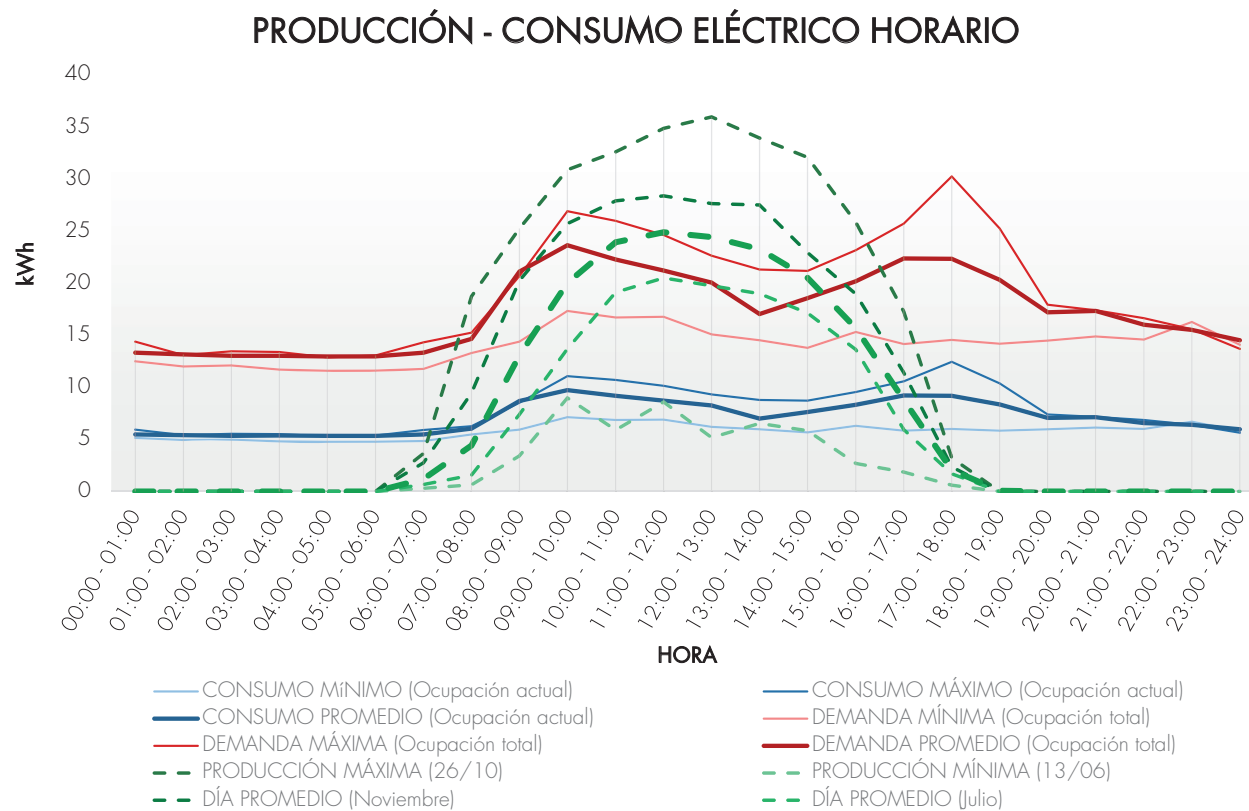


Imagen 4.44: Producción vs consumo eléctrico horario en días extremos identificados (general)
Fuente: Elaboración autores.

PORCENTAJE DE AUTOABASTECIMIENTO EN DÍAS EXTREMOS	
CONSUMO ACTUAL 2019 (%)	
Consumo máx. / Producción máx.	155,84
Consumo máx. / Producción prom.	96,52
Consumo máx. / Producción mín.	26,76
Consumo prom. / Producción máx.	171,80
Consumo prom. / Producción prom.	106,40
Consumo prom. / Producción mín.	29,49
Consumo mín. / Producción máx.	211,79
Consumo mín. / Producción prom.	131,17
Consumo mín. / Producción mín.	36,36
DEMANDA MÁXIMA PROYECTADA (%)	
Demanda máx. / Producción máx.	64,14
Demanda máx. / Producción prom.	39,72
Demanda máx. / Producción mín.	11,01
Demanda prom. / Producción máx.	70,71
Demanda prom. / Producción prom.	43,79
Demanda prom. / Producción mín.	12,14
Consumo mín. / Producción máx.	87,17
Consumo mín. / Producción prom.	53,99
Consumo mín. / Producción mín.	14,96

Tabla 4.04: Porcentaje de autoabastecimiento en días críticos
Fuente: Elaboración autores.



Tecnología	Panel de sílice monocristalino 60 celdas	Panel sin contactos metálicos entre células	Tejas PV
Producción (kWh/año)	66585,31	85470,96	51540,27
Producción (kWh/m ² /año)	196,77	243,63	135,73
Cantidad (m ²)	338,4	350,82	379,72
Potencia nominal (W)	270	335	7,55
Potencia pico (kWp)	56,16	69,68	1,3
Abastecimiento (d. actual)	99,72%	128,00%	77,18%
Abastecimiento (d. máx)	42,41%	54,44%	32,83%
Costo aproximado	\$107.863,86	\$80.294,61	\$118.570,59
Consumo actual (kWh/año)	66775,62		
Demanda máxima (kWh/año)	157012,19		

Tabla 4.05: Resumen de características por tecnología PV
Fuente: Elaboración autores.

4.3 IMPLICACIONES ARQUITECTÓNICAS

La incorporación de tecnologías PVs se da en dos instancias: cuando el edificio se encuentra ya construido o en fase de diseño (Reijenga & Kaan, 2011). Para el primer escenario, que es el caso del Pinar del Lago I, se asumió todas las limitaciones existentes como edificios y vegetación aledaña, la geometría de techumbre y disponibilidad de superficies, materiales, etc.

Considerando esto y lo expuesto anteriormente, las tecnologías son simplemente colocadas e integradas arquitectónicamente, este último se da cuando la tecnología cumple con dos funciones, tanto energética como arquitectónica (forma parte de la envolvente de la edificación o sustituye elementos de la misma). La complejidad de las propuestas constructivas están en relación a su grado de integración (Innovación & Cualificación, 2017).

En este apartado, se analizarán las implicaciones arquitectónicas de la incorporación de las tecnologías BAPV y BIPV en edificaciones multifamiliares, a partir de las visuales obtenidas a vista del observador y desde perspectivas aéreas, para finalmente establecer el nivel de inclusión de cada tecnología analizada.

En un primer análisis realizado a la altura de la vista del observador se determinó que la incorporación de los sistemas BAPV y BIPV resulta en gran parte imperceptible para los transeúntes que circulan a nivel de la calle, en poco más de la mitad de los posibles ángulos con vista al edificio (Imagen 4.45). Esto se debe al número de pisos que tiene el Pinar del Lago I, y a que en su contexto inmediato cuenta con varias edificaciones de gran altura. Es por ello que, con la finalidad de considerar los casos más críticos de impacto visual generados por la incorporación de las tecnologías PV en la cubierta, se ha fotografiado a la edificación, desde los puntos menos favorables, es decir, aquellos en donde se visualiza parte de la cubierta. Estos se encuentran expuestos en la Imagen 4.45. Cabe recalcar que, principalmente son lugares algo distantes de la edificación, debido a que por su altura se puede apreciar la techumbre solo desde lugares alejados.

- Así, se tiene que desde la Av. Ordóñez Lasso no existe un impacto visual mayor puesto que se encuentra rodeado de edificaciones mucho más altas, existiendo únicamente un punto (P1) (Imagen 4,45) en la calle De las Higuierillas (al

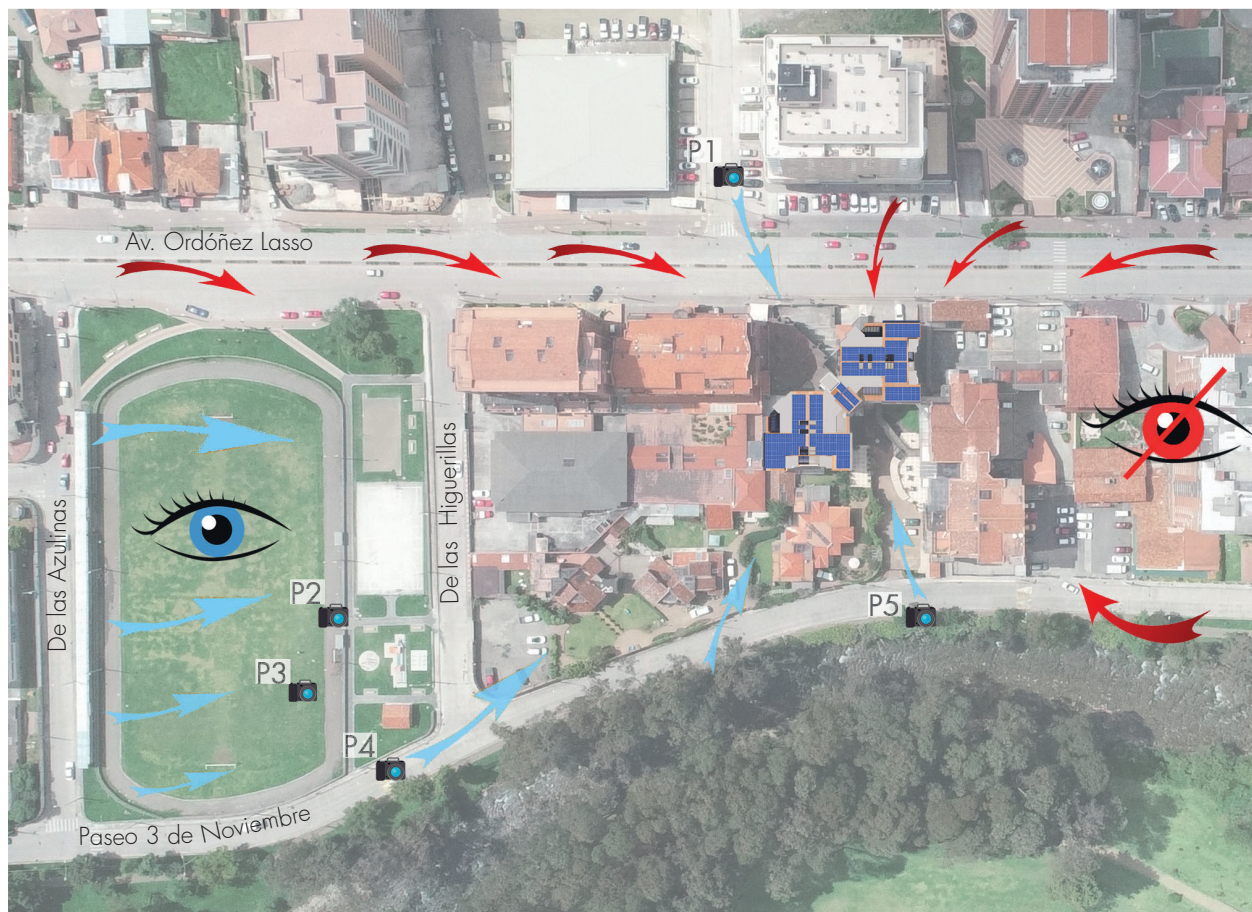


Imagen 4.45: Impacto visual a la altura del observador

Fuente: Autores.

frente de la edificación) desde el cual se puede visualizar la parte delantera de la cubierta (Ver Imagen 4.46).

- De similar manera sucede en la calle Paseo 3 de Noviembre, en la cual desde la calle De las Azulinas hasta el punto P5 se presenta visible la parte sureste de la cubierta (Imagen 49, 50, 51 y 52), en tanto que, desde del punto P5 hacia el oeste, esta nuevamente pierde visibilidad.
- En cambio, desde la Calle de las Higuierillas no se logra apreciar la cubierta, debido a la cercanía y el cerramiento existente, sin embargo, desde el parque Virgen del Milagro y la calle de la Azulinas, se puede apreciar la afección visual generada por la incorporación de las distintas tecnologías (Imagen 4.47 - Imagen 4.48).

En las imágenes se puede apreciar que el entorno en el cual se emplaza la edificación, presenta elementos que se encuentran causando un mayor impacto visual que las tecnologías PV, como por ejemplo: antenas de recepción satelital, cables de



Imagen 4.46: Edificio Pinar del Lago con paneles sin contactos metálicos en la cubierta. Fotografía tomada desde la calle De las Higuerrillas (P1)

Fuente: Autores.



Imagen 4.47: Integración de paneles sin contactos metálicos en la cubierta. Fotografía tomada desde el parque Virgen del Milagro (P2)

Fuente: Autores.



Imagen 4.48: Integración de paneles de sílice monocristalino en la cubierta del edificio. Fotografía tomada desde el parque Virgen del Milagro (P3)

Fuente: Autores.



Imagen 4.49: Apreciación de paneles sin contactos metálicos entre células. Fotografía tomada desde la calle Paseo 3 de Noviembre (P4)
Fuente: Autores.



Imagen 4.50: Integración de paneles de sílice monocristalino en la cubierta. Fotografía tomada desde la calle Paseo 3 de Noviembre (P4)
Fuente: Autores.



Imagen 4.51: Fotomontaje de tejas PV en la cubierta del edificio. Fotografía tomada desde la calle Paseo 3 de Noviembre (P4)
Fuente: Autores.

red eléctrica, postes y pararrayos, que pueden ser fácilmente visibilizados en la Imagen 4.46.

Por otro lado, para aquellas personas que habitan en los edificios aledaños y desde perspectivas áreas el impacto visual es evidente, en mayor o menor grado dependiendo de la tecnología empleada. Desde este escenario, de igual manera que en el caso anterior el entorno que rodea al edificio predomina ante la instalación de las tecnologías de captación solar, tomando en cuenta la cromática de edificios que se encuentran junto al edificio Pinar del lago con ventanales oscuros y los elementos mencionados con antelación. En otras palabras, se puede comentar que los sistemas de captación solar activa no generan mayor impacto visual en el entorno actual.

Al instalar una cubierta tecnológica se toman en cuenta aspectos desde el punto de vista del rendimiento energético, la integración arquitectónica y el financiamiento y amortización de la misma. Del mismo modo se debe considerar el impacto que causará en el entorno y viceversa (Lu, Lin & Sun, 2018). Por ello se realizó un análisis de la afectación visual generada por los PVs desde la pers-



Imagen 4.52: Apreciación de tejas PV en la cubierta del edificio. Fotografía tomada desde la calle Paseo 3 de Noviembre (P5)
Fuente: Autores.



Imagen 4.53: Fotomontaje de perspectiva área suroeste de paneles de sílice monocristalino
Fuente: Autores.

pectiva arquitectónica y urbanística en base a los criterios de integración de energía solar activa en arquitectura de los autores Quesada & Zalamea, (2017) en referencia a las conceptualizaciones teóricas básicas publicadas por Kaan y Reijenga (2004).

Los paneles de sílice monocristalino de 60 celdas, una alternativa BAPV, han sido categorizados como una tecnología con un Nivel 1 – (Formal) de inclusión, considerando se encuentran únicamente superpuestos en la cubierta, de forma paralela y coplanar con cada faldón, sin pasar a formar parte de la cubierta como un material de revestimiento (Imagen 4.53). Estos, con la estructura de las placas PV fijada al envigado del edificio, se encuentran ligeramente elevados sobre la teja, lo que en conjunto con su color azul característico, los vuelve más notorios (Imagen 4.54 - Imagen 4.55).

En tanto que los paneles sin contactos metálicos entre células, al ser ya una alternativa BIPV, son considerados como Nivel 2 – (Funcional), dado a que además de encontrarse colocados de forma paralela y coplanar con la techumbre, funcionan como envoltorio de la misma. En el tema formal se

presentan como una propuesta distinta y atractiva a la vista, pues la uniformidad generada por el color negro, dan un toque de elegancia y armonía a la edificación pero también contraste con el medio (Imagen 4.56 - Imagen 4.57). Los paneles se adaptan a cualquier tejado de forma discreta para lograr el autoabastecimiento energético con la menor afección al aspecto de la edificación (Imagen 4.58), lográndose a partir del uso de anclajes imperceptibles en las estructuras y mediante la integración de los faldones frontales.

Por último, para la tercera propuesta que incorpora tejas PV, al ser un sistema BIPV que aporta principalmente a la expresividad general de la edificación, ha sido clasificada como un Nivel 3 – (Expresión). Esta tecnología está completamente integrada, ya que se tiene toda la superficie de techumbre disponible para la incorporación de las tejas, que por sus dimensiones generan visualmente un aspecto homogéneo en armonía con el resto de cubiertas y mamposterías de ladrillo, al llegar a espacios que con los paneles no era posible alcanzar (Imagen 4.59). Las tejas PV aportan con calidad y estética, dando un acabado elegante y armónico con el contexto, pues como se ve en la



Imagen 4.54: Perspectiva frontal con paneles de silice monocristalino
Fuente: Autores.



Imagen 4.55: Perspectiva noreste con paneles de silice monocristalino
Fuente: Autores.



Imagen 4.56: Perspectiva frontal con paneles sin contactos metálicos entre células
Fuente: Autores.



Imagen 4.57: Perspectiva suroeste con paneles metálicos sin contactos entre células
Fuente: Autores.



Imagen 4.58: Fotomontaje de perspectiva aérea noreste de paneles sin contactos metálicos entre células P-19
Fuente: Autores.

Imagen 4.59 el impacto visual por incorporación de la tecnología es mínimo; puesto que las edificaciones aledañas también presentan teja en la cubierta, adaptándose sin contrastar con el entorno urbano (Imagen 4.60 - Imagen 4.61).

En referencia a los niveles de integración propuestos por los autores, en el edificio no se alcanza el Nivel 4 - (Multiplicidad), debido a que no se cuenta con una tecnología que aporte expresivamente a la arquitectura y a la vez logre maximizar la producción energética. En esta instancia, es necesario reconocer que los productos PVs para integración arquitectónica se encuentran aún en desarrollo, sin contar con la disponibilidad de productos varios con modelos estandarizados.

Además, se considera que el reemplazo de elementos existentes en la envolvente por la tecnología PV permite economizar en materiales de construcción o el doble material correspondiente a los del techo y los PVs, pero sobre todo disminuye el impacto visual generado con relación a las otras maneras empleadas (Innovación & Cualificación, 2017).



Imagen 4.59: Fotomontaje de perspectiva frontal con tejas PV

Fuente: Autores.



Imagen 4.60: Perspectiva frontal con tejas PV
Fuente: Autores.



Imagen 4.61: Perspectiva suroeste con tejas PV
Fuente: Autores.

Cabe señalar que según un estudio realizado acerca del impacto de las aplicaciones PVs sobre paisajes urbanos, la afección de las instalaciones PVs distribuidas en tejados de edificios urbanos residenciales e industriales, es menor y favorable que aquellos instalados en el suelo o en las estructuras del paisaje (Lu, Lin & Sun, 2018).

De esta manera se considera que no es posible definir de manera absoluta cuál es la tecnología PV más adecuada, ni reglas con respecto a características técnicas, morfológicas y de adaptabilidad para la instalación de sistemas de captación solar activa. Sin embargo, de las 3 propuestas presentadas, en temas de integración arquitectónica y urbanística, se destacan las tejas PV; al ser una alternativa BIPV en la que se da la sustitución de elementos logrando el mejor nivel de integración. Además, por la estética y gran parecido a las tejas convencionales el impacto sobre el paisaje urbano es menor.

Finalmente, se puede comentar que únicamente con la incorporación de los productos de recolección solar desde etapas tempranas de diseño es factible lograr una integración coherente en las

edificaciones que considere tanto características formales y estéticas en concordancia con las demandas energéticas.

4.4 ANÁLISIS FINANCIERO

Es evidente que al plantearse una instalación de tecnologías de captación solar activa se lo tomaría como un producto financiero, de lo que se puede afirmar que con precios actuales, se tiene una inversión con una Tasa Interna de Retorno (TIR) y un Valor Actual Neto (VAN) favorables. Es decir, es una inversión, a un precio razonablemente asequible que se amortiza en poco tiempo. Aunque el coste de las tecnologías de captación solar suponga un gasto importante en una primera instancia, a partir de su instalación comienza a generar un ahorro de energía.

Es así que, se vio la necesidad de conocer en qué tiempo el propietario de una edificación multifamiliar de mediana altura podría amortizar la inversión con el ahorro energético producido por la utilización de las tecnologías analizadas; por esta razón, se realizó un estudio en el que se estima la viabilidad y el tiempo de amortización de cada uno de los sistemas propuestos.

Para el análisis de factibilidad financiera, se consideró el costo medio de energía facturada por el grupo de consumo residencial, el cual es subsidiado por el gobierno y según la Estadística Anual y

Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano (2018) es de \$0,10 USD el kWh; por el contrario, es necesario considerar también el precio real de la electricidad sin subsidio, el mismo que se estima se encuentra alrededor de \$0,16 USD, según información de CELEC (2014). Otro dato importante es la tasa de interés pasiva bancaria, que en la actualidad según el Banco Central del Ecuador (2020), está en 8,68% que a referencia de años anteriores se ha sufrido un incremento en el país.

En base a estos criterios se desarrolló tres escenarios en los cuales se comparará cada tecnología correspondiente a su costo de inversión, y costo de producción eléctrica. De esta manera, los resultados son los siguientes:

- En el primer escenario se decidió realizar el análisis para aprobar o no la viabilidad de la aplicación de PVs, considerando subsidios de electricidad con el sistema de Paneles de sílice monocristalinos. Se asumieron los costos y condiciones actuales, es decir, con precios ofertados a nivel local; la instalación de 208 placas de sílice de sesenta celdas (338,40m² de PVs), incluyendo sus respectivos equipos y



materiales. Además, se consideró el mantenimiento de las instalaciones durante 25 años; cabe mencionar que en este análisis no se tomó en cuenta el recambio de inversores ya que se puede estimar un tiempo de vida aproximadamente de 180000 horas o 20 años (Chan, Torres, Sanchez, Toral & Acosta, 2014), tiempo similar al del sistema PV. Todo ello alcanzó un valor aproximado de \$107863,68 USD, detallado en la (Tabla 4.06). Seguidamente, se calculó el ahorro anual para la edificación, determinando que se dejaría de pagar a la central eléctrica alrededor de \$43085,40 USD al año. Con el precio medio de la energía facturada en el grupo de consumo residencial mencionado anteriormente; el VAN resultante es positivo \$69494,46 USD, con una TIR de -2,67 %. Al obtener que el VAN es mayor a cero y la TIR es menor a la tasa de interés pasiva bancaria se pudo comprobar que el proyecto es rentable. En este caso la inversión estaría cubierta en 16 años, dejando 9 años de producción eléctrica como ganancia (Imagen 4.62).

De acuerdo a los resultados obtenidos, tam-

bién se procedió a realizar una evaluación del proyecto de paneles de sílice monocristalinos sin considerar subsidios de electricidad, es decir, con un costo de \$0,16 USD el kWh; con lo que se obtuvo un VAN de \$120327,82 USD y una TIR de 2,11%, hecho que corrobora de igual manera que el proyecto es viable. Para esta evaluación el panorama cambia, puesto que la inversión se recuperaría en 10 años, dejando 15 años de beneficios (Imagen 4.63).

- En el segundo escenario se analizó la factibilidad de inversión considerando los subsidios eléctricos con los paneles PV (P19) sin contactos metálicos entre células. Se tomó como referencia precios reales ofertados a nivel internacional para la instalación de 208 placas (350,82 m² de PVs) (Tabla 4.06). Se sumó el mantenimiento de las instalaciones durante 25 años, dando un costo de aproximadamente \$80294,61 USD (Tabla 4.06). Se calculó que el ahorro anual para la edificación, evitaría el pago a la comercializadora eléctrica de \$167529,00 USD al año. Con el precio medio de la energía facturada en



ÍTEM	Panel de sílice monocristalino	Panel sin contactos metálicos	Tejas PV
Dimensiones (mm)	1640x992x40	1690x998x46	184x365
Cantidad	208	208	379,72
Unidad	u	u	m2
Tecnología PV x unidad (\$)	240,00	162,04	184,78
Cantidad (u)	4	4	4
Total Tecnología PV (\$)	49920,00	33704,32	70165,65
Inversores x unidad(\$)	3380,84	3380,84	3380,84
Total Inversores (\$)	13523,36	13523,36	13523,36
Subtotal (panel+inversor) (\$)	63443,36	47227,68	83689,01
A. Equipos y materiales	83745,24	62340,54	92057,91
B. Instalacion (15%)	12561,79	9351,08	13808,69
C. Subtotal costos directos (A+B)	96307,02	71691,62	105866,60
D. Costo indirecto (12%)	11556,84	8602,99	12703,99
E. TOTAL INVERSIÓN SIN IVA (\$)	107863,86	80294,61	118570,59

Tabla 4.06: Costos de inversión tecnologías BIPV - BAPV
Fuente: Elaboración autores.

PERÍODO DE AMORTIZACIÓN (Con subsidio)

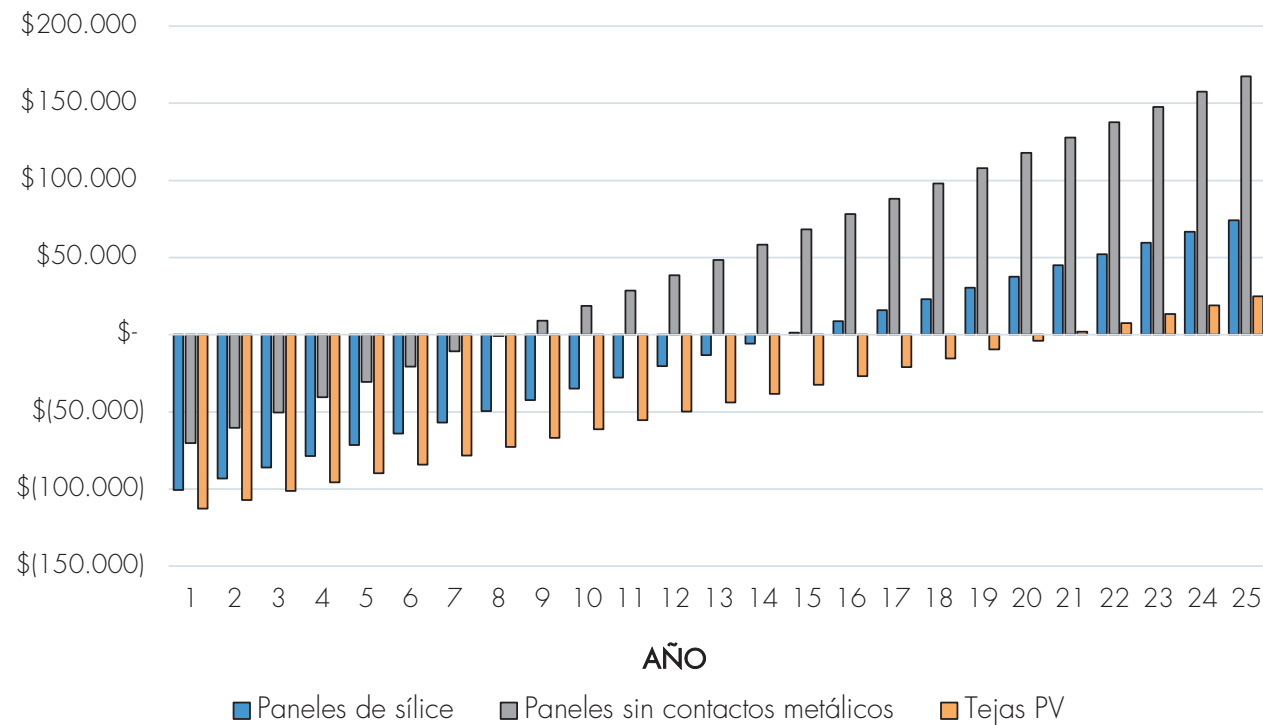


Imagen 4.62: Flujo de caja tecnologías (BAPV - BIPV con subsidio)
Fuente: Elaboración autores.

el grupo de consumo residencial mencionado anteriormente \$0,10 USD; el VAN resultante fue positivo \$106363,06 USD, con una TIR de 3,83%. Con los resultados expuestos se infirió que el proyecto es factible ya que su tiempo de amortización se da en 9 años (Imagen 4.62). En otro ámbito, al no tomar en cuenta los subsidios de electricidad, se tuvo un VAN de \$158501,16 USD y una TIR de 8,51% con lo cual se corrobora que el proyecto sigue siendo rentable; en este caso, el periodo de recuperación de la inversión es apenas de 6 años (Imagen 4.63), lo que evidencia una rentabilidad muy alta.

- En el tercer escenario se evaluó las Tejas PV (379,72m²), de igual manera que en el caso anterior se consideró precios reales internacionales (Tabla 4.01), lo cual arrojó un coste de \$118570,59 USD. Lo cual dio como resultado que la edificación dejaría de pagar a la empresa eléctrica \$43153,60 USD al año. Con el precio medio de la energía facturada; el VAN resultó ser positivo \$74695,25 USD, con una TIR de -2,85%, con estos resultados se evidenció que la inversión aun continúa sien-

do factible aunque el período de recuperación de la inversión aumentó a 22 años (Imagen 4.62), período bastante alto si lo comparamos con las tecnologías analizadas anteriormente. Por otro lado, al no considerar subsidios de electricidad, para este caso existe un VAN de \$97569,73 USD y una TIR de -0,65%, de lo que se corrobora que el proyecto se mantiene viable. Su recuperación de inversión se reduce a 15 años (Imagen 4.63), dejando 10 años de ganancia por producción eléctrica.

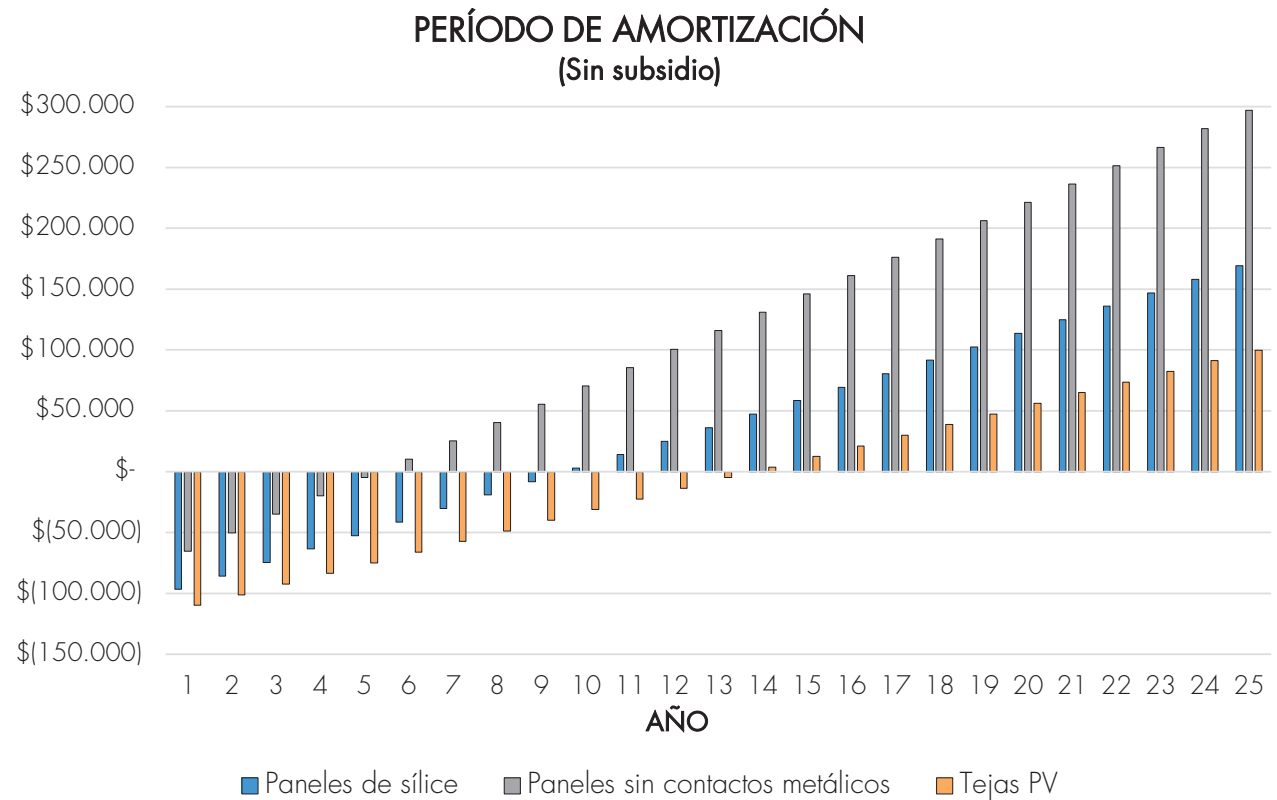


Imagen 4.63: Flujo de caja tecnologías BAPV - BIPV (sin subsidio)
Fuente: Elaboración autores.

4.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

De lo expuesto en el presente capítulo se concluye lo siguiente:

- Tras la recopilación de las características generales del edificio Pinar del Lago I, para el rediseño de la cubierta tecnológica, se buscó respetar en gran porcentaje el diseño actual manteniendo la funcionalidad de los pozos de luz, pero variando las dimensiones. Por ello los cambios realizados son aplicados para las 3 tecnologías PVs incorporadas.
- En la techumbre de la edificación se logró colocar 208 paneles de sílice monocristalino de 60 celdas los cuales cuentan con una potencia nominal de 270W y eficiencia del 15,5%, produciendo alrededor de 66.585,31kWh/año y 196,77kWh/m²/año, con una potencia total pico instalada de 56,16kWp, logrando abastecer en 101,23% y 42,41%, la demanda actual y máxima esperada, respectivamente. El costo de inversión estimado para la aplicación de esta tecnología es de \$107.863,86.
- Por otro lado, para el caso de los paneles sin

contactos metálicos entre células, con 208 unidades de 335W, un rendimiento del 19,9% y una potencia pico total instalada de 69,68 alcanzan una producción de 85.470,96kWh/año y 243,63kWh/m²/año, logrando un autoabastecimiento de 129,94% en el caso de la demanda actual y de 54,44% con respecto a la demanda máxima esperada. El costo de inversión es aproximadamente el doble con referencia a los paneles de sílice, con un total de \$80.294,61 dólares.

- En cuanto a las tejas PV, caracterizadas por contar con 1,3W de potencia nominal y eficiencia del 12%, dentro de una superficie instalada de 379,72m² se logra generar aproximadamente 51.540,27kWh/año y 135,73kWh/m²/año, con una potencia pico instalada del sistema de 7,55kWp, alcanzando porcentajes de autoabastecimiento energético de 78,35% y 32,83%, de la demanda actual y máxima, respectivamente. La inversión por esta tecnología alcanza los \$118.570,59.

- El impacto estructural de las tecnologías estudiadas no representan afección alguna a la techumbre ya que el peso de paneles no llega a representar cargas elevadas para la cubierta, debido a que desde un inicio las cubiertas se proyectan para soportar una sobrecarga mínima según la normativa en la que se base el diseño, tal es el caso que tanto los paneles de sílice y los paneles sin contactos metálicos generan un sobrepeso de alrededor de 0.18 kN/m^2 lo cual representa el 26% de la sobrecarga mínima establecida en la NEC-2015. Con relación a la integración de tejas PVs a la cubierta no representaría impacto extra en los elementos de la estructura, puesto que las tejas que componen la techumbre actual se reemplazarían en su totalidad.
- Para el apartado del análisis financiero, se vio la necesidad de conocer en qué tiempo el propietario de una edificación de mediana altura podría amortizar la inversión con el ahorro energético, de esta manera se analizó las tres tecnologías en escenarios diferentes, al mantener los costos de subsidio actuales la tecnología que mejor periodo de amortización representa es la de Paneles sin contactos metálicos con un tiempo de recuperación de 9 años frente a los 16 años de los paneles de sílice y 22 años de las tejas PV.
- El análisis financiero varía un poco en el caso de que los subsidios desaparecieran y el costo de producción adopte su valor real, en este caso los paneles sin contactos metálicos siguen liderando en menor tiempo de amortización con apenas 6 años de recuperación de inversión lo que evidencia una rentabilidad muy alta en este escenario; en comparación con los paneles de sílice que recupera su inversión en 10 años y las tejas PV en 15 años.
- Con relación al impacto visual generado por la incorporación de las tecnologías, se establece que desde la perspectiva de la calle, los PVs pasan desapercibidos desde la mayoría



de visuales debido a la altura de la edificación, sin embargo, desde las edificaciones alledañas y perspectivas áreas, la afección al entorno se da en mayor o menor grado acorde a la tecnología.

- Se determina que las tecnologías PVs empleadas, se encuentran en los niveles 1 - Formal, 2 - Funcional y 3 - Expresión, que corresponden a los paneles de sílice monocristalino, aquellos sin contactos metálicos entre células y las tejas PV, respectivamente. Esto considerando que todos los productos de recolección solar aplicados guardan una relación de orientación y se hallan coplanares en la cubierta. Sin embargo, no existe todavía un equilibrio entre la armonía visual y la óptima producción de energía renovable en el resultado final en el caso de estudio
- Considerando los datos determinados y con el factor de emisión de $313,3\text{gCO}_2/\text{kWh}$ publicado en por el ex CONELEC (Parra, 2013),

se estima se evitaría en un año por la demanda actual 20.305kg de CO_2 y por la demanda máxima 49.337kg de CO_2 . En cambio en un escenario futuro, y a lo largo de la vida útil de los paneles PV (25 años), se precisa evitar hasta $1'233.414,6\text{kg}$ de CO_2 .

- Finalmente, con base a estos resultados, se reflexiona que actualmente en el país se cuenta solo con la primera tecnología, la misma es factible ayudando a suplir la demanda del edificio, pero resulta primordial se garantice el desarrollo futuro de los sistemas PVs promovidos por el gobierno, considerando la evaluación del paisaje en las etapas iniciales.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONTENIDOS

Conclusiones

Recomendaciones

5.1 CONCLUSIONES

La investigación permitió una revisión de posibilidades de captación solar activa en la arquitectura y su potencial para reducir demandas energéticas presentes en edificaciones multifamiliares. Se analizaron tecnologías BAPV y BPIV existentes en la actualidad, considerando bases teóricas de integración para el uso de sistemas PVs. Según varios investigadores, estas estructuras son propicias para implementar alternativas energéticas viables y de vanguardia que sean menos contaminantes que las tradicionales (Mikkola et al., 2014). Como prueba de ello se determinó que el 71% de los casos de estudio analizados logró un autoabastecimiento superior al 90%, con la aplicación estrategias tanto activas como pasivas, destacando aquellos planificados desde etapas tempranas de diseño.

Los resultados evidenciaron que el edificio se encuentra habitado al 48,6% de su capacidad de ocupación máxima y consume en promedio 65793,50kWh anualmente, valor que tiende a variar conforme la capacidad instalada y el número de habitantes en el inmueble. Es así que, al considerar la ocupación máxima del edificio se estima requeriría 157012,19kWh,

para solventar sus demandas energéticas.

Las simulaciones de producción energética, realizadas acorde a la disposición, orientación y capacidad geométrica, revelan que se lograría generar anualmente 66.525,31kWh, 85470,96kWh y 51540,27kWh, con las placas de sílice monocristalino, paneles sin contactos metálicos entre células y tejas PV, respectivamente. Alcanzando un autoabastecimiento con respecto al consumo actual del edificio de 101,23%, 129,94% y 78,35%, y en referencia a la demanda máxima de 42,41%, 54,44% y 32,83%. Esto permitiría la reducción de emisiones de CO₂ de al menos 49,3t anuales.

La producción alcanzada por la incorporación de los sistemas PV en el Pinar del Lago I, se estima llegaría a generar hasta 1,7 veces más energía que edificaciones situadas en Suiza y Alemania, hecho que puede considerarse como consecuencia de la alta irradiación presente en la zona de estudio.

Así también, se determina que las demandas proyectadas con la inclusión de EVs, podrían ser solventadas en un rango de 20,44% y 82,07%, según la tecnología PV emplea-

da y la ocupación habitacional del edificio.

En cuanto a las consideraciones arquitectónicas se determina que las tecnologías PVs empleadas, se encuentran en los niveles: 1 - Formal, 2 - Funcional y 3 - Expresión, que corresponden a las placas de sílice monocristalino, paneles sin contactos metálicos entre células y las tejas PV, respectivamente. Esto considerando que todos los productos de captación solar aplicados guardan una relación de orientación y se hallan coplanares en la cubierta. Sin embargo, no existe todavía un equilibrio entre la armonía visual y la óptima producción de energía renovable en el resultado final en el caso de estudio.

Ante la posibilidad de inyectar la energía sobrante a la red, es importante mencionar que todo sistema eléctrico, incluido el PV genera pérdidas, en este caso no toda la captación solar llega a ser energía eléctrica, más aun cuando los colectores atraen corriente continua y el uso de artefactos, requiere corriente alterna (110-120V), con ello, en este proceso se presentan las llamadas corrientes parásitas que son perjudiciales en el sistema eléctrico como tal. Bajo este contexto al inyectar co-

rriente sobrante de los paneles solares, por ejemplo en un multifamiliar, también se estaría pasando este tipo de corrientes que afectan a las redes de distribución general (Erreyes, 2019). Actualmente en el país no existe una regulación que establezca claramente como serían esas penalizaciones por tales corrientes parásitas o reactivas (conocidas así comúnmente en el campo eléctrico), solo se ha quedado en identificar las tarifas preferenciales. No obstante, ingresar este tipo de energía al sistema aun es una quimera, porque no se han profundizado los estudios eléctricos para comprender el costo beneficio si la cantidad de energía que llega al sistema es suficiente en contra de las corrientes parásitas que van con ella.

Por último, como resultado de la investigación, se planteó argumentar cual es la mejor propuesta. Para lo cual se vio la necesidad de realizar un análisis comparativo de los productos PVs en tres escenarios, los mismos que se presentan a continuación:

- **Rendimiento energético:** en este escenario se comparó la producción energética alcanzada por cada tecnología, la cual está directamente



relacionada con la eficiencia de las mismas. Como se expuso a lo largo del texto, la eficiencia de los productos PVs empleados es de 15,5%, 19,9% y 12,0%, correspondiente a la placas de sílice monocristalino, paneles sin contactos metálicos entre células y tejas PV, respectivamente, resultando la opción más conveniente bajo este criterio las placas sin contactos metálicos.

- **Integración arquitectónica:** bajo esta perspectiva y acorde los niveles de integración empleados en el análisis del apartado 4.3, se establece que las tejas PVs al encontrarse en el Nivel 3 - Expresión y debido a su capacidad de mimetización, se presentan como la mejor alternativa a este criterio; puesto que, esta tecnología además de poseer características similares a las tejas usadas en el contexto inmediato de la edificación caso de estudio, puede pasar desapercibida en la techumbre del mismo, ya sea que se la aprecie desde la vista del observador o edificaciones aledañas.
- **Económico:** posterior a los análisis de amortización realizados para las tecnologías em-

pleadas en las propuestas, se determina que los paneles sin contactos metálicos entre células, destacan como la opción más viable, debido a que en los dos escenarios (costos eléctricos con y sin subsidio) en que se evaluó el período de amortización, evidenció un corto tiempo (9 y 6 años, respectivamente) para la recuperación de la inversión, demostrando una rentabilidad muy alta.

Bajo estos criterios se considera como el producto más favorable a los paneles sin contactos metálicos entre células debido a su elevado rendimiento y su rentabilidad.

Como se menciona en la investigación de Quesada & Zalamea (2017) *"Todas estas consideraciones no son absolutas ni globalizables, porque los parámetros mencionados varían según las realidades locales, constructivas y funcionales, por lo que cada situación exige estudio y soluciones particulares. Los productos tampoco se desempeñan de igual manera en todos los niveles de radiación y las demandas también son determinantes."*

Lo analizado en uno o varios párrafos anteriores

permite finalmente reflexionar que la integración de sistemas PVs como fuente de energía eléctrica autosuficiente y autónoma en edificios multifamiliares es viable, por las características constructivas y técnicas con las que se está desarrollando la tecnología PV.



5.2 RECOMENDACIONES

Tras culminar el presente trabajo se recomienda que desde el campo académico, técnico investigativo se exhorte a futuras investigaciones, amplíen la temática evidenciando los aportes o desventajas que estos sistemas dan a la red eléctrica, de tal manera que se motive el estudio de nuevas tecnologías solares destinadas a la integración arquitectónica, con capacidad de autogeneración y producción.

En el ámbito del aprendizaje es importante se den a conocer programas que contribuyan a determinar estrategias para el diseño bioclimático, simulaciones de irradiación solar e iluminación natural, análisis energético y de confort en edificaciones, que permitan producir arquitectura con eficiencia energética y respetuosa con el entorno.

En cuanto al campo de la investigación se recomienda desarrollar estudios referentes a la integración arquitectónica y EE en edificios de uso residencial y mixtos, pues en el medio e incluso a nivel Latinoamericano la información es muy limitada.

Dentro de los módulo PVs, y su gran influencia con respecto a la temperatura y la eficiencia de es-

tos se exhorta el replanteamiento de un sistema que combine la producción de energía eléctrica y agua caliente sanitaria para regular la temperatura y mantener a los paneles en un nivel óptimo de funcionamiento e incluso reducir el uso de GLP para el calentamiento de agua de uso doméstico.

Finalmente, en cuanto al tema económico se debería trabajar en las políticas estatales conjuntamente con las empresas públicas para considerar la opción de aporte de energía a la red pública con tarifas diferenciadas que incentiven el uso de energías renovables eliminando subsidios que promueven el uso de fuentes contaminantes.



BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Acosta, T. & Arenas, J. (2015). Estudio de pérdidas en paneles fotovoltaicos por inclinación, orientación y sombras. (Tesis de pregrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- AGENCIA CHILENA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. (2007). Programa de Inversión pública para fomentar el reacondicionamiento térmico del parque construido de viviendas. Santiago de Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2018). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Periodo: enero - diciembre 2018,181817(11). Recuperado de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/2018-01-11-Pliego-y-Cargos-Tarifarios-del-SPEE-20182.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2018). Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica. Resolución Nro. ARCONEL-042/18. Recuperado de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Codificacion-Regulacion-No.-ARCONEL-003-18.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2019). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. Periodo: Enero - Diciembre 2020.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL). (2019). Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2018. Obtenido de: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/08/EstadísticaAnual-Multianual2018.pdf>
- Agencia EFE. (2019). Asamblea aprueba la Ley de Eficiencia Energética. Diario EL TELÉGRAFO. Recuperado de www.eltelegrafo.com.
- ec/noticias/politica/3/asambleaaprobacion-ley-eficienciaenergetica
- Agentschap, NL . (2018). Energie en Klimaat. Recuperado de <https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Leidraad%20Zonnestroomprojecten.pdf>
- Aguacil, S., Lufkin, S. & Rey, E. (2016). Escenarios arquitectónicos de diseño con soluciones fotovoltaicos integrados en edificios en los procesos de renovación: estudio de caso en Neuchâtel (Suiza). En: 36ª Conferencia Internacional sobre la pasiva y Arquitectura de bajo consumo de energía, Los Angeles, EE.UU., 11-13 de julio de el 2016.
- Alconia construction. (2018). Tejas solares fotovoltaicas, el futuro de la energía solar en viviendas. Panamá. Recuperado de <https://alconiaconstruction.com/tejas-solares-fotovoltaicas-el-futuro-de-la-energia-solar-en-viviendas/>
- Aldossary, N. a., Rezgui, Y., & Kwan, A. (2015). An investigation into factors influencing do-

- mestic energy consumption in an energy subsidized developing economy. *Habitat International*, 47, 41–51. <http://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.01.002>
- Allen, S., Hammonda, G., Harajli, H., McManus, M. & Winnett, A. (2010). Integrated appraisal of a Solar Hot Water system, *Energy* 35
- Almeida, M. (2012). "Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados á rede," Master's thesis, Universidade de São Paulo, 2012. [Online]. Recuperado de: <https://goo.gl/MQZ6Pw>
- Alvarez, A., & Serrano, J. (2010). Cuenca, su crecimiento urbano paisajístico desde 1950-2008 (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- American Electric Power (AEC). (2019). 2018 Annual Report. Recuperado de <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/4904/000119312519072746/d644079dex991.pdf>
- Athienitis, A. & O'Brien, W. (2015). Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings. 1. Montreal: s.n. ISBN 978-3-433-03083-7.
- Arroba, M. & Mencías, D. (2009). Integración arquitectónica de algunas energías renovables. Impacto estructural
- Baquero L, M. T., & Quesada M, F. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 7(2 SE-Artículos científicos), 147–165. <https://doi.org/10.18537/mskn.007.002.11>
- Baur, C. & Schoof, J. (2009). Der Energiegewinner: "Kraftwerk B" in Bennau. Munich: Detail. Recuperado de <https://www.detail.de/artikel/der-energiegewinner-kraftwerk-b-in-bennau-1316/>
- Barbosa, S. M. K. (2016). A competitividade das fontes energéticas em uma abordagem de learning curves: uma proposição de regulação que incentive as tecnologias renováveis. Tesis Doctoral, Instituto de Energia e Ambiente, Universidad de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/T.106.2016.tde-14042016-094140. Recuperado 2019-08-23, de www.teses.usp.br
- Barragán, A. (2018). El autoabastecimiento energético en los países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano: caso Cuenca, Ecuador. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica Superior de Jaén, España.
- Benedito, R. (2009). "Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados á rede, no brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório," Master's thesis, Universidade de São Paulo, 2009. [Online]. Recuperado de <https://goo.gl/q47ejV>
- BID. (2014). Cuenca ciudad sustentable: Plan de acción. Banco Interamericano de Desarrollo & Municipalidad de Cuenca. Recuperado de <http://www.iadb.org/es/temas/ciudades-emergentes-y-sostenibles/alcalde-marcelo-cabrera-presenta-plan-de-accion-de-cuenca,18592.html>



- Bie, Z., Lin, Y., Li, G., Jin, X., & Hua, B. (2013). Smart Grid in China: A promising solution to China's energy and environmental issues. *International Journal of Environmental Studies*, 70(5), 702–718. <https://doi.org/10.1080/00207233.2013.828442>
- Blair, N., DiOrio, N., Freeman, J., Gilman, P., Janzou, S., Neises, T. & Wagner, M. (2018). System Advisor Model (SAM) General Description. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70414.pdf>
- Bona, G. (2017). Empa - a Research Institute of the ETH Domain. Suiza: Empa. Recuperado de <https://www.empa.ch/web/empa/empa>
- Brüggemann, M. (2010). Wohnen im Kraftwerk Mehrfamilienhaus, Bennau/CH. Berlín: DBZ. Recuperado de https://www.dbz.de/artikel/dbz_Wohnen_im_Kraftwerk_Mehrfamilienhaus_Bennau_CH_985379.html
- Calle, A. & Ortiz, J. (2016). Evaluación del consumo energético en la fase de uso de la edificación residencial en Cuenca. Diseño de estrategias para un modelo de vivienda eficiente. (Tesis pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador
- CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. (2007). Sistemas solares térmicos. Manual de diseño para el calentamiento de agua. Santiago de Chile: Camara Chilena de la Construcción, 2007.
- Castañeda, W. (2012). Solar decathlon Europe 2012... Ecolar home gana el premio de industrialización. EcoOpción. Recuperado de <https://ecoopcion.wordpress.com/2012/09/25/solar-decathlon-europe-2012-ecolar-home-gana-el-premio-de-industrializacion/>
- CELEC. Vigente el mecanismo de subsidio eléctrico. Preguntas frecuentes [en línea], 2014. [Consultado 22 enero 2020]. Recuperado de: <https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/noticias/vigente-el-mecanismo-para-subsidioelectrico>
- CELIS, Flavio, et al. (2012). "Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile". *Arquitectura revista*, pp. 62-75.
- CEPAL. (2017). Síntesis De Políticas Públicas Sobre Cambio Climático: El cambio climático y el sector de energía en América Latina. Recuperado de https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis_pp_cc_cambio_climatico_y_el_sector_de_energia.pdf
- Chan, F., Torres, E., & Sanchez, V. M. (2014). Determinación de la vida útil de un Inversor para aplicaciones fotovoltaicas Estimation of Mean time between failures (MTBF) of a power inverter for Photovoltaic Applications Planeación Energética View project. *Revista De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Computación*, 2(1). Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/272507124>
- CNEL EP. (2019). CNEL EP expone tarifa residencial y tips de consumo eléctrico. Recuperado de: <https://www.cnelep.gob.>

- ec/2019/02/cnel-ep-expone-tarifa-residencial-y-tips-de-consumo-electrico/
- Constitución de la República del Ecuador, Registro Oficial 449 de 20 de octubre de 2008.
- Construcción 21. (2015). Introducción a la arquitectura sostenible y al modelado energético. Recuperado de: <https://www.construccion21.org/espana/training/es/introduccion-a-la-arquitectura-sostenible-y-al-modelado-energetico.html>
- Cronemberger, A., Almagro, M., Ceron, I., Caamano, M., Sánchez, S., BIPV technology application: highlighting advances, tendencies and solutions through Solar decathlon Europe Houses
- Delgado, G & Orellana, M. (2015). Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow & Campbell (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Díaz, T. & Carmona, G. (2010). Instalaciones Solares Fotovoltaicas, Grado medio. Ed. McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A.
- Doroudchi, E., Alanne, K., Okur, Ö., Kyyrä, J. & Lehtonen, M. (2018). Approaching net zero energy housing through integrated EV. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.042>
- Echeverría, F. (2011). Las siete estaciones de bomberos con la arquitectura más increíble del mundo. Recuperado de: <https://hermandaddebomberos.ning.com/profiles/blogs/las-siete-estaciones-de>
- Ecoportal. (2016). Las tejas solares permiten que cada casa será una central eléctrica autosostenible. Recuperado de: <https://www.ecoportal.net/paises/internacionales/las-tejas-solares-permiten-que-cada-casa-sera-una-central-electrica-autosostenible/>
- ECOTECT - RADIANCE - DAYSIM. (2019). (Architecture & Sustainability Research unit in Barcelona. Recuperado de <https://www.emagister.com/ecotect-radiance-daysim-cursos-2968020.htm>
- Ecotality. (2019). How Much Does an Average Solar Panel Weigh? Recuperado de <https://ecotality.com/solar-panel-weights/>
- Elster. (2010). A 1800 ALPHA® meter style numbers. Recuperado de https://www.elstersolutions.com/assets/products/products_elster_files/DS42-1003F.pdf
- El Mostrador. (2018). Energía solar en colegios y universidades: Los beneficios de este tipo de sistema en pos de la educación. Chile: Futuro Renovable. Recuperado de <https://futurorenovable.cl/energia-solar-en-colegios-y-universidades-los-beneficios-de-este-tipo-de-sistema-en-pos-de-la-educacion/>
- Energy Informative. (2018). Integración de Fotovoltaicos. Recuperado de <https://energyinformative.org/what-are-building-integrated-photovoltaics>
- Erhorn, H., & Erhorn-Kluttig, H. (2014). Selected



- examples of Nearly Zero-Energy Buildings Detailed Report. (September), 74. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1011>
- Espejo, C. & García, R. (2010). Anales de Geografía. La energía solar termoeléctrica en España. 30 (2), 81-105. general de las instalaciones solares fotovoltaica. (pp. 10-35). Antequera, España: IC Editorial
- Espinoza, F. (2015). Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca
- Espinoza, S. & Guayanlema, V. (2017). Balance y proyecciones del sistema de subsidios energéticos en Ecuador. Quito. Ecuador. Disponible en <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/quito/13648.pdf>
- Fula, L. (2017). Ongrid. Automa, Soluciones Tecnológicas. Recuperado de: <http://www.automa.solar/uncategorized/ongrid/>
- Garde, F., & Donn, M. (2014). Solution Sets and Net Zero Energy Buildings: A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide. Recuperado de <https://www.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T40A52-DC-TR1-30-Net-ZEBs.pdf>
- Garrido, J. (2011). Envoltente, aplicación y funcionamiento de energía fotovoltaica en edificación. Valencia, España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12367/TFC%20entero%20bueno.pdf?sequence=1>
- Garzón, B. (2007). Arquitectura bioclimática (Nobuko). Buenos Aires: Nobuko.
- Gilman, P. & Dobos, A. (2012). System Advisor Model, SAM 2011.12.2: General Description. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/53437.pdf>
- Goldstein, M. (2015). Achieving near Zero and Positive Energy Settlements in Europe using Advanced Energy Technology. Recuperado de http://www.zeroplus.org/pdf/ZERO-PLUS_D1.1.pdf
- Gook-hwan, H. y Eximbank, K. (2013). Smart grid Studies in Ecuador. Sejong: Knoledge Sharing Program Korea
- GRAPHISOFT@. (2018). Archicad 22. Recuperado de: http://www.graphisoft.com/archicad/ecodesigner_star/
- Gschier, B., & Stückler, H. (2014). The Nearly Zero-Energy Building Building for the Future Contents. Recuperado de https://www.ea-stmk.at/documents/20181/25550/NZEB_Broschuere_englisch_WEB.pdf/78737a82-4b16-4e24-a8c8-36d0501befd6
- Guamán, J., Guevara, D., Ríos, A. (2016). "Evaluación del Impacto Económico en Diferentes Escenarios de Implementación de Tecnologías Eficientes de Calentamiento de Agua en el Ecuador". Revista Técnica "energía". No. 12, Pp. 270-283.

- Gupta, A., Cemesova, A., Hopfe, C., Rezgui, Y. & Sweet, T. (2014). A conceptual framework to support solar PV simulation using an open-BIM data exchange standard. Automation in Construction [en línea]. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.005>.
- Gutiérrez, C. (2012). Herramientas Informáticas. Barcelona, España: Architecture & Sustainability. Recuperado de <http://arquitecturaysostenibilidad.com/profesionales/herramientas-informaticas/>
- Hermida, M. Augusta, Hermida, Carla, Cabrera, Natasha, & Calle, Christian. (2015). La densidad urbana como variable de análisis de la ciudad: El caso de Cuenca, Ecuador. EURE (Santiago), 41(124), 25-44. <https://dx.doi.org/10.4067/S0250-71612015000400002>
- IDAE. (2019). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- IEA SHC Task 41. (2012). Solar energy systems in architecture, integration criteria and guidelines. Recuperado de <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>
- INDRA. (2015). Kane Cres Center For renewable Energy Sources and Savings, 2015; ONYX SOLAR, 2011
- INEC. (2019). Base de datos censo 2019. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos del Ecuador. Disponible en <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Inga Ortega, E.M. (2017). Redes de Comunicación en Smart Grid. Ingenius, (7), 36–55. <https://doi.org/10.17163/ings.n7.2012.05>. Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías renovables (INER). (2014b). Solar. Quito. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- IPCC. (2014). El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC ¿Qué implica para Latinoamérica? Alianza Clima y Desarrollo (CDKN), 40. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027964> \rPONE-D-11-08163]
- IRENA. (2017). Electricity storage and renewables: Costs and markets to 2030. [Online]. Available: https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Electricity_Storage_Costs_2017.pdf
- IRENA. (2017). Boosting global pv markets: The role of quality infrastructure. [Online]. Available: <https://goo.gl/YyaRRa>
- IRENA. (2018). Renewable Power Generation Costs in 2017. [Online]. Recuperado de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018_summary.pdf
- Izquierdo, I., Pacheco, M., Gonzalez, L. & Zalamea, E., Simulación fotovoltaica considerando parámetros de integración en edificaciones. Photovoltaic simulation considering building integration parameters, INGENIUS Rev. Cienc. y Tecnol. 21 (2019) 9–19.



doi:<http://dx.doi.org/10.17163/ings.n21.2019.02>

- Kaan, H. & Reijenga, T. (2004). Photovoltaics in an architectural context. *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, 12, 395-408. doi:10.1002/pip.554
- Käkelä, P., Viitanen, A., & Finnäs, K. (2013). Implementing zero energy buildings in harsh Nordic climate conditions. Recuperado de: http://www.laganbygg.se/UserFiles/Presentations/4._Session_1_P.Kakel.pdf
- Kalogirou, S. (2004). *Solar thermal collectors and applications*. Nicolas: Elsevier. ISBN3572240646.
- Kanellakis, M., Martinopoulos, G., & Zachariadis, T. (2013). European energy policy—A review. *Energy Policy*, 62, 1020–1030. <http://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.008>
- Khan, K. R., Abou-Arkoub, A. A., & Ahsan, Q. (2013). Evaluation of expected energy generation in multi-area interconnected systems with photovoltaic generating units. *International Journal of Environmental Studies*, 70(5), 744–753. <https://doi.org/10.1080/00207233.2013.798499>
- Larco, N. y Durán, M. (2018). Estudio de las tecnologías aplicadas para la recolección de energía solar. *Revista Akadèmeia*, 17, 2 (Noviembre-Diciembre). pp.65-80.
- Leds be solar. (2015). *Energía Solar*. Benito Juárez, México D.F. Recuperado de <https://www.ledsbesolar.com/content/28-energia-solar>.
- Lobaccaro, G., Lindkvist, C. & Wall, M. (2018). National and International Comparison of Case Studies on Solar Energy in Urban Planning. Recuperado de <http://task51.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Task51-Report-C2-180208.pdf>
- Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica. Registro Oficial Suplemento 418 de 16 enero de 2015.
- Luque, A. & Hegedus, S. (2011) *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Marín, D., Zalamea, E., & Barragán, A. (2018). Potencial fotovoltaico en techumbre de edificios industriales de alta demanda energética, en zonas ecuatoriales. Recuperado de <https://doi.org/10.22320/07190700.2017.08.01.03>
- Marte, T. (2018). Redes eléctricas Inteligentes “Smart grids”. Recuperado de: <https://www.tomasmarte.com/2018/07/31/redes-electricas-inteligentes-smart-grids/>
- Martin Chivelet, N. (2011). Los módulos fotovoltaicos en la edificación: posibilidades y directrices de diseño. Recuperado de <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-4485-Los-modulos-fotovoltaicos-edificacion-posibilidades-directrices-diseño.aspx>
- Martín, F (2008) *Introducción al diseño solar pasivo*. Soluciones Bioclimáticas. Proyecto RE-



- CONSOST. Grupo de Termotecnia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla. Universidad de Sevilla
- Martínez, A. (2016) Energía solar fotovoltaica integrada en la edificación: modelizado y análisis del efecto sombreado en la captación de irradiación. Tesis Doctoral. Universidad de La Rioja. España
- Massa, M. (2015). Che cosa si intende per impianto fotovoltaico integrato su un edificio?. Cerdeña, Italia. Recuperado de <http://www.fotovoltaicosulweb.it/guida/gli-impianti-fotovoltaici-integrati.html>
- Mikkola, J., J. Salpakari, J. Ypyä, & P. Lund. (2014). "Increasing the Solar Share through Smart Matching of PV, Load and Energy Infrastructure in Urban Context." 4th Solar Integration Workshop
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER. (2017). Balance Energético Nacional
- Municipalidad de Cuenca. (2002). Reforma, Actualización, Complementación y Codificación de la Ordenanza que Sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Cuenca: Determinaciones para el Uso y Ocupación del Suelo Urbano. Cuenca, Ecuador
- Muñoz, V. (2009). Todo lo que un arquitecto quiso saber sobre instalaciones fotovoltaicas y nunca se atrevió a preguntar. España: Space, Form, Words Recuperado de <https://spaceformwords.wordpress.com/category/instalaciones-fotovoltaicas/>
- Neighoff, K. (2019). RE/MAX of Reading. Recuperado de <https://www.goberkscounty.com/real-estate/12723-buckingham-dr-bowie-md-20715/1009948838/62216058>
- NREL. (2018). System Advisor Model (SAM) Introduction and Demonstration. NREL Learning. Recuperado <https://www.youtube.com/watch?v=v1uZicGrXz4>
- Tegen, E., Lantz, E., Hand, M., Maples, B., Smith, A., & Schwabe, P. (2013). 2011 Cost of Wind Energy Review. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Recuperado de <https://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56266.pdf>
- OLADE. (2019). Panorama Energético de América Latina y el Caribe 2019. Quito - Ecuador.
- Organización Meteorológica Mundial. (2019). Los niveles de gases de efecto invernadero en la atmósfera alcanzan un nuevo récord. Disponible en: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/los-niveles-de-gases-de-efecto-invernadero-en-la-atmosfera-alcanzan>
- Parra, R. (2013). Factor de emisión de CO₂ debido a la generación de electricidad en el Ecuador durante el período 2001-2011. Avances, 5(1):C39 – C42. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/271519166_Factor_de_emision_de_CO2_debido_a_la_generacion_de_electricidad_en_el_Ecuador_durante_el_periodo_2001_-_2011



- Peraudeau, N. (2019). Graz district. Stunning. Recuperado de <https://renovation-hub.eu/case-studies/graz-district/>
- Plan Nacional de Eficiencia Energética - PLANEE, 2016-2035
- Poggi, H., Martínez, A., Pineda, J. & Caffarel, S. (2009) Libro de Ciencia y Tecnología N° 2. Tecnología de Estudios Superiores de Escatepec. México (Editor) ISNM 978-607-95065-0-6
- Reddi, J. (2009). The temperature coefficient of resistivity of polycrystalline radio frequency sputtered aluminium films
- Reina, F. (2014). Ejemplo de bloque viviendas sostenibles: Bennau Kraftwerk B. Recuperado de: https://issuu.com/eduardo-reina/docs/bloque_viviendas_sostenibles._benna
- Richardson, L. (2019). Thin film solar panels: do they make sense for residential? Recuperado 2 febrero, 2020, de <https://news.energysage.com/thin-film-solar-panels-make-sense/>
- Ribeiro, J. (2015) La integración de sistemas fotovoltaicos en edificios de oficinas en bajas latitudes: estudio de balance energético aplicado a Brasil. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid
- Rickerson, IEA. (2014). Criterios de integración de energía solar activa en arquitectura. Potencial tecnológico y consideraciones proyectuales
- Rivas, P. (2019). Paneles solares fotovoltaicos. ¿Cuál elegimos?. España. Recuperado de <https://www.instalacionesyeficienciaenergetica.com/paneles-solares-fotovoltaicos/>
- Sanabria, C. (2018). Uso de estrategias pasivas para mejorar el confort térmico y reducir el consumo energético en vivienda campestre localizada en Acacias Meta. Universidad Católica de Colombia, Bogotá.
- Solarwall. (2015). PV/Thermal; Hybrid Solar Heating + Electricity. [en línea]. [Consulta: 10 de abril de 2019]. Recuperado de <http://solarwall.com/en/products/pvthermal.php>.
- Solutec. (2019). Paneles Solares. Guadalajara, Jalisco. Recuperado de <http://www.solutec.com.mx/productos/energia-solar/paneles-solares/>
- SunFields, Europe. (2019). SunFields: Distribuidor Material Fotovoltaico desde 2007. España: SunFields: Proveedor Equipos de Energía Solar y Material Fotovoltaico. Recuperado de <https://www.sfe-solar.com>
- Sun Supply. (2017). Componentes de un sistema de energía solar. Bogotá. Recuperado de <https://www.sunsupplyco.com/componentes-de-un-sistema-de-energia-solar/>
- Sunpower. (2019). Global Solar Panel Company. Recuperado 19 octubre, 2019, de <https://www.global.sunpower.com/>
- SUPSI/ISAAC. (2013). Building Integrated Photovoltaics (BIPV). Recuperado de <http://www.bipv.ch/index.php/en/>
- Tama Franco, A. (2013). Cocina de inducción versus cocina a gas (GLP).



- Tesla. (2019). [Techo Solarglass]. Recuperado 11 octubre, 2019, de https://www.tesla.com/es_MX/solarglass
- The World Bank. (2016). World Development Indicators : Energy dependency , efficiency and carbon dioxide emissions, 0–4.
- Tonato, D. (2019). Diseño arquitectónico de un centro cultural en el barrio de San José de Morán en la parroquia de Calderón- cantón Quito. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2015
- United Nations. (2019). Cambio climático. Disponible en: <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html>
- Vizcaíno, M. (2016). Desarrollo de un método para la evaluación de la gestión de mantenimiento de edificios multifamiliares ubicados en la ciudad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. Disponible en http://dspace.ucuenca.edu.ec/bits-tream/123456789/25369/5/3.%20MC3-ARTÍCULO%20CIENTÍFICO_Mayra%20Viscaíno%20Cuzco.pdf
- Voss, K., Sartori, I., Musall, E., Napolitano, A., Geier, S., Hall, M., Karlsson, B., Heiselberg, P., Widen, J., Candanedo, J. A., & Torcellini, P. (2010). Load matching and grid interaction of net zero energy buildings. Proceedings of Eurosun 2010, Graz, Austria
- Wall, M., Munari, M., Roecker, C., Dubois, M., Horvat, M., Jorgensen, O. & Kappel, K. (2012). Achieving solar energy in architecture - IEA SHC Task 41. Energy Procedia [en línea]. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.138>.
- Wegertseder, Paulina, Peter Lund, Jani Mikkola, and Rodrigo García Alvarado. (2016). "Combining Solar Resource Mapping and Energy System Integration Methods for Realistic Valuation of Urban Solar Energy Potential." *Solar Energy* 135:325–36. Retrieved (<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.05.061>).
- Zalamea, E. (2016). Potencial De Recolección Solar Activa Integrada En Vivienda Unifamiliar. Caso de Estudio Concepción, Chile, (April 2016), 327. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10170.85446>
- Zalamea, E. y García, R. (2014) Diseño Arquitectónico e integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas. En: *Arquitectura y Urbanismo* vol. XXXV, no 3, 2014, ISSN 1815-5898. Chile
- Zalamea, E. & Quesada, F. (2017) Criterios de integración solar activa en arquitectura: Potencial Tecnológico y consideraciones proyectuales. Artículo. En: *Revista de Arquitectura*, 19(1), 56-69. doi:<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2017.19.1.1018>.
- Zalamea, E., Mena, J., Moscoso, M., Barragán, E., & Méndez, P. (2018). Perspectivas de cubiertas fotovoltaicas y arquitectura en contextos urbanos patrimoniales. *Arquitectura, Ciudad y Entorno*; Año 13, Núm. 38 (Oct. 2018). <https://doi.org/10.5821/ace.13.38.5369>



Zhou, Y., Ziyue, L. & Xinyu T., (2016). Urban mixed use and its impact on energy performance of micro grid system, 2016. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.296>

ANEXOS

Cuenca, 24 de octubre de 2018

Ingeniero
Francisco Carrasco Astudillo
PRESIDENTE EJECUTIVO REGIONAL CENTROSUR
Su despacho.

De mi consideración:

Luego de expresarle un cordial saludo y desearle éxitos en sus funciones, en el marco de las actividades del Proyecto de investigación "Abastecimiento energético renovable desde recursos endógenos, en ciudades de países en vías de desarrollo en el marco del metabolismo urbano. Caso de Estudio Cuenca, Ecuador", ganador del XV CONCURSO UNIVERSITARIO DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA - DIUC.; es necesario contar con información concerniente a registro de demandas eléctricas de viviendas en multifamiliar, por ello se seleccionó el Condominio Pinar del Lago como caso de estudio, en tal sentido solicitamos comedidamente, nos facilite la entrega de la información disponible.

En el mismo sentido, se solicita su valiosa colaboración a través del préstamo de equipos de medición de demanda eléctrica temporal horaria, con el objetivo de obtener curvas de consumo característico horario, también a analizarse en la mencionada tipología construida.

La información recabada tiene fines netamente académicos, con el objetivo de precisar estadísticamente necesidades energéticas existentes, como partida a ejercicios y propuestas de adopción de energías renovables.

Por la favorable atención que se sirva dar a la presente, anticipo mis agradecimientos

Atentamente,


Ing. Fabián Cazar Almache
**DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE ARQUITECTURA Y
URBANISMO**


Arq. Esteban Zalamea León, PhD.
**DIRECTOR DEL PROYECTO DE
INVESTIGACIÓN**

Registro diario-horario del consumo eléctrico en kWh por medidor, procesado a partir de la información proporcionada por la Centro Sur.

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270538

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,209	0,156	0,206	0,122	0,243	0,126	0,123
01:00 - 02:00	0,209	0,214	0,181	0,181	0,439	0,178	0,190
02:00 - 03:00	0,158	0,155	0,159	0,164	0,414	0,150	0,155
03:00 - 04:00	0,137	0,135	0,144	0,122	0,231	0,131	0,127
04:00 - 05:00	0,134	0,130	0,138	0,146	0,138	0,133	0,141
05:00 - 06:00	0,130	0,135	0,131	0,121	0,118	0,122	0,143
06:00 - 07:00	0,129	0,132	0,125	0,137	0,147	0,141	0,134
07:00 - 08:00	0,203	0,196	0,198	0,182	0,183	0,180	0,175
08:00 - 09:00	0,530	0,393	0,357	0,441	0,321	0,186	0,155
09:00 - 10:00	0,676	0,651	0,257	0,511	0,296	0,222	0,124
10:00 - 11:00	0,449	1,203	0,660	0,520	0,467	0,148	0,136
11:00 - 12:00	0,241	0,284	0,292	0,315	0,327	0,112	0,145
12:00 - 13:00	0,244	0,141	0,347	0,741	0,328	0,134	0,157
13:00 - 14:00	0,362	0,157	0,279	0,719	0,178	0,174	0,272
14:00 - 15:00	0,156	0,171	0,158	0,544	0,157	0,156	0,157
15:00 - 16:00	0,179	0,134	0,159	0,602	0,132	0,123	0,133
16:00 - 17:00	0,170	0,156	0,393	0,640	0,126	0,141	0,131
17:00 - 18:00	0,207	0,134	0,498	0,661	0,131	0,135	0,149
18:00 - 19:00	0,335	0,131	0,243	0,651	0,138	0,135	0,139
19:00 - 20:00	0,264	0,303	0,257	0,362	0,243	0,182	0,171
20:00 - 21:00	0,864	0,592	0,514	0,457	0,154	0,159	0,163
21:00 - 22:00	0,843	0,446	0,340	0,385	0,182	0,123	0,137
22:00 - 23:00	0,631	0,328	0,292	0,244	0,146	0,142	0,257
23:00 - 24:00	0,287	0,307	0,169	0,130	0,118	0,154	0,313
DIARIO	7,74	6,78	6,49	9,09	5,35	3,58	3,93

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270674

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,279	0,193	0,106	0,122	0,090	0,210	0,159
01:00 - 02:00	0,090	0,109	0,266	0,147	0,143	0,056	0,146
02:00 - 03:00	0,071	0,219	0,293	0,111	0,121	0,077	0,092
03:00 - 04:00	0,093	0,283	0,118	0,070	0,070	0,157	0,181
04:00 - 05:00	0,126	0,121	0,107	0,125	0,127	0,054	0,052
05:00 - 06:00	0,079	0,077	0,160	0,122	0,121	0,117	0,051
06:00 - 07:00	0,137	0,164	0,123	0,072	0,146	0,149	0,180
07:00 - 08:00	0,268	0,359	0,287	0,219	0,295	0,212	0,050
08:00 - 09:00	0,191	0,165	0,159	0,299	0,136	0,295	0,058
09:00 - 10:00	0,206	0,158	0,115	0,090	0,141	0,232	0,287
10:00 - 11:00	0,244	0,109	0,149	0,099	0,146	0,168	0,234
11:00 - 12:00	0,190	0,248	0,176	0,170	0,095	0,264	0,281
12:00 - 13:00	0,187	0,305	0,314	0,146	0,206	0,267	0,225
13:00 - 14:00	0,230	0,383	0,185	0,263	0,225	0,188	0,148
14:00 - 15:00	0,211	0,197	0,118	0,247	0,232	0,414	0,246
15:00 - 16:00	0,132	0,180	0,124	0,108	0,466	0,230	0,141
16:00 - 17:00	0,227	0,233	0,278	0,068	0,339	0,204	0,223
17:00 - 18:00	0,265	0,192	0,106	0,249	0,334	0,337	0,229
18:00 - 19:00	0,262	0,295	0,088	0,318	0,347	0,266	0,381
19:00 - 20:00	0,134	0,246	0,291	0,196	0,330	0,097	0,422
20:00 - 21:00	0,302	0,198	0,237	0,168	0,158	0,316	0,223
21:00 - 22:00	0,185	0,231	0,202	0,179	0,103	0,273	0,281
22:00 - 23:00	0,308	0,248	0,282	0,289	0,189	0,121	0,191
23:00 - 24:00	0,160	0,214	0,176	0,187	0,191	0,088	0,281
DIARIO	4,57	5,12	4,46	4,06	4,75	4,79	4,76

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270525

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,407	0,370	0,278	0,042	0,044	0,045	0,098
01:00 - 02:00	0,106	0,366	0,277	0,047	0,045	0,046	0,095
02:00 - 03:00	0,128	0,370	0,276	0,041	0,049	0,047	0,086
03:00 - 04:00	0,112	0,369	0,277	0,047	0,044	0,044	0,081
04:00 - 05:00	0,078	0,372	0,277	0,041	0,048	0,050	0,074
05:00 - 06:00	0,074	0,371	0,277	0,044	0,045	0,044	0,079
06:00 - 07:00	0,078	0,420	0,277	0,043	0,044	0,049	0,075
07:00 - 08:00	0,080	0,408	0,277	0,043	0,069	0,045	0,075
08:00 - 09:00	2,063	0,371	1,433	0,044	0,133	0,048	0,305
09:00 - 10:00	2,541	0,371	0,538	0,041	0,161	0,047	0,147
10:00 - 11:00	0,592	0,364	0,264	0,046	0,054	0,127	1,795
11:00 - 12:00	0,397	0,372	0,214	0,041	0,047	0,287	1,099
12:00 - 13:00	0,418	0,370	0,134	0,046	0,050	0,277	0,333
13:00 - 14:00	0,493	0,373	0,047	0,041	0,048	0,281	0,236
14:00 - 15:00	0,381	0,368	0,040	0,045	0,046	0,279	0,236
15:00 - 16:00	0,370	0,572	0,040	0,721	0,052	0,278	0,226
16:00 - 17:00	0,362	1,046	0,044	2,983	0,046	0,282	0,223
17:00 - 18:00	0,365	0,510	0,042	0,402	0,048	0,278	0,224
18:00 - 19:00	0,366	0,427	0,047	1,811	0,105	0,282	0,220
19:00 - 20:00	0,362	0,287	0,041	1,485	0,073	0,280	0,225
20:00 - 21:00	0,372	0,279	0,046	0,443	0,054	0,312	0,222
21:00 - 22:00	0,367	0,275	0,043	0,238	0,050	0,420	0,305
22:00 - 23:00	0,371	0,279	0,043	0,043	0,045	0,451	0,403
23:00 - 24:00	0,366	0,276	0,045	0,049	0,049	0,214	0,760
DIARIO	11,25	9,58	5,27	8,83	1,44	4,51	7,62

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270544

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,140	0,232	0,108	0,168	0,136	0,164	0,110
01:00 - 02:00	0,118	0,224	0,115	0,158	0,100	0,176	0,109
02:00 - 03:00	0,077	0,194	0,097	0,128	0,104	0,166	0,136
03:00 - 04:00	0,157	0,215	0,122	0,132	0,115	0,186	0,119
04:00 - 05:00	0,154	0,215	0,093	0,112	0,090	0,215	0,150
05:00 - 06:00	0,174	0,122	0,214	0,115	0,150	0,184	0,163
06:00 - 07:00	0,109	0,129	0,180	0,108	0,259	0,153	0,092
07:00 - 08:00	0,118	0,092	0,176	0,366	0,110	0,182	0,140
08:00 - 09:00	0,102	0,303	0,309	0,621	0,179	0,492	0,085
09:00 - 10:00	0,107	0,396	0,376	0,444	0,168	0,593	0,125
10:00 - 11:00	0,114	0,444	0,271	0,398	0,127	0,681	0,101
11:00 - 12:00	0,125	0,280	0,238	0,459	0,088	0,518	0,131
12:00 - 13:00	0,265	0,267	0,185	0,343	0,124	0,335	0,122
13:00 - 14:00	0,257	0,754	0,168	0,149	0,095	0,094	0,113
14:00 - 15:00	0,457	1,074	0,151	0,099	0,129	0,155	0,137
15:00 - 16:00	0,252	0,441	0,104	0,125	0,098	0,088	0,133
16:00 - 17:00	1,207	0,163	0,205	0,107	0,129	0,153	0,186
17:00 - 18:00	0,679	0,591	0,638	0,152	0,103	0,165	0,109
18:00 - 19:00	0,851	0,533	0,573	0,493	0,153	0,148	0,119
19:00 - 20:00	1,000	0,350	0,653	0,700	0,144	0,087	0,100
20:00 - 21:00	0,944	0,262	0,742	0,594	0,296	0,136	0,131
21:00 - 22:00	0,222	0,327	0,589	0,292	1,136	0,090	0,111
22:00 - 23:00	0,254	0,340	0,296	0,174	1,109	0,122	0,119
23:00 - 24:00	0,215	0,128	0,157	0,108	0,344	0,104	0,100
DIARIO	8,10	8,07	6,76	6,54	5,48	5,38	2,94

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010272348

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,128	0,099	0,100	0,090	0,068	0,092	0,106
01:00 - 02:00	0,108	0,092	0,080	0,098	0,090	0,112	0,077
02:00 - 03:00	0,109	0,074	0,071	0,092	0,084	0,130	0,107
03:00 - 04:00	0,076	0,108	0,104	0,074	0,068	0,127	0,086
04:00 - 05:00	0,075	0,080	0,077	0,073	0,091	0,078	0,078
05:00 - 06:00	0,103	0,141	0,166	0,131	0,091	0,084	0,113
06:00 - 07:00	0,329	0,331	0,348	0,114	0,189	0,096	0,076
07:00 - 08:00	0,149	0,202	0,104	0,299	0,135	0,070	0,098
08:00 - 09:00	0,259	0,222	0,191	0,145	0,100	0,298	0,275
09:00 - 10:00	0,479	0,116	0,628	0,111	0,152	0,183	0,355
10:00 - 11:00	0,472	0,103	0,184	0,116	0,228	0,154	0,107
11:00 - 12:00	0,461	0,129	0,174	0,184	0,096	0,238	0,103
12:00 - 13:00	0,336	0,078	0,418	0,330	0,190	0,290	0,076
13:00 - 14:00	0,152	0,204	0,095	0,192	0,168	0,154	0,091
14:00 - 15:00	0,167	0,108	0,483	0,072	0,368	0,105	0,099
15:00 - 16:00	0,228	0,112	0,359	0,113	0,505	0,086	0,072
16:00 - 17:00	0,139	0,182	0,112	0,073	0,489	0,220	0,092
17:00 - 18:00	0,200	0,189	0,134	0,096	0,103	0,312	0,089
18:00 - 19:00	0,355	0,167	0,196	0,078	0,100	0,199	0,114
19:00 - 20:00	0,251	0,229	0,245	0,068	0,220	0,239	0,256
20:00 - 21:00	0,266	0,314	0,327	0,215	0,432	0,227	0,345
21:00 - 22:00	0,081	0,141	0,161	0,106	0,321	0,298	0,239
22:00 - 23:00	0,117	0,094	0,088	0,086	0,185	0,104	0,092
23:00 - 24:00	0,075	0,072	0,077	0,090	0,117	0,097	0,079
DIARIO	5,11	3,58	4,92	3,04	4,59	3,99	3,22

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270657

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,145	0,139	0,105	0,090	0,127	0,123	0,352
01:00 - 02:00	0,156	0,068	0,080	0,063	0,149	0,064	0,367
02:00 - 03:00	0,070	0,092	0,104	0,083	0,066	0,092	0,395
03:00 - 04:00	0,087	0,067	0,079	0,068	0,095	0,064	0,385
04:00 - 05:00	0,069	0,093	0,106	0,087	0,200	0,091	0,362
05:00 - 06:00	0,080	0,133	0,079	0,131	0,145	0,064	0,094
06:00 - 07:00	0,073	0,125	0,106	0,062	0,151	0,115	0,066
07:00 - 08:00	0,071	0,110	0,143	0,088	0,133	0,125	0,089
08:00 - 09:00	0,119	0,172	0,169	0,095	0,157	0,150	0,072
09:00 - 10:00	0,205	0,378	0,215	0,150	0,240	0,188	0,067
10:00 - 11:00	0,294	0,488	0,073	0,197	0,419	0,068	0,094
11:00 - 12:00	0,353	0,609	0,078	0,061	0,664	0,067	0,091
12:00 - 13:00	0,296	0,378	0,074	0,088	0,643	0,181	0,158
13:00 - 14:00	0,221	0,253	0,076	0,061	0,496	0,110	0,132
14:00 - 15:00	0,342	0,107	0,142	0,088	0,189	0,065	0,123
15:00 - 16:00	0,064	0,085	0,122	0,062	0,126	0,093	0,127
16:00 - 17:00	0,091	0,061	0,085	0,088	0,103	0,062	0,183
17:00 - 18:00	0,065	0,087	0,076	0,063	0,120	0,093	0,122
18:00 - 19:00	0,091	0,067	0,089	0,086	0,118	0,121	0,152
19:00 - 20:00	0,065	0,082	0,062	0,065	0,105	0,152	0,129
20:00 - 21:00	0,091	0,074	0,088	0,123	0,125	0,156	0,158
21:00 - 22:00	0,066	0,088	0,063	0,137	0,103	0,079	0,154
22:00 - 23:00	0,092	0,167	0,146	0,129	0,124	0,075	0,187
23:00 - 24:00	0,111	0,081	0,099	0,146	0,095	0,063	0,227
DIARIO	3,31	4,00	2,45	2,31	4,89	2,46	4,28

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010272257

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,297	0,192	0,142	0,089	0,087	0,097	0,100
01:00 - 02:00	0,310	0,143	0,106	0,146	0,142	0,136	0,136
02:00 - 03:00	0,265	0,142	0,126	0,090	0,088	0,118	0,122
03:00 - 04:00	0,180	0,086	0,126	0,146	0,144	0,117	0,195
04:00 - 05:00	0,246	0,142	0,108	0,089	0,088	0,127	0,220
05:00 - 06:00	0,240	0,087	0,142	0,143	0,143	0,101	0,124
06:00 - 07:00	0,296	0,141	0,197	0,093	0,088	0,140	0,120
07:00 - 08:00	0,273	0,104	0,199	0,137	0,142	0,091	0,148
08:00 - 09:00	0,540	0,120	0,131	0,097	0,092	0,144	0,093
09:00 - 10:00	0,686	0,128	0,096	0,123	0,130	0,088	0,144
10:00 - 11:00	0,111	0,096	0,138	0,106	0,103	0,141	0,088
11:00 - 12:00	0,323	0,140	0,086	0,115	0,120	0,087	0,142
12:00 - 13:00	0,090	0,088	0,140	0,119	0,117	0,161	0,087
13:00 - 14:00	0,144	0,143	0,087	0,187	0,108	0,089	0,142
14:00 - 15:00	0,098	0,088	0,138	0,210	0,132	0,145	0,142
15:00 - 16:00	0,130	0,142	0,103	0,108	0,090	0,108	0,250
16:00 - 17:00	0,138	0,113	0,122	0,119	0,139	0,126	0,454
17:00 - 18:00	0,089	0,119	0,120	0,136	0,087	0,132	0,448
18:00 - 19:00	0,138	0,136	0,106	0,090	0,139	0,100	0,672
19:00 - 20:00	0,092	0,093	0,141	0,139	0,085	0,141	1,102
20:00 - 21:00	0,130	0,142	0,089	0,085	0,219	0,088	0,936
21:00 - 22:00	0,129	0,087	0,142	0,139	0,213	0,143	0,765
22:00 - 23:00	0,094	0,142	0,088	0,086	0,101	0,088	0,606
23:00 - 24:00	0,205	0,087	0,145	0,141	0,143	0,145	0,338
DIARIO	5,24	2,90	3,02	2,93	2,94	2,85	7,57

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270724

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,097	0,121	0,155	0,136	0,092	0,170	0,157
01:00 - 02:00	0,167	0,085	0,060	0,122	0,175	0,172	0,103
02:00 - 03:00	0,174	0,135	0,154	0,160	0,088	0,133	0,161
03:00 - 04:00	0,116	0,101	0,066	0,156	0,192	0,133	0,099
04:00 - 05:00	0,152	0,154	0,150	0,134	0,156	0,132	0,190
05:00 - 06:00	0,118	0,130	0,110	0,158	0,167	0,131	0,145
06:00 - 07:00	0,149	0,240	0,254	0,107	0,093	0,130	0,159
07:00 - 08:00	0,115	0,363	0,343	0,174	0,164	0,132	0,108
08:00 - 09:00	0,149	0,195	0,217	0,087	0,094	0,125	0,150
09:00 - 10:00	0,110	0,222	0,112	0,167	0,156	0,148	0,115
10:00 - 11:00	0,152	0,179	0,140	0,168	0,101	0,161	0,141
11:00 - 12:00	0,165	0,314	0,102	0,153	0,149	0,164	0,124
12:00 - 13:00	0,155	0,216	0,156	0,110	0,108	0,099	0,132
13:00 - 14:00	0,109	0,299	0,211	0,170	0,171	0,165	0,133
14:00 - 15:00	0,155	0,274	0,284	0,092	0,170	0,098	0,173
15:00 - 16:00	0,107	0,213	0,170	0,173	0,114	0,161	0,173
16:00 - 17:00	0,150	0,267	0,242	0,091	0,148	0,103	0,101
17:00 - 18:00	0,114	0,197	0,289	0,174	0,110	0,156	0,165
18:00 - 19:00	0,141	0,146	0,278	0,171	0,151	0,107	0,093
19:00 - 20:00	0,118	0,184	0,321	0,169	0,103	0,171	0,168
20:00 - 21:00	0,169	0,455	0,289	0,095	0,159	0,173	0,087
21:00 - 22:00	0,172	0,374	0,217	0,172	0,096	0,118	0,171
22:00 - 23:00	0,101	0,230	0,207	0,090	0,165	0,148	0,090
23:00 - 24:00	0,166	0,158	0,112	0,172	0,090	0,109	0,168
DIARIO	3,32	5,25	4,64	3,40	3,21	3,33	3,30

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270729

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,305	0,187	0,128	0,112	0,123	0,113	0,126
01:00 - 02:00	0,224	0,189	0,128	0,112	0,123	0,114	0,119
02:00 - 03:00	0,212	0,188	0,131	0,115	0,123	0,111	0,115
03:00 - 04:00	0,208	0,190	0,268	0,110	0,124	0,125	0,115
04:00 - 05:00	0,206	0,190	0,120	0,111	0,259	0,125	0,116
05:00 - 06:00	0,204	0,189	0,117	0,114	0,114	0,124	0,116
06:00 - 07:00	0,198	0,193	0,116	0,106	0,114	0,123	0,115
07:00 - 08:00	0,196	0,189	0,112	0,108	0,109	0,121	0,182
08:00 - 09:00	0,187	0,184	0,111	0,117	0,107	0,118	0,170
09:00 - 10:00	0,185	0,184	0,110	0,117	0,106	0,109	0,237
10:00 - 11:00	0,183	0,328	0,183	0,117	0,106	0,110	0,213
11:00 - 12:00	0,183	0,213	0,213	0,349	0,106	0,114	0,205
12:00 - 13:00	0,187	0,196	0,104	0,114	0,107	0,117	0,203
13:00 - 14:00	0,184	0,187	0,105	0,111	0,109	0,113	0,203
14:00 - 15:00	0,183	0,163	0,104	0,107	0,108	0,182	0,203
15:00 - 16:00	0,186	0,112	0,105	0,108	0,120	0,172	0,204
16:00 - 17:00	0,186	0,112	0,130	0,109	0,120	0,120	0,194
17:00 - 18:00	0,292	0,112	0,115	0,109	0,121	0,116	0,193
18:00 - 19:00	0,226	0,114	0,278	0,110	0,120	0,118	0,191
19:00 - 20:00	0,211	0,112	0,132	0,107	0,117	0,126	0,190
20:00 - 21:00	0,207	0,114	0,109	0,108	0,118	0,125	0,190
21:00 - 22:00	0,206	0,114	0,109	0,108	0,120	0,126	0,192
22:00 - 23:00	0,195	0,114	0,109	0,118	0,181	0,125	0,191
23:00 - 24:00	0,188	0,115	0,110	0,122	0,114	0,126	0,190
DIARIO	4,94	3,99	3,24	2,92	2,96	2,97	4,17

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270553

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,071	0,114	0,094	0,063	0,120	0,081	0,075
01:00 - 02:00	0,062	0,092	0,057	0,088	0,069	0,073	0,072
02:00 - 03:00	0,078	0,055	0,063	0,091	0,081	0,069	0,069
03:00 - 04:00	0,105	0,081	0,052	0,087	0,111	0,070	0,080
04:00 - 05:00	0,059	0,063	0,097	0,106	0,056	0,078	0,110
05:00 - 06:00	0,061	0,063	0,056	0,082	0,063	0,056	0,101
06:00 - 07:00	0,070	0,073	0,053	0,089	0,099	0,082	0,074
07:00 - 08:00	0,072	0,054	0,088	0,067	0,101	0,061	0,078
08:00 - 09:00	0,056	0,088	0,057	0,059	0,076	0,090	0,098
09:00 - 10:00	0,060	0,065	0,086	0,088	0,075	0,105	0,058
10:00 - 11:00	0,090	0,062	0,078	0,068	0,091	0,093	0,085
11:00 - 12:00	0,067	0,095	0,079	0,065	0,089	0,081	0,054
12:00 - 13:00	0,108	0,081	0,061	0,054	0,056	0,067	0,055
13:00 - 14:00	0,059	0,075	0,062	0,092	0,066	0,056	0,070
14:00 - 15:00	0,124	0,070	0,077	0,086	0,060	0,066	0,076
15:00 - 16:00	0,060	0,084	0,102	0,094	0,075	0,086	0,104
16:00 - 17:00	0,085	0,090	0,054	0,078	0,083	0,066	0,089
17:00 - 18:00	0,066	0,088	0,091	0,073	0,044	0,097	0,062
18:00 - 19:00	0,090	0,096	0,077	0,088	0,103	0,120	0,079
19:00 - 20:00	0,085	0,083	0,095	0,069	0,108	0,078	0,077
20:00 - 21:00	0,062	0,075	0,088	0,061	0,064	0,096	0,074
21:00 - 22:00	0,088	0,067	0,071	0,072	0,125	0,075	0,064
22:00 - 23:00	0,063	0,118	0,074	0,079	0,079	0,084	0,083
23:00 - 24:00	0,088	0,071	0,092	0,093	0,086	0,070	0,095
DIARIO	1,83	1,90	1,80	1,89	1,98	1,90	1,88

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270555

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,148	0,150	0,146	0,156	0,106	0,296	0,143
01:00 - 02:00	0,154	0,087	0,140	0,174	0,159	0,219	0,158
02:00 - 03:00	0,095	0,101	0,089	0,173	0,123	0,130	0,134
03:00 - 04:00	0,087	0,077	0,145	0,079	0,089	0,127	0,161
04:00 - 05:00	0,070	0,198	0,167	0,112	0,102	0,088	0,173
05:00 - 06:00	0,188	0,121	0,120	0,100	0,103	0,084	0,129
06:00 - 07:00	0,108	0,093	0,088	0,102	0,078	0,059	0,072
07:00 - 08:00	0,107	0,091	0,155	0,099	0,117	0,072	0,089
08:00 - 09:00	0,084	0,087	0,065	0,094	0,070	0,050	0,089
09:00 - 10:00	0,085	0,072	0,114	0,081	0,075	0,070	0,076
10:00 - 11:00	0,077	0,105	0,074	0,078	0,049	0,067	0,090
11:00 - 12:00	0,093	0,135	0,066	0,079	0,093	0,061	0,069
12:00 - 13:00	0,106	0,128	0,071	0,173	0,051	0,074	0,080
13:00 - 14:00	0,117	0,166	0,079	0,148	0,073	0,063	0,132
14:00 - 15:00	0,137	0,125	0,474	0,130	0,055	0,120	0,120
15:00 - 16:00	0,050	0,088	0,338	0,149	0,068	0,224	0,146
16:00 - 17:00	0,218	0,076	0,314	0,123	0,074	0,257	0,208
17:00 - 18:00	0,404	0,253	0,231	0,168	0,115	0,240	0,189
18:00 - 19:00	0,119	0,230	0,150	0,118	0,195	0,243	0,112
19:00 - 20:00	0,119	0,399	0,312	0,146	0,141	0,274	0,123
20:00 - 21:00	0,191	0,327	0,338	0,277	0,278	0,254	0,240
21:00 - 22:00	0,267	0,249	0,244	0,308	0,295	0,306	0,223
22:00 - 23:00	0,154	0,163	0,197	0,166	0,322	0,259	0,159
23:00 - 24:00	0,168	0,162	0,148	0,154	0,275	0,222	0,165
DIARIO	3,34	3,68	4,26	3,38	3,10	3,86	3,28

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010272254

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,027	0,102	0,089	0,024	0,034	0,124	0,028
01:00 - 02:00	0,096	0,046	0,105	0,079	0,194	0,026	0,095
02:00 - 03:00	0,025	0,065	0,081	0,041	0,160	0,100	0,026
03:00 - 04:00	0,097	0,052	0,073	0,065	0,026	0,024	0,097
04:00 - 05:00	0,026	0,054	0,041	0,056	0,025	0,078	0,026
05:00 - 06:00	0,099	0,063	0,068	0,039	0,130	0,045	0,100
06:00 - 07:00	0,096	0,051	0,031	0,118	0,055	0,151	0,032
07:00 - 08:00	0,263	0,109	0,145	0,357	0,204	0,457	0,090
08:00 - 09:00	0,025	0,256	0,107	0,103	0,046	0,182	0,190
09:00 - 10:00	0,099	0,163	0,090	0,029	0,053	0,024	0,302
10:00 - 11:00	0,052	0,022	0,022	0,093	0,073	0,024	0,235
11:00 - 12:00	0,221	0,099	0,093	0,024	0,034	0,100	0,199
12:00 - 13:00	0,082	0,022	0,022	0,098	0,091	0,024	0,158
13:00 - 14:00	0,022	0,098	0,092	0,024	0,030	0,101	0,144
14:00 - 15:00	0,038	0,022	0,022	0,096	0,095	0,024	0,097
15:00 - 16:00	0,085	0,192	0,092	0,024	0,025	0,094	0,039
16:00 - 17:00	0,020	0,240	0,022	0,099	0,101	0,029	0,082
17:00 - 18:00	0,103	2,341	0,093	0,024	0,026	0,127	0,045
18:00 - 19:00	0,078	2,241	0,022	0,139	0,101	0,162	0,075
19:00 - 20:00	0,149	0,319	0,320	0,172	0,025	0,268	0,076
20:00 - 21:00	0,285	0,206	0,487	0,276	0,102	0,380	0,109
21:00 - 22:00	0,061	0,105	0,146	0,127	0,025	0,297	0,161
22:00 - 23:00	0,093	0,066	0,099	0,084	0,131	0,078	0,037
23:00 - 24:00	0,070	0,088	0,100	0,088	0,053	0,129	0,101
DIARIO	2,21	7,02	2,46	2,27	1,83	3,05	2,54

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010270768

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,047	0,048	0,077	0,062	0,129	0,061	0,063
01:00 - 02:00	0,056	0,056	0,058	0,061	0,051	0,050	0,121
02:00 - 03:00	0,060	0,121	0,061	0,046	0,082	0,050	0,086
03:00 - 04:00	0,053	0,073	0,069	0,054	0,127	0,061	0,060
04:00 - 05:00	0,045	0,055	0,052	0,060	0,110	0,050	0,070
05:00 - 06:00	0,059	0,066	0,060	0,065	0,125	0,049	0,059
06:00 - 07:00	0,079	0,122	0,131	0,401	0,099	0,128	0,045
07:00 - 08:00	0,042	0,056	0,046	0,157	0,048	0,121	0,081
08:00 - 09:00	0,056	0,049	0,065	0,057	0,062	0,194	0,202
09:00 - 10:00	0,058	0,062	0,063	0,042	0,063	0,958	0,189
10:00 - 11:00	0,054	0,060	0,045	0,059	0,053	0,652	0,188
11:00 - 12:00	0,075	0,045	0,062	0,059	0,134	0,801	0,072
12:00 - 13:00	0,056	0,063	0,064	0,042	0,055	0,339	0,048
13:00 - 14:00	0,067	0,064	0,045	0,057	0,103	0,609	0,050
14:00 - 15:00	0,129	0,047	0,061	0,077	0,183	0,223	0,059
15:00 - 16:00	0,137	0,093	0,065	0,110	0,206	0,132	0,056
16:00 - 17:00	0,061	0,166	0,047	0,266	0,230	0,191	0,043
17:00 - 18:00	0,044	0,050	0,104	0,509	0,274	0,185	0,059
18:00 - 19:00	0,062	0,136	0,100	0,333	0,328	0,044	0,059
19:00 - 20:00	0,055	0,212	0,092	0,290	0,069	0,064	0,066
20:00 - 21:00	0,247	0,144	0,109	0,185	0,137	0,060	0,067
21:00 - 22:00	0,191	0,105	0,088	0,065	0,243	0,098	0,066
22:00 - 23:00	0,131	0,130	0,064	0,099	0,232	0,082	0,105
23:00 - 24:00	0,069	0,054	0,050	0,166	0,080	0,056	0,084
DIARIO	1,93	2,08	1,68	3,32	3,22	5,26	1,99

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2014233360

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,163	0,328	0,257	0,227	0,074	0,100	0,093
01:00 - 02:00	0,234	0,171	0,131	0,119	0,141	0,105	0,221
02:00 - 03:00	0,074	0,143	0,183	0,193	0,252	0,213	0,074
03:00 - 04:00	0,127	0,216	0,233	0,296	0,119	0,077	0,109
04:00 - 05:00	0,182	0,075	0,118	0,144	0,164	0,125	0,203
05:00 - 06:00	0,073	0,113	0,150	0,204	0,238	0,265	0,074
06:00 - 07:00	0,144	0,202	0,164	0,080	0,083	0,101	0,124
07:00 - 08:00	0,301	0,195	0,239	0,205	0,245	0,240	0,188
08:00 - 09:00	0,111	0,135	0,157	0,195	0,204	0,075	0,073
09:00 - 10:00	0,226	0,189	0,264	0,071	0,093	0,110	0,132
10:00 - 11:00	0,071	0,073	0,189	0,133	0,478	0,263	0,178
11:00 - 12:00	0,118	0,137	0,257	0,178	0,594	0,072	0,072
12:00 - 13:00	0,213	0,232	0,458	0,076	0,121	0,102	0,145
13:00 - 14:00	0,073	0,074	0,086	0,145	0,191	0,210	0,166
14:00 - 15:00	0,135	0,169	0,081	0,192	0,228	0,073	0,073
15:00 - 16:00	0,228	0,176	0,229	0,089	0,132	0,122	0,216
16:00 - 17:00	0,110	0,092	0,076	0,186	0,073	0,192	0,252
17:00 - 18:00	0,175	0,218	0,102	0,187	0,212	0,074	0,165
18:00 - 19:00	0,186	0,251	0,213	0,081	0,099	0,137	0,120
19:00 - 20:00	0,073	0,149	0,076	0,166	0,073	0,176	0,276
20:00 - 21:00	0,159	0,122	0,122	0,268	0,232	0,074	0,089
21:00 - 22:00	0,210	0,241	0,195	0,117	0,080	0,153	0,102
22:00 - 23:00	0,124	0,111	0,073	0,092	0,087	0,269	0,269
23:00 - 24:00	0,221	0,154	0,173	0,220	0,228	0,130	0,119
DIARIO	3,73	3,96	4,22	3,86	4,44	3,46	3,53

TIPO DE DEMANDA: Residencial
No. Medidor: 2010136706

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,205	0,237	0,196	0,237	0,286	0,185	0,224
01:00 - 02:00	0,194	0,205	0,204	0,251	0,197	0,177	0,236
02:00 - 03:00	0,182	0,191	0,171	0,261	0,200	0,177	0,191
03:00 - 04:00	0,181	0,195	0,192	0,272	0,178	0,197	0,182
04:00 - 05:00	0,182	0,196	0,149	0,233	0,178	0,182	0,183
05:00 - 06:00	0,201	0,399	0,211	0,252	0,184	0,176	0,194
06:00 - 07:00	0,624	0,490	0,169	0,233	0,861	0,177	0,188
07:00 - 08:00	0,299	0,579	1,479	0,234	0,245	0,197	0,177
08:00 - 09:00	0,215	0,200	0,300	0,236	0,307	0,182	0,177
09:00 - 10:00	0,235	1,215	0,953	0,854	0,727	0,220	0,177
10:00 - 11:00	0,567	0,626	0,530	0,355	0,571	0,237	0,198
11:00 - 12:00	0,271	0,879	0,397	0,203	0,234	0,185	0,229
12:00 - 13:00	0,244	0,725	0,267	0,214	0,236	0,188	0,209
13:00 - 14:00	0,247	0,681	0,275	0,229	0,270	0,192	0,179
14:00 - 15:00	0,227	0,218	0,454	0,228	0,216	0,178	0,271
15:00 - 16:00	0,273	0,234	1,073	0,448	0,541	0,178	0,261
16:00 - 17:00	0,378	0,152	0,256	0,237	0,265	0,180	0,242
17:00 - 18:00	0,226	0,611	0,225	0,226	0,202	0,200	0,221
18:00 - 19:00	0,223	0,231	0,264	0,243	0,179	0,177	0,193
19:00 - 20:00	0,254	0,177	0,262	0,260	0,184	0,178	0,237
20:00 - 21:00	0,287	0,310	0,243	0,285	0,193	0,177	0,363
21:00 - 22:00	0,695	0,360	0,249	0,305	0,177	0,198	0,337
22:00 - 23:00	0,877	0,465	0,254	0,342	0,177	0,617	0,271
23:00 - 24:00	0,598	0,391	0,252	0,305	0,195	0,349	0,226
DIARIO	7,88	9,96	9,02	6,94	7,00	5,10	5,37

TIPO DE DEMANDA: Comercial
No. Medidor: 2010136720

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,062	0,047	0,128	0,060	0,051	0,047	0,064
01:00 - 02:00	0,059	0,048	0,128	0,047	0,047	0,061	0,057
02:00 - 03:00	0,058	0,047	0,132	0,048	0,047	0,049	0,060
03:00 - 04:00	0,058	0,047	0,129	0,061	0,047	0,047	0,056
04:00 - 05:00	0,061	0,047	0,129	0,048	0,049	0,055	0,053
05:00 - 06:00	0,059	0,049	0,131	0,051	0,047	0,048	0,047
06:00 - 07:00	0,125	0,051	0,136	0,052	0,061	0,051	0,047
07:00 - 08:00	0,167	0,053	0,118	0,055	0,052	0,056	0,047
08:00 - 09:00	0,177	0,064	0,063	0,062	0,061	0,058	0,050
09:00 - 10:00	0,173	0,061	0,062	0,066	0,058	0,056	0,056
10:00 - 11:00	0,167	0,064	0,061	0,061	0,082	0,063	0,054
11:00 - 12:00	0,168	0,057	0,059	0,055	0,057	0,057	0,061
12:00 - 13:00	0,170	0,058	0,068	0,060	0,057	0,053	0,056
13:00 - 14:00	0,173	0,055	0,060	0,059	0,058	0,056	0,056
14:00 - 15:00	0,176	0,064	0,063	0,068	0,066	0,055	0,058
15:00 - 16:00	0,173	0,058	0,061	0,064	0,065	0,052	0,059
16:00 - 17:00	0,175	0,061	0,060	0,060	0,068	0,061	0,056
17:00 - 18:00	0,175	0,066	0,072	0,077	0,065	0,061	0,056
18:00 - 19:00	0,183	0,176	0,104	0,155	0,172	0,091	0,064
19:00 - 20:00	0,194	0,168	0,083	0,124	0,110	0,085	0,071
20:00 - 21:00	0,186	0,151	0,077	0,095	0,066	0,077	0,076
21:00 - 22:00	0,191	0,148	0,092	0,067	0,089	0,062	0,074
22:00 - 23:00	0,190	0,141	0,071	0,061	0,057	0,060	0,064
23:00 - 24:00	0,179	0,143	0,060	0,063	0,071	0,065	0,066
DIARIO	3,50	1,92	2,14	1,62	1,60	1,42	1,41

TIPO DE DEMANDA: Comercial
No. Medidor: 2010272259

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,049	0,078	0,082	0,086	0,080	0,049	0,049
01:00 - 02:00	0,049	0,077	0,081	0,086	0,079	0,049	0,049
02:00 - 03:00	0,049	0,080	0,083	0,087	0,080	0,049	0,049
03:00 - 04:00	0,049	0,077	0,081	0,086	0,079	0,049	0,049
04:00 - 05:00	0,049	0,078	0,082	0,085	0,079	0,048	0,049
05:00 - 06:00	0,049	0,078	0,081	0,085	0,078	0,048	0,049
06:00 - 07:00	0,049	0,078	0,082	0,085	0,079	0,048	0,049
07:00 - 08:00	0,048	0,111	0,081	0,085	0,094	0,049	0,049
08:00 - 09:00	0,092	0,161	0,111	0,112	0,146	0,048	0,049
09:00 - 10:00	0,310	0,315	0,186	0,159	0,160	0,048	0,048
10:00 - 11:00	0,210	0,339	0,185	0,157	0,158	0,048	0,048
11:00 - 12:00	0,185	0,181	0,281	0,158	0,150	0,048	0,048
12:00 - 13:00	0,174	0,184	0,211	0,158	0,160	0,048	0,048
13:00 - 14:00	0,202	0,162	0,190	0,111	0,109	0,049	0,048
14:00 - 15:00	0,193	0,133	0,178	0,110	0,085	0,049	0,048
15:00 - 16:00	0,311	0,181	0,175	0,208	0,185	0,049	0,048
16:00 - 17:00	0,221	0,281	0,300	0,297	0,186	0,048	0,048
17:00 - 18:00	0,216	0,216	0,181	0,230	0,290	0,049	0,048
18:00 - 19:00	0,102	0,140	0,117	0,177	0,236	0,048	0,048
19:00 - 20:00	0,077	0,081	0,085	0,081	0,071	0,048	0,047
20:00 - 21:00	0,076	0,081	0,086	0,080	0,048	0,048	0,048
21:00 - 22:00	0,077	0,081	0,085	0,081	0,048	0,049	0,048
22:00 - 23:00	0,077	0,082	0,086	0,080	0,048	0,049	0,049
23:00 - 24:00	0,077	0,081	0,086	0,081	0,049	0,049	0,049
DIARIO	2,99	3,35	3,19	2,96	2,77	1,16	1,16

TIPO DE DEMANDA: Comercial
No. Medidor: 2010270537

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,080	0,005	0,010	0,005	0,000	0,000	0,070
01:00 - 02:00	0,080	0,000	0,005	0,010	0,000	0,000	0,065
02:00 - 03:00	0,080	0,000	0,005	0,010	0,005	0,005	0,070
03:00 - 04:00	0,075	0,000	0,005	0,005	0,000	0,000	0,065
04:00 - 05:00	0,080	0,005	0,010	0,010	0,000	0,000	0,070
05:00 - 06:00	0,080	0,000	0,005	0,010	0,005	0,000	0,065
06:00 - 07:00	0,080	0,000	0,005	0,010	0,000	0,005	0,070
07:00 - 08:00	0,095	0,005	0,010	0,010	0,000	0,000	0,070
08:00 - 09:00	0,455	0,255	0,365	0,275	0,275	0,000	0,065
09:00 - 10:00	0,385	0,335	0,365	0,340	0,350	0,280	0,420
10:00 - 11:00	0,345	0,340	0,425	0,335	0,345	0,290	0,385
11:00 - 12:00	0,320	0,355	0,345	0,340	0,355	0,320	0,385
12:00 - 13:00	0,320	0,420	0,375	0,380	0,340	0,380	0,380
13:00 - 14:00	0,330	0,380	0,350	0,340	0,340	0,385	0,380
14:00 - 15:00	0,320	0,410	0,355	0,490	0,340	0,355	0,385
15:00 - 16:00	0,320	0,565	0,360	0,475	0,340	0,325	0,380
16:00 - 17:00	0,000	0,415	0,355	0,475	0,340	0,190	0,385
17:00 - 18:00	0,075	0,380	0,360	0,495	0,340	0,065	0,080
18:00 - 19:00	0,160	0,115	0,120	0,120	0,110	0,070	0,070
19:00 - 20:00	0,000	0,010	0,010	0,005	0,000	0,070	0,075
20:00 - 21:00	0,000	0,005	0,010	0,000	0,005	0,065	0,070
21:00 - 22:00	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,070	0,125
22:00 - 23:00	0,000	0,005	0,010	0,005	0,000	0,070	0,075
23:00 - 24:00	0,000	0,005	0,010	0,000	0,005	0,065	0,080
DIARIO	3,68	4,02	3,88	4,15	3,50	3,01	4,29

TIPO DE DEMANDA: Comercial
No. Medidor: 03411229

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,415	0,380	0,350	0,340	0,345	0,370	0,305
01:00 - 02:00	0,350	0,380	0,350	0,380	0,385	0,400	0,385
02:00 - 03:00	0,305	0,385	0,390	0,410	0,315	0,445	0,350
03:00 - 04:00	0,405	0,410	0,310	0,405	0,330	0,415	0,355
04:00 - 05:00	0,320	0,335	0,335	0,380	0,395	0,410	0,315
05:00 - 06:00	0,340	0,405	0,390	0,365	0,320	0,390	0,400
06:00 - 07:00	0,370	0,400	0,340	0,435	0,345	0,455	0,355
07:00 - 08:00	0,530	0,480	0,335	0,330	0,415	0,360	0,305
08:00 - 09:00	2,515	2,605	2,510	2,815	2,630	0,395	0,380
09:00 - 10:00	2,900	3,405	2,785	3,375	2,970	0,365	0,350
10:00 - 11:00	2,510	2,875	2,816	3,145	2,735	0,360	0,355
11:00 - 12:00	2,830	2,995	2,726	2,515	2,565	0,335	0,295
12:00 - 13:00	2,555	2,650	2,395	1,890	2,185	0,295	0,405
13:00 - 14:00	1,695	1,445	0,990	1,235	1,305	0,395	0,360
14:00 - 15:00	1,945	2,280	1,775	1,530	2,090	0,310	0,305
15:00 - 16:00	2,450	3,080	2,215	2,760	2,200	0,335	0,405
16:00 - 17:00	4,105	4,115	3,070	3,365	2,575	0,385	0,330
17:00 - 18:00	3,330	3,435	3,350	3,445	3,525	0,345	0,350
18:00 - 19:00	2,125	1,965	2,318	1,580	1,455	0,345	0,385
19:00 - 20:00	0,780	0,705	1,261	0,485	0,595	0,350	0,355
20:00 - 21:00	0,450	0,325	0,450	0,395	0,450	0,375	0,355
21:00 - 22:00	0,355	0,350	0,360	0,395	0,425	0,295	0,375
22:00 - 23:00	0,390	0,395	0,360	0,315	0,355	0,390	0,360
23:00 - 24:00	0,420	0,300	0,450	0,345	0,480	0,375	0,300
DIARIO	34,39	36,10	32,63	32,64	31,39	8,90	8,44

TIPO DE DEMANDA: Comunitaria
No. Medidor: 3411230

HORA	LUN	MAR	MIER	JUE	VIE	SAB	DOM
00:00 - 01:00	0,580	0,630	0,545	1,110	0,755	0,570	0,815
01:00 - 02:00	0,550	0,625	0,475	0,610	0,705	0,615	1,395
02:00 - 03:00	0,515	0,665	0,880	0,480	1,495	0,560	0,790
03:00 - 04:00	0,475	0,615	0,485	1,405	0,850	0,545	1,325
04:00 - 05:00	0,475	0,580	0,730	1,620	1,225	0,535	0,865
05:00 - 06:00	0,520	0,525	1,045	1,425	1,045	0,525	0,565
06:00 - 07:00	0,530	0,345	0,650	0,595	0,665	0,370	0,940
07:00 - 08:00	0,440	0,405	0,875	1,000	0,820	0,590	0,535
08:00 - 09:00	0,765	0,370	2,075	1,880	2,035	0,680	0,415
09:00 - 10:00	0,645	0,475	1,645	1,425	1,615	0,975	0,435
10:00 - 11:00	0,670	0,705	1,118	1,405	1,690	0,905	0,585
11:00 - 12:00	0,560	0,455	1,068	1,355	1,900	0,875	0,590
12:00 - 13:00	0,885	0,595	1,935	1,320	1,650	0,655	0,395
13:00 - 14:00	0,545	0,710	0,960	0,880	0,805	0,375	0,425
14:00 - 15:00	0,545	0,520	1,640	1,245	1,430	0,510	0,455
15:00 - 16:00	0,550	0,685	1,090	1,620	1,210	1,260	0,320
16:00 - 17:00	0,435	0,445	1,330	1,005	1,645	0,695	0,290
17:00 - 18:00	0,455	0,550	1,425	1,225	1,310	0,710	0,300
18:00 - 19:00	0,815	0,685	1,500	1,380	1,570	0,810	0,555
19:00 - 20:00	0,735	1,080	0,760	1,340	0,840	0,785	0,870
20:00 - 21:00	0,845	0,875	0,860	1,535	0,910	0,710	0,770
21:00 - 22:00	0,680	0,935	0,725	0,775	0,880	0,620	0,735
22:00 - 23:00	0,720	0,685	0,630	1,205	0,665	1,245	0,805
23:00 - 24:00	0,655	0,630	1,175	1,315	0,625	1,070	0,690
DIARIO	14,59	14,79	25,62	29,16	28,34	17,19	15,87



UNIVERSIDAD DE CUENCA