

POTENCIAL DE RECOLECCIÓN SOLAR ACTIVA INTEGRADA
EN VIVIENDA UNIFAMILIAR. Caso de Estudio Concepción,
Chile

*POTENTIAL OF SOLAR TECHNOLOGIES INTEGRATED IN
SINGLE FAMILY HOUSING. Case Study Concepcion, Chile*

ESTEBAN FELIPE ZALAMEA LEÓN

TESIS DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y
URBANISMO DAU DE LA UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO

DIRECTOR: RODRIGO GARCÍA ALVARADO

CONCEPCIÓN-CHILE

2016

Doctorado en Arquitectura y Urbanismo

DAU

Facultad de Arquitectura, Construcción y Diseño
Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile



RESUMEN.

Las viviendas son el albergue fundamental de la población, su habitabilidad requiere consumos energéticos en agotamiento, contaminantes y costosos. La energía solar posee un potencial importante para satisfacer demandas energéticas residenciales. En latitudes intermedias, las techumbres inclinadas de las viviendas reciben una relevante radiación cuando están bien orientadas. Este estudio busca determinar el potencial solar integrado en las cubiertas de viviendas unifamiliares, realizando un levantamiento geométrico de casas recientes en Concepción, Chile y de sus techumbres. Se obtienen indicadores típicos existentes de modelos, demandas y configuraciones formales. Se analizan para ello diversas tecnologías potencialmente útiles para contribuir con las demandas existentes: Captación solar térmica (con fluido líquido), Fotovoltaica, Solar-híbrida (con fluido líquido o aire) y combinaciones entre ellas, dispuestas en la forma típica de techumbres existentes. Se encuentran márgenes de abastecimiento anual–mensual, luego diario y horario en días representativos estacionales. Se aplica para ello una metodología compuesta por subprocesos que relacionan herramientas de arquitectura BIM (*Building Information Modeling*), simuladores de irradiación y modelos matemáticos comprobados. Por último, a partir de uno de los modelos de vivienda detectados en la ciudad, se plantea una alternativa de casa que integra estrategias de eficiencia energética, más captación pasiva y configuraciones de captación solar activa, a partir de una propuesta alternativa con importante sección de techumbre y ventanales bien orientados. Determinándose un prototipo con elevada capacidad de abastecimiento y de contribuir con demandas urbanas en gran medida. Se comprueba que con esquemas de viviendas actuales existe la posibilidad de una importante producción, que supera la demanda en períodos y días de mayor irradiación. Además, se concluye que a partir de diseños residenciales típicos es posible configurar opciones que cumplen con abastecimiento propio y lograr excedentes importantes en balance anual, pudiendo inclusive cumplir en alguna medida como abastecedor energético de la ciudad.

PALABRAS CLAVES: Captación Solar Activa; Integración Arquitectónica de Colectores Solares; Colectores Solares Térmicos; Colectores Fotovoltaicos; Colectores Solares Híbridos; Vivienda; integración Residencial de Energías Renovables; Concepción, Chile.

ABSTRACT.

Single-family housing are the main site for human living. For the operation of these is necessary more or less energy consume from exhausting, polluting and expensive sources. Solar energy has a huge potential for solving domestic energy demands. On middle latitudes dwellings sloped roofs receive high solar radiation when are well oriented to the sun path. This research is intended to find the solar potential of single-family houses through a geometry roof analysis of recently real estate single housing development of Concepcion, Chile. Typical roof indexes were obtained of different models, energy demands and geometrical roof aspects. Different solar technologies integrated on roofs were analysed in correspondence with home energy requirements: Thermal solar collectors (liquid type), photovoltaic solar collectors and hybrid thermal-photovoltaic solar collectors (air and liquid type) in different combinations between them, with different proportions according to roof capacity. Daily and annually supply margins of possible energy self-sufficiency were determined. A methodology with different process was proposed, using BIM tools, irradiation simulators and proved mathematical models. At last, a house model found on the whole studied group was edited which shows a possible passive and active solar capture, as an alternative that integrates home energy efficiency strategies jointly with solar active and passive systems were displayed in order to obtain a house model with a higher energy production and maximum energy production and export capability. It is found that with current housing schemes the possibility of a major production that exceeds demand in periods with high irradiation is possible. In addition, it is concluded that from typical residential designs can configure options that meet own supply and achieve significant annual surplus in balance and can even meet some extent as an energy supplier of the city.

KEYWORDS: *Active Solar Systems; Building Integrated Solar Collectors; Solar Thermal Collectors; Photovoltaic; Hybrid Solar Collectors; Housing; Housing Integrated Renewable Energy Systems; Concepción, Chile.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad del Bío-Bío, a su Departamento de Investigación y fundamentalmente a mi director Rodrigo García, por el tiempo, paciencia, guía, oportunidades y herramientas proporcionadas para lograr culminar el trabajo. Así mismo a todo el Grupo CON*FIN y a cada uno de sus integrantes, quienes contribuyeron con datos y criterios, actuando como interlocutores que con opiniones y observaciones enriquecieron esta investigación.

Al Gobierno del Ecuador en sus instituciones Senescyt e IECE, las cuales financiaron en buena medida mis estudios de Doctorado.

Dedicado a Josefa, Matías y Loreto, la razón de mi labor y para quienes espero un mundo mejor.

TABLA DE CONTENIDOS.

RESUMEN	5
ABSTRACT	6
AGRADECIMIENTOS	7
TABLA DE CONTENIDOS	9
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE TABLAS	23
NOMENCLATURAS	25
ABREVIACIONES Y ACRÓNIMOS.....	25
UNIDADES	27
SÍMBOLOS.....	27
SÍMBOLOS GRIEGOS.....	28
INTRODUCCIÓN	33
1. CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN.....	39
11 1 PROBLEMA-OPORTUNIDAD	41
12 2 PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN.....	42
121 1.....	
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	42
122 2.....	
HIPÓTESIS.....	42
123 3.....	
OBJETIVOS DE LA TESIS	43
1.2.3.1 Objetivo General	43
1.2.3.2 Objetivos Específicos	43
124 4	
CONTRIBUCIÓN	44
13 3 ÁMBITO.....	44
14 4 ALCANCE.....	46
2. CAPÍTULO II. CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA EN EDIFICACIONES	49
21 1 INTRODUCCIÓN.....	51
22 2 ANTECEDENTES.....	51
221 1.....	
POTENCIAL SOLAR DE ZONAS URBANAS.....	52
222 2.....	
SOLAR Y ARQUITECTURA.....	53
23 3 TECNOLOGÍAS PARA RECOLECCIÓN SOLAR ACTIVA EN EDIFICACIONES	55
231 1.....	
CAPTACIÓN SOLAR TÉRMICA	56
2.3.1.1 Antecedentes de captación activa solar térmica.....	56
2.3.1.2 Tipos de colectores térmicos para edificaciones	58
2.3.1.3 Colectores ST en el mercado.....	60

TABLA DE CONTENIDO

232	2.....	SISTEMA DE CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA FOTOVOLTAICA.....	61
2.3.2.1	Antecedentes de Captación Activa Solar Fotovoltaica		61
2.3.2.2	Tipos de celdas PV habituales en el mercado y edificaciones		65
24	4 POSIBILIDADES Y LIMITACIONES PARA LA SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SOLARES ACTIVOS EN ARQUITECTURA		68
2.4.1	El Diseño Arquitectónico Energéticamente Eficiente y posible adopción de Tecnología Solar Activa.		69
2.4.2	Colectores para Integración Arquitectónica		71
2.4.3	3 COMPLEMENTACIÓN EN INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE TECNOLOGÍAS TÉRMICA Y FOTOVOLTAICA		73
2.4.4	Colectores para Integración Arquitectónica aplicables en Techumbres Inclinadas		75
2.4.4.1	Colectores Planos no vidriados en placa continua BISTa y BISTw:		76
2.4.4.2	Colectores BISTw y BIPV planos con expresión de tejas o fajas con traslape.....		76
2.4.4.3	Colectores BISTw planos vidriados para integración arquitectónica		77
2.4.4.4	Colectores BIPV tipo lámina delgada		77
2.4.4.5	Colectores rectangulares BIPV, BIPVTa o BIPVTw con capacidad estanca y resistencia mecánica.....		77
2.4.4.6	Colectores BIPV y BIPVTa con ventilación y posibilidad de aprovechamiento térmico: 77		
25	5 TECNOLOGÍAS PARA RECOLECCIÓN SOLAR ACTIVA CON CAPACIDAD DE INTEGRACIÓN EN TECHUMBRES INCLINADAS.....		78
2.5.1	Situación		78
2.5.2	Consideraciones tecnológicas-funcionales para integración en viviendas unifamiliares de Concepción		80
2.5.2.1	Tecnología Solar Combi (Solar CombiSystem) integrado en vivienda		80
2.5.2.2	Captación Solar Híbrida BIPVT integrada en vivienda.....		81
	• Captación Solar Híbrida con Fluido Aire BIPVTa.....		82
	• Captación Solar Híbrida con Fluido Agua BIPVTw		84
26	6		
	DEFINICIONES DE INTEGRACIÓN, FORMALES Y ESTÉTICAS DE ADAPTACIÓN DE COLECTORES EN EDIFICACIÓN		85
2.6.1	Determinación de integrabilidad de colectores en edificación		86
2.6.1.1	Colectores simplemente colocados		87
2.6.1.2	Colectores superpuestos en edificación		87
2.6.1.3	Colectores en Integración Arquitectónica		87
262	2.....	CRITERIOS ESTÉTICOS DE INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA	88
263	3.....		
	POSTURAS Y ESTRATEGIAS DE INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA DE COLECTORES SOLARES.....		89
264	Adopción morfológica de colectores solares en edificación		90

2.6.4.1	Capacidad morfológica y volumétrica de superficie de captación frente a superficie construida	91
3	CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR, DEMANDAS ENERGÉTICAS TÍPICAS Y POSIBILIDADES DE ABASTECIMIENTO DESDE FUENTE SOLAR	93
31	1.....	
	INTRODUCCIÓN	95
32	2.....	VIVIENDA
	UNIFAMILIAR Y TECHUMBRES INCLINADAS.....	95
33	3.....	
	CARACTERIZACIÓN RESIDENCIAL DE CONCEPCIÓN.....	96
	3.3.1 Ocupación y Morfología.....	96
	3.3.2 Servicios y Provisión	98
	3.3.2.1 Climatización	99
	3.3.2.2 Electricidad.....	100
	3.3.2.3 Agua Caliente Sanitaria.....	101
	3.3.2.4 Consolidación de demandas	101
34	4 ENERGÍAS RENOVABLES Y SU POTENCIAL INCORPORACIÓN RESIDENCIAL EN CONCEPCIÓN.....	103
	3.4.1 Situación y expectativas de ERs y energía solar activa en el ámbito edificado en Chile. 103	
	3.4.2 Situación y expectativas de la captación solar activa en el ámbito residencial chileno.....	104
4.	CAPÍTULO IV. DISEÑO METODOLÓGICO.....	109
41	1.....	
	INTRODUCCIÓN	111
42	2.....	
	ANTECEDENTES	111
43	3.....	
	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	111
	4.3.1 Método para determinación y dimensionamiento de sujeto de estudio	111
	4.3.2 2.....	MÉTODO
	PARA ESTIMACIÓN SOLAR A ESCALA URBANA MENSUAL Y ANUAL.....	113
	4.3.3 3.....	
	MÉTODO PARA ESTIMACIÓN DE POTENCIAL SOLAR ACORDE A INDICADOR DE TECHUMBRE Y TECNOLOGÍA SOLAR ACTIVA EN MODELOS EXTREMOS	115
	4.3.3.1 Estimación de Irradiación disponible en AMD y SAMD promedio en mes de mínima irradiación.....	117
	4.3.3.2 Estimación de Irradiación disponible en modelos con indicador AMD máxima , SAMD mínima y posibilidad de aprovechamiento con tecnología BIPVTa	118
	4.3.3.3 Estimación del Potencial Solar en casos Extremos con Integración de Tecnología BIPVTw, BIPV y BISTw	119
	4.3.3.4 Estimación de abastecimiento con tecnología Combi desde BIM.....	123

TABLA DE CONTENIDO

4.3.3.5	Evaluación Paramétrica de caso de estudio	125
434	4.....	
	MÉTODO PARA ESTIMACIÓN DE INTEGRACIÓN DE CAPTACIÓN SOLAR PASIVA Y ACTIVA CONJUNTAMENTE EN VIVIENDA DE ELEVADO POTENCIAL	126
4.3.4.1	Selección de Caso	127
4.3.4.2	Consideraciones de eficiencia energética pasivas, demandas resultantes y comparación con requerimientos energéticos típicos.....	128
4.3.4.3	Despliegue de tecnologías de captación activa.....	129
4.3.4.4	Metodología para medición de capacidad de despliegue de colectores, de aspecto resultante y de soleamiento	130
4.4	4	MAPA
	CONCEPTUAL METODOLÓGICO.....	131
5.	CAPÍTULO V: POTENCIAL SOLAR DE TECHUMBRES DE CASAS UNIFAMILIARES EN CONJUNTOS INMOBILIARIOS	133
51	1 INTRODUCCIÓN.....	135
52	2 DETERMINACIÓN DE SUJETO DE ESTUDIO Y ESTIMACIÓN DE IRRADIACIÓN, POTENCIAL BIPV Y TÉRMICO-ELÉCTRICO BIPVTA DE CONJUNTO SUJETO DE ESTUDIO	135
5.2.1	Dimensionamiento y representatividad de emprendimientos inmobiliarios y principales características e indicadores.....	135
5.2.1.1	Cuantificación de Vivienda por modelo y caracterización constructiva.....	137
5.2.1.2	Determinación de características geométricas de techumbre.....	139
	FIGURA 5.5: RECURRENCIA DE NÚMERO DE ALAS DE TECHUMBRE FRENTE A SUPERFICIE DE TIPOLOGÍA DE VIVIENDA Y CANTIDAD DE VIVIENDAS POR TIPOLOGÍA (EL AUTOR).....	139
5.2.1.3	Determinación de indicadores AMD, SAMD y Azimut	140
	FIGURA 5.7A: ESQUEMA DE DEFINICIÓN DE AMD Y SAMD (EL AUTOR)	140
522	2 IRRADIACIÓN SOLAR ANUAL INCIDENTE EN TECHUMBRES INCLINADAS DE VIVIENDAS DE CONJUNTOS DE CASAS UNIFAMILIARES.....	142
523	Irradiación horaria y margen de abastecimiento invernal con indicadores AMD y SAMD	146
53	3	
	COMPARACIÓN ENTRE POSIBLE PRODUCCIÓN ENERGÉTICA BIPV A SOLAR FRENTE A DEMANDA RESIDENCIAL. ESTUDIO EN CONDICIÓN PROMEDIO Y CASOS EXTREMOS.....	149
54	4	
	POTENCIAL ENERGÉTICO RESIDENCIAL EN CASOS EXTREMOS CON APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS BIPV, BIPVTA, BISTW Y BIPVTW EN MARGEN HORARIO	152
5.4.1	Estimación de abastecimiento residencial con tecnología BIPVTA en casos puntuales extremos, en margen horario y días representativos	152
5.4.1.1	Casos de estudio	153
5.4.1.2	Comparación entre producción y demanda al integrar colectores solares en techumbres de vivienda BIPVTA	153
5.4.2	Relación entre geometría de techumbre de sus faldones y la capacidad de despliegue de colectores BISTW, BIPV y BIPVTW con formato comercial.....	156
5.4.2.1	Adaptabilidad de colectores rectangulares según características de forma de	

techumbre y posible capacidad de abastecimiento	156
• Integración de placas BIPV.....	157
• Integración de Colectores BIPV y BISTw conjuntamente	159
• Integración de Colectores BIPVTw conjuntamente con BIPV	160
• Integración de Colectores BIPVTw	162
5.4.3 Comparación entre capacidades de abastecimiento entre distintos despliegues tecnológicos.....	164
55 5	
ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO E INTEGRACIÓN ARQUITECTÓNICA AL INTEGRARSE	
TECNOLOGÍA SOLAR <i>COMBISYSTEM</i> EN VIVIENDA DE TIPOLOGÍA MINVU	168
5.5.1 Demanda y aporte energético solar térmico en vivienda social MINVU.....	168
TABLA 5. 7: DETERMINACIONES DE MATERIALES CONSTRUCTIVOS Y AISLAMIENTO EN ECODESIGNER® (EL AUTOR).	169
5.5.1.1 Desarrollo arquitectónico-técnico detallado del Sistema Solar Térmico Integrado	
177	
FIGURA 5. 41: PLANTA, FOTOGRAFÍA Y DETALLE DE TECHUMBRE DE VIVIENDA MINVU DE REFERENCIA DE LA ZONA CENTRO- SUR DE CHILE (IZQ.)(MINVU 2012). SISTEMA EN ARCHICAD CON SISTEMA COMBI (DER.)(EL AUTOR)	177
6. CAPÍTULO VI. INTEGRACIÓN CONJUNTA DE CAPTACIÓN ACTIVA Y PASIVA EN VIVIENDA DE EMPRENDIMIENTOS INMOBILIARIOS.....	183
61 1	
INTRODUCCIÓN	185
62 2	
COMPLEMENTACIÓN DE CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA Y PASIVA	185
63 3	
ESTUDIO.....	CASO DE 186
6.3.1 Integración de medidas de eficiencia energética y recolección solar pasiva	189
6.3.1.1 Simulación de demandas térmicas para calefacción.....	191
64 4	
SIMULACIÓN DE VIVIENDA ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE Y CON RECOLECCIÓN SOLAR ACTIVA Y PASIVA INTEGRADAS	
	192
6.4.1 Integración de colectores BIPV.....	193
6.4.1.1 Análisis de producción posible con integración de tecnologías BIPV y BIPVTa conjuntamente.....	196
6.4.2 Análisis de producción posible con integración conjunta de tecnologías BISTw más BIPV. 197	
6.4.3 Análisis de producción con adopción de tecnologías BIPV, BIPVTw y BIPVTa	199
65 5	
COMPARACIÓN DE LOS CASOS ANALIZADOS EN RENDIMIENTOS RESPECTO DE PROPORCIÓN DE DEMANDA SATISFECHA	
	201
66 6	
IMPLICACIONES CONSTRUCTIVAS Y EXPRESIVAS	201

TABLA DE CONTENIDO

7.	CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES	203
71	1	
	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	204
72	2	
	CONCLUSIONES GENERALES	208
73	3 DISCUSIÓN	209
74	4 TRABAJO FUTURO.....	210
	REFERENCIAS	213
	ANEXOS	223
	• Cuadro 1: Colectores en Integración Arquitectónica	225
	• Cuadro 2: Colectores en Integración Arquitectónica	226
	• Cuadro 3: Colectores en Integración Arquitectónica	227
	• Cuadro 4: Colectores en Integración Arquitectónica	228
	• Cuadro 5: Colectores en Integración Arquitectónica	229
	• Cuadro 6: Colectores en Integración Arquitectónica	230
	• Cuadro 7: Colectores en Integración Arquitectónica	231
	• Cuadro 8: Colectores en Integración Arquitectónica	232
	• Cuadro 9: Colectores en Integración Arquitectónica	233
	• Cuadro 10: Colectores en Integración Arquitectónica	234
	• Cuadro 11: Colectores en Integración Arquitectónica	235
	• Cuadro 12: Colectores en Integración Arquitectónica	236
	• Cuadro 13: Colectores en Integración Arquitectónica	237
	• Cuadro 14: Colectores en Integración Arquitectónica	238
	• Cuadro 15: Colectores en Integración Arquitectónica	239
	• Cuadro 16: Colectores en Integración Arquitectónica	240
	• Cuadro 17: Colectores en Integración Arquitectónica	241
	• Cuadro 18: Colectores en Integración Arquitectónica	242
	• Cuadro 19: Colectores en Integración Arquitectónica	243
	• Cuadro 20: Colectores en Integración Arquitectónica	244
	• Cuadro 21: Parámetros geométricos por modelo y techumbre	245
	• Cuadro 22: Rendimientos de combinaciones tecnológicas integradas en Modelo de Alto Desempeño C	246
	ARTÍCULO I: DISEÑO ARQUITECTÓNICO INTEGRADO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS EN TECHUMBRES DE VIVIENDAS	247
	ARTÍCULO II: ROOF CHARACTERISTICS OF INTEGRATED SOLAR COLLECTION IN DWELLINGS OF REAL- ESTATE DEVELOPMENTS IN CONCEPCION, CHILE	269
	ARTÍCULO III: INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE TECHUMBRES DE VIVIENDA UNIFAMILIAR PARA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR ACTIVA (BIPVT A).....	283

ARTÍCULO IV: ASSESMENT OF INTEGRATED PERFORMANCE AND ROOF GEOMETRY FOR SOLAR ENERGY	305
--	-----

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 : Vivienda repetitiva en emprendimientos de casas en Chihuahua, México (TrendConsultores 2008); Desarrollo Urbanístico en Bahía Blanca, Argentina (Pro.Cre.Ar 2015); Conjunto Altos de la Moya I, Quito, Ecuador (ConstruccionesRPM 2013).

Figura 2 : Barrios de emprendimientos inmobiliarios de casas repetitivas de Lomas de Mirasur, Temuco, Chile; Derrimut, Melbourne, Australia; Theresa de Brainville, Montreal, Canadá (Google Maps, 2015).

Figura 2. 1: Energía solar que alcanza la tierra en un año frente a reservas probadas de fuentes fósiles y frente a demanda anual (Munari 2009).

Figura 2. 2: Esquema de captación activa y pasiva en edificación (El Autor).

Figura 2.3: Afiche de calentadores ST de empresas americana “Climax” española “Agua Solar”, propagandas de finales del siglo XIX y de los años 30’s (Lorenzo 2004).

Figura 2. 4a: Carleslie House en Massachusetts (1980) Fuente: (Solar Design Associates 2015). Figura 2. 4b: Impact 2000 House (1983) Fuente: (Alamy 2015)

Figura 2. 5 : Progresión de eficiencias PV en tiempo en distintas tecnologías (NREL 2015).

Figuras 2. 6 : Imagen de los tipos de células más habituales de sílice: Monocristalinas, Policristalinas. y Sílice Amorfo (o lámina delgada) (Reddi Jarayama 2009).

Figuras 2.7: Ciclo de vida de células cristalinas a partir de sílice. Fuente (SolarWorld Inc. 2013).

Figura 2. 8: Suciedad previsible en placas PV privadas de lluvia en Concepción (El autor).

Figura 2. 9: Sistemas y servicios de Limpieza PV Fuente: (Nikkei Business Publications 2015; Nanocleansolar 2015).

Figura 2. 10: Interrelación de abastecimiento solar frente a demandas en edificaciones. (IEA y SHC 2014).

Figura 2. 11: Colectores Solares con aspecto típico (ICAX 2007) y colectores integrados reemplazando parte de un faldón y distinta cromática y textura (Wienerberger 2015).

Figuras 2. 12: Imagen de Placas PV acondicionadas para ser integradas en placa ondulada de techumbre sobre ductos de aire internos para refrigeración (Fuente: Sitav Engineering 2011).

Figura 2. 13: Captadores Térmicos colocados en vivienda en Chile. Fuente: Comercializadoras e instaladores de sistemas térmicos solares de Chile (Fuente: Acesol.cl).

Figura 2. 14: Colectores solares térmicos y fotovoltaicos integrados a la arquitectura (Fuente: IEA,2012).

Figura 2. 15: Esquemas de colectores colocados en edificación, superpuestos en edificación e integrados arquitectónicamente en edificación (El Autor).

Figura 2. 16: Posibilidades de componente envolvente que pueden desempeñar colectores solares en edificación (El Autor).

Figuras 2 . 17: Volúmenes edificados con distinta proporción horizontal-vertical. En rojo intenso las superficies con mayor área potencial de captación solar integrada. (El Autor).

Figura 3. 1 : Tipología de Vivienda predominante en Concepción en emprendimientos inmobiliarios recientes: Antilhue, Lomas de Bellavista, Valle Noble y Torreones (Fuente: Portalinmobiliario).

Figura 3. 2 : Demandas eléctricas mensuales en viviendas unifamiliares y curva promedio (kWh / mes) (El Autor).

Figura 3. 3 : Comparación de demanda característica mensual residencial de invierno, verano e interestacional (Fuente: El Autor).

Figura 3. 4 : Comparación de demanda residencial horaria en días característicos de invierno, verano e interestacional. (Fuente: El Autor).

Figura 3. 5 : Proyectos para generación de ERNC en funcionamiento, construcción aprobación y bajo evaluación para Chile (Fuente: Centro de Energías Renovables 2014).

Figura 3. 6 : Irradiación disponible para distintas tipologías constructivas y tipos de superficie de posible captación (García et al. 2014).

Figura 4. 1: Plantas de techumbre y vista exterior de modelos A y B (El Autor).

Figura 4. 2 : Esquema de recolección híbrida BIPVTa (El Autor).

Figura 4. 3 : Determinaciones paramétricas climáticas y funcionales en Ecodesigner (El Autor).

Figura 4. 4 : Vista superior de algunos modelos estudiados (El Autor).

Figura 4.5 : Selección de Modelo C (El autor).

Figura 4.6 : Localización de conjunto de casas residencial donde se emplaza *Modelo C*. (El Autor).

Figura 4.7 : Mapa Conceptual Metodológico (El Autor).

Figura 5. 1 : Conjuntos determinados como crecimientos de ciudad desde 2006 extraídos de Google Earth. (El Autor).

Figura 5. 2 : Conjuntos residenciales de lo que se obtuvieron datos proyectuales y geometría de techumbre; en verde conjuntos de viviendas a los que se proyecta indicadores por afinidad aparente. (El Autor).

Figura 5. 3 : Universo de viviendas tipo “casa” respecto a estimado en conjuntos habitacionales y tamaño de muestra para determinación de geometría de techumbre (El Autor).

Figura 5.4 : Modelos de casas y unidades por modelo en emprendimientos analizados (El Autor).

Figura 5.5 : Recurrencia de número de alas de techumbre frente a superficie de tipología de vivienda y cantidad de viviendas por tipología (El Autor).

Figura 5.6 : Recurrencia de pendientes de techumbres (El Autor).

Figura 5. 7 a: Esquema de definición de AMD y SAMD. Figura 5. 7b: Tipologías de techumbres, determinación de AMD y cantidad de unidades por modelo (El Autor).

Figura 5.8 : Indicador Superficies AMD y SAMD frente a superficie construida (El Autor).

Figura 5.9 : Distribución de número de casas de universo construido a partir del 2006 en emprendimientos inmobiliarios masivo, como representación de grupos por orientaciones probables de ala de techumbre captadora (AMD y SAMD) (El Autor).

Figura 5. 10a y 5. 10b: Comparación de irradiación horaria disponible en indicadores promedio SAMD (derecha) y AMD (izquierda) frente a demanda residencial (El Autor) .

Figura 5. 11 : Modelo *A* y Modelo *B* entre los 33 modelos efectivamente levantados. (El Autor).

Figura 5. 12a y 5. 12b: Comparación horaria de irradiación frente a demanda en casos extremos para día promedio de Junio: La AMD de *Modelo A* y desviación baja de 19° y la SAMD inferior en *Modelo B* con alta desviación 50° (El Autor).

Figura 5.13a y 5.13b: Irradiancia recibida en AMD promedio y SAMD promedio durante día promedio de Junio, Diciembre y Septiembre, acorde a orientación e inclinación. (El Autor).

Figura 5. 14 : Curvas Promedio de demanda eléctrica y energética global frente a producción promedio por m^2 de superficie construida (El Autor).

Figura 5. 15 : Instalación de colectores híbridos BIPVTa por SolarWall de Canadá.(Solarwall 2015).

Figura 5. 16 : Comparación de producción promedio con colectores BIPVTa de energía térmica y eléctrica frente a demanda total eléctrica térmica de vivienda (El Autor).

Figuras 5.17a y 5.17b: Producción energética estimada en vivienda con mayor potencial productivo y bien orientada frente aquella con mínimo potencial e inferior orientación. (El Autor)

Figura 5. 18 : Comparación de producción-demanda con recolección BIPVTa en techumbre con máximo y mínimo potencial en AMD y SAMD en días promedio de invierno, verano e interestacional. (El Autor).

Figuras 5.19a y 5.19b: Plantas de Techumbre de modelos *A* (integración en AMD) y *B* (integración en SAMD) con integración de colectores PV solamente (El Autor).

Figura 5.20a, 5.20b y 5.20c: Demanda frente a producción PV eléctrica en *Modelo A* con captación AMD en días promedio de Junio, Septiembre y Diciembre (El Autor).

Figuras 5. 21a, 5. 21b y 5. 21c: Comparación horaria de demanda energética total y eléctrica frente a producción PV eléctrica en *Modelo B* con desviación respecto a norte solar de 0° , 17° y 50° (El Autor).

Figuras 5. 22a y 5. 22b: Plantas de Techumbre de modelos *A* (AMD) y *B* (SAMD) y adaptabilidad de colectores BIPV y BISTw (El Autor).

Figuras 5. 23a, 5. 23b y 5. 23c: Demanda horaria eléctrica y energética total frente a producción PV y STw conjunta, con captación AMD en *Modelo A*, para Junio, Septiembre y Diciembre (El Autor).

Figura 5. 24a, 5. 24b y 5. 24c: Demanda energética total y solamente eléctrica frente a producción PV y Térmica conjunta con captación SAMD en *Modelo B*, en Junio, Diciembre y Septiembre (El Autor).

Figuras 5,25a y 5.25b: Plantas de Techumbre de modelos *A* (AMD máximo) y *B* (SAMD mínimo) y adaptabilidad de colectores PVT (Híbridos Térmicos-Eléctricos) complementados con colectores PV (El Autor).

Figuras 5. 26a, 5. 26b y 5. 26c: Demanda energética y abastecimiento térmico-eléctrico con instalación PVT + PV integradas en AMD en *Modelo A*, en día promedio de Junio, Diciembre y Septiembre (El Autor).

Figuras 5. 27a, 5. 27b y 5. 27c: Abastecimiento térmico-eléctrico con instalación BIPVT más BIPV integradas en SAMD en *Modelo B*, en meses extremos e interestacional (El Autor).

Figuras 5.28a y 5.28b: Plantas de techumbre de modelos *A* (AMD máximo) y *B* (SAMD mínimo) y adaptabilidad de colectores híbridos Térmicos-Fotovoltaicos BIPVTw (El Autor).

Figuras 5. 29a, 5. 29b y 5. 29c: Demanda frente a abastecimiento térmico-eléctrico con instalación de solamente placas Híbridas Térmicas-Fotovoltaicas PVT integradas en AMD de *Modelo A*, en meses de Junio, Septiembre y Diciembre (El Autor).

Figuras 5. 30a, 5. 30b y 5. 30c: Comparación horaria de demanda energética total y abastecimiento térmico-eléctrico con tecnología híbrida BIPVTw integradas en AMD de *Modelo B* en Diciembre, Septiembre y Junio (El Autor).

Figuras 5.31a y 5.31b: Abastecimiento eléctrico (5.31a) y (5.31b) térmico en modelos *A* y *B* acorde a tecnologías desplegadas en techumbres (El Autor).

Figura 5. 32 : Comparación de producción en exergía bajo distintas disposiciones de captadores analizados (El Autor).

Figura 5.33 : Porcentaje de demanda cubierta por energía solar activa, de acuerdo a tipo de tecnología integrada (El Autor).

Figura 5. 34 : Determinaciones de materiales constructivos y aislamiento en Ecodesigner® (El Autor).

Figura 5. 35 : Resultados de demanda energética para calefacción acorde a orientación (El Autor).

Figura 5.36: Comparación desempeño de colectores dispuestos verticalmente respecto a colocados prácticamente horizontal (El autor).

Figura 5. 37 : Distintas variaciones visuales generadas conjuntamente con simulaciones energéticas (El Autor).

Figura 5. 38 : Producción acorde a variación en pendiente y cantidad de colectores (El Autor).

Figura 5.39 : Desempeño acorde a número de captadores (El Autor).

Figura 5. 40 : Gasto en energía de uso doméstico anual dependiente de número de colectores y orientación (El Autor).

Figura 5. 41 : Planta, fotografía y detalle de techumbre de vivienda MINVU de referencia de la zona Centro-Sur de Chile (MINVU 2012). Sistema en Archicad con sistema Combi (El Autor).

Figura 5. 42 : Vistas interiores de integración arquitectónica de colectores con lucernario (El Autor).

Figura 5. 43 : Detalle en Archicad® integrado Combi System para captación de energía solar adaptado en vivienda de la zona Centro-Sur de Chile (El Autor).

Figura 5. 44 : Conjunto de viviendas con sistema de colectores dimensionados e integrados en Archicad y Ecodesigner® (El Autor).

Figura 6. 1 : Modelo C en su configuración original, plantas y 3D (El Autor).

Figura 6.2 : Vivienda Modelo C modificada (El Autor).

Figura 6. 3: Despliegue de colectores PV en faldones de modelo propuesta (El Autor).

Figura 6. 4: Despliegue de colectores PV en faldones de modelo propuesta (El Autor).

Figura 6.5: Demanda energética y provisión eléctrica PV en Modelo C acorde a distintas orientaciones (El Autor).

Figura 6. 6: Demanda-Provisión térmica y eléctrica con tecnología híbrida BIPVTa en probeta de Modelo C (El Autor).

Figura 6. 7: Instalación de tecnologías BIPV + BISTw en probeta de Modelo C (El Autor).

Figura 6. 8: Comparación Producción demanda instalación BIPV+BISTw (El Autor).

Figura 6. 9 : Instalación de tecnologías híbridas conjuntas BIPVTa más BIPVTw complementado con BIPV en Modelo C (El Autor).

Figura 6. 10: Comparación de producción y demanda de instalación conjunta de tecnologías BIPVTa + BIPVTw más BIPV (El Autor).

Figura 6. 11: Comparación de proporción de demanda satisfecha con distintas conminaciones de tecnologías integradas en Modelo C, representado en días característicos estacionales (El Autor).

LISTA DE TABLAS.

Tabla 2. 1 : Comparación entre colectores BIST y BIPV formalmente y por capacidad térmicas (IEA SHC Task 41 2012b).

Tabla 2. 2 : Tecnologías de colectores para integración arquitectónica y demandas a las que responden (El Autor).

Tabla 2. 3 : Comparación de eficiencia térmica-eléctrica de distintos colectores híbridos PVTa (Hachem 2012; Ito y Miura 1993; Tripanagnostopoulos et al. 2002; Nagano et al. 2003; Agrawal y Tiwari 2010; Solanki, Dubey y Tiwari 2009; Haurant, Ménéz y Dupeyrat 2014).

Tabla 2.4 : Comparación de eficiencia de térmica-eléctrica de distintos colectores híbridos PVTw (Zondag 2008; Tonui y Tripanagnostopoulos 2007; Cristofari, Notton y Canaletti 2009; Lazarov et al. 2005; Tripanagnostopoulos et al. 2002).

Tabla 3. 1 : Comparaciones de simulaciones de viviendas de investigaciones previas de demandas para calefacción frente a resultados de Ecodesigner (El Autor).

Tabla 5. 1 : Proporción de viviendas con ala mayor encarando al norte en el emprendimiento Valle Noble (El Autor).

Tabla 5. 2 : Incidencia de radiaciones en inclinaciones más representativas de viviendas de conjuntos habitacionales, acorde a distintas orientaciones (El Autor).

Tabla 5.3 : Irradiación recibida y posible generación eléctrica en conjunto de viviendas de emprendimientos unifamiliares (El Autor).

Tabla 5. 4: Relaciones de Geometría de vivienda, techumbre y abastecimiento (El Autor).

Tabla 5. 5 : Comparación entre geometría de vivienda, de techumbre y capacidad de integrar placas solares y consecuente margen de abastecimiento (El Autor).

Tabla 5. 6 : Producción, demandas, márgenes de abastecimiento en energía y exergía acorde a distintas tecnologías integradas en Modelos A y B (El Autor).

Tabla 5.7 : Determinaciones de materiales constructivos y aislamiento en Ecodesigner® (El Autor).

Tabla 5. 8 : Resultados de consumo y producción energética acorde a modelos paramétricos (El Autor).

Tabla 5.9 : Requerimiento energético en modelo de análisis energético respecto a modelo de vivienda con Combi System desarrollado completamente (El Autor).

Tabla 6. 1 : Producción versus demandas, márgenes de abastecimiento en energía y exergía acorde a distintas tecnologías integradas en modelos *A* y *B* (El Autor).

Tabla 6. 2 : Especificaciones constructivas y valores de transmitancia aproximados de *Modelo C* original (El Autor).

Tabla 6. 3 : Especificaciones Constructivas y Valores de Transmitancia de la Vivienda con medidas de eficiencia pasiva (aislamiento en toda la envolvente) (El Autor).

Tabla 6.4 : Estimación de costos de adopción de medidas de aislamientos en envolvente (El Autor).

NOMENCLATURAS

Abreviaciones y Acrónimos

ACS	Agua Caliente Sanitaria.
ACH	Recambios de Aire (Air CHange).
AMD	Ala o faldón de techumbre con superficie de Mayor Dimensión por vivienda.
APS	Sistemas Avanzados Fotovoltaicos (Advanced Photovoltaics Systems).
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingeniería en calefacción y refrigeración.
BIM	Software de Modelado de Edificación (Building Information Modeling).
BIPV	Colectores Fotovoltaicos Integrados Arquitectónicamente (Building Integrated Photovoltaics).
BIPVT	Colectores híbridos Fotovoltaicos-Térmicos (Building Integrated Photovoltaic & Thermal hybrid collectors).
BIPVT _a	Colectores híbridos Fotovoltaicos-Térmicos con fluido aire (Building Integrated Photovoltaic & Thermal hybrid collectors air type).
BIPVT _w	Colectores híbridos Fotovoltaicos-Térmicos con fluido líquido (Building Integrated Photovoltaic & Thermal hybrid collectors liquid type).
BIST	Colectores Térmicos Integrados Arquitectónicamente (Building Integrated Solar Thermal Collectors).
BIST _a	Colectores Solares Térmicos Integrados Arquitectónicamente con fluido Aire (Building Integrated Solar Thermal Collectors air type).
BIST _w	Colectores Solares Térmicos Integrados Arquitectónicamente con fluido Líquido (Building Integrated Solar Thermal Collectors Liquid type).
CASEN	Encuesta de Caracterización Socio-Económica Nacional de Chile.
CDT	Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara de la Construcción de Chile.
CNE	Comisión Nacional de la Energía de Chile.
CO ₂	Dióxido de Carbono.
COP	Coficiente de desempeño de un dispositivo que relaciona energía útil frente a energía invertida (Coefficient of Performance).
CON*FIN	Proyecto de Investigación Akademy Conycit ERNC 007 Concepción-Finlandia.
DOE	Departamento de Energía de los Estados Unidos (Department Of Energy).
EDP	Etapas Tempranas de Diseño (Early Design Phase).

EPFL	Escuela Politécnica Federal de Lovaina (Ecole Polytechnique Federale de Lavaunne).
ER	Energías Renovables.
EREC	Consejo Europeo de Energía Renovable (European Renewable Energy Council).
ERNC	Energías Renovables No Convencionales.
IEA	Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency).
IFC	Lenguaje de exportación de modelos tridimensionales. (Industry Foundation Classes).
INE	Instituto Nacional de Estadística.
IOS	Sistema Operativo Apple
IWEC	Archivo climático para simulación ambiental (International Weather for Energy Calculation)
MINENERGIA	Ministerio de Energía de Chile.
MINVU	MINisterio de Vivienda y Urbanismo de Chile.
MIT	Instituto de Energía de Massachussets (Massachusets Institute of Technology).
NREL	Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos (National Renewable Energy Laboratory).
NZE	Vivienda con demanda energética próxima a cero en balance anual (Net-ZEro Energy House)
OMM	Organización Meteorológica Mundial.
PC	Computadores con Sistema Operativo Windows (Personal Computer).
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
PRIEN	PRograma de Investigaciones en ENergía de Chile.
PV	Fotovoltaico (PhotoVoltaic).
PVT	Colectores Híbridos Térmicos-Fotovoltaicos (Photovoltaic-Thermal Hybrid Collectors).
PVT	Colectores Híbridos Térmicos Fotovoltaicos con Fluido Líquido.
SAMD	Segunda Ala o faldón de techumbre de Mayor Dimensión superficie por vivienda.
SHC	Programa de Calefacción y Refrigeración Solar de la Agencia Internacional de la Energía (Solar Heating & Cooling Program).
SIC	Sistema Interconectado Central.
SING	Sistema Interconectado Norte Grande.
ST	Recolección solar activa térmica.
STa	Colectores Solares Térmicos con Fluido Aire.
STw	Recolección Solar Térmica con Fluido Líquido.
TMY	Archivo climático para simulación ambiental Año Meteorológico Típico (Typical Meteorological Year).
UF	Unidad financiera reajutable con la inflación y poder adquisitivo en Chile (Unidades de Fomento).

USD	Dólares de los Estados Unidos de Norteamérica (Unites States Dollars).
WYEC2	Archivo climático para simulación Clima Anual para Cálculo Energético.(Weather Year For Energy Calculations).

Unidades

°C	Temperatura en Grados Centígrados o Grados Celsius.
GWh	Unidad de energía expresada en potencia-tiempo Gigavatio por hora.
GWp	Unidad de potencia instantáneo en Gigavatios.
g	Unidad de medida de masa (gramo)
Kg	Unidad de medida de masa (Kilogramo)
Kg/m ²	Unidad de presión (Kilogramos por metro cuadrado).
Kg/(m ³)	Unidad de medida de densidad de los materiales (Kilogramos por metro cúbico)
Kj/(hmK)	Unidad de capacidad conductiva de los materiales (Kilojoule por hora-metro lineal-Kelvin).
Kj/(Kgk)	Unidad de Calor Específico de los Materiales (Kilojoule por Kilogramos-Grados Kelvin).
KWh	Unidad de medida de energía expresada en unidades de potencia por tiempo (Kilovatios por Hora).
KWh / año	Unidad de consumo o producción de energía en Kilovatios-hora y período anual.
KWh / m ²	Unidad de demanda energética por unidad de superficie habitada (Kilovatios hora por metro cuadrado).
KWp	Kilovatio de potencia instantánea.
lt	Unidad de volumen (litro).
m ²	Unidad de superficie en metros cuadrados.
m ³	Unidad de volumen (metros cúbicos).
TWh	Unidad de medida de energía expresada en unidades de potencia por tiempo (TeraVatios por hora).
Wh/Km ³	Vatios por hora sobre grados Kelvin por metro cúbico (Unidad de Calor Específico de los materiales).
Wm ⁻² K ⁻¹	(Vatios sobre metro cuadrado Kelvin) Coeficiente de Transferencia de Calor.

Símbolos

A	Área de captadores (m ²).
A _c	Área de recolección solar (m ²).
a _o	Coeficiente de pérdida térmica por la envolvente [Wm ⁻² K ⁻¹].
c	Calor específico del agua.

f	Factor que denota la proporción de energía térmica útil respecto a la energía solar recolectada, en un sistema solar térmico.
F_{d_i}	Factor modificador de la radiación incidente a una superficie inclinada para el mes i .
$\frac{F'_R}{F_R}$	Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador en colector solar térmico. Se recomienda tomar el valor de 0,95.
$F_R \cdot U_L$	Pendiente de la curva característica del colector .
\bar{H}_t	Irradiación solar incidente mensual sobre superficie de recolección solar .
K_1	Factor de corrección por almacenamiento.
K_2	Factor de corrección entre la temperatura del aire mínima del ACS y temperatura de la red pública.
OPS	Orientación del Plano Solar.
PS	Pérdidas por Sombra [%].
Q_e	Producción energética eléctrica.
Q_u	Producción energética térmica.
R_{Gm}	Radiación solar global sobre superficie horizontal media mensual para el mes i en [kWh/m ²].
R_{Gm_inc-i}	Radiación solar global media mensual sobre superficie inclinada del mes i en [kWh/m ²].
U	Valor o coeficiente que mide la transmitancia térmica de un material.
t_a	Temperatura del aire promedio mensual (° C).
t_{ac}	Temperatura específica del agua.
t_{red}	Temperatura de agua en la red.
V	Volumen de agua de almacenamiento (lt).
V	Consumo promedio de agua caliente diaria.
Y	Relación entre energía solar absorbida por un colector frente a la demanda térmica en término mensual.

Símbolos Griegos

$\otimes t$	Variación en tiempo (segundos).
$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$	Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen la curva característica del captador.
η_e	Eficiencia Eléctrica de un módulo fotovoltaico.

η_t

Eficiencia Térmica de colector solar térmico.

$\frac{\overline{(\tau \cdot \alpha)}}{(\tau \cdot \alpha)_n}$

Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante.

“Debido a la disponibilidad de carbón y su conversión a energía mecánica vivimos un tiempo maravilloso...hemos hallado bajo la tierra reservas de carbón que en la naturaleza se han formado de plantas y árboles y depositado durante un período tan largo que los tiempos históricos, en comparación, parecen minúsculos. Las gastamos ahora y nos comportamos exactamente como herederos felices que consumen un rico patrimonio... se usa como si fuera inagotable. Los trenes, los barcos de vapor y las fábricas con máquinas de vapor usan una cantidad de carbón tan sorprendente que, mirando al futuro, no es algo caprichoso preguntarse que ocurrirá cuando los yacimientos de carbón queden agotados...” en 1885 por Rudolf Clausius

(Vázquez Espí 1999)

INTRODUCCIÓN

El cambio climático y el calentamiento global son realidades que implican un importante desafío mundial. Varios países y comunidades de naciones, en especial aquellos con alto índice de desarrollo, van paulatinamente emitiendo y rigidizando normas para alcanzar metas de reducción de emanaciones de forma agresiva. Así en el sector de la edificación son más recurrentes los requerimientos conducentes a limitar el consumo energético por m² edificado, al extremo de exigirse por parte del Parlamento Europeo, edificaciones con demanda energética nula en su balance de consumo anual en plazos cercanos como el año 2020 (*Edificios Net Zero*) (Kylili y Fokaides 2015). Contrariamente en los países en vías de desarrollo y en Chile concretamente, se prevé existirá un incremento sustancial de los niveles de consumo energético y con ello de emanaciones (IEA 2009). En los últimos años ha existido un sostenido crecimiento económico y con ello un importante desarrollo inmobiliario como consecuencia de la mejora del nivel de vida. El aumento de unidades residenciales implica un mayor consumo de energía, en buena medida importada, con precios elevados que han afectado directamente a la economía ciudadana. Los usuarios cada vez mejoran los niveles de confort; está comprobado que el incremento en el poder adquisitivo va acompañado con exigencias energéticas más altas. Por ello es necesario reducir las demandas rigidizando las normativas constructivas e impulsar aún más las alternativas energéticas renovables. Como alternativa las tecnologías de recolección solar activa están en constante evolución, mejorando rendimientos y con una paulatina reducción de costos.

Las viviendas de conjuntos de casas repetitivas de la región de Concepción muestran unidades con similitudes tipológicas y constructivas sustanciales (Celis et al. 2012; Escorcía et al. 2012): Los modelos existentes poseen configuraciones típicas, se caracterizan por ser habitadas por clase media, media baja y media alta, lo cual implica algunas particularidades, como presencia de dos plantas, ser aisladas (o pareadas sólo en planta baja) y con dimensiones superiores a la encasillada como vivienda social. Esta situación y tipología también es observable en otras ciudades del país, sobre todo en aquellas de dimensión intermedia, zonas urbanas que poseen condiciones constructivas y geométricas que responden a particularidades climáticas similares como Temuco, Chillán, Los Ángeles y Puerto Montt, entre otras. Además, con variaciones constructivas, tipológicas y con menos recurrencia en cuanto a techumbres inclinadas, también se encuentran conjuntos repetitivos en las zonas periféricas de Santiago y ciudades del norte del país. En comunas más pequeñas o con menores ingresos existen en mayor número emprendimientos de vivienda social que poseen particularidades al tratarse de modelos pequeños, pareados en su altura completa o de una planta; aunque son unidades repetitivas de todos modos.

En cuanto a representatividad global de la tipología, en Latinoamérica se observa un importante crecimiento de sus ciudades debido a la concentración de nuevos habitantes por fenómenos como migración desde el campo, incremento poblacional y/o crecimiento económico y consecuente demanda residencial. Ello promueve el surgimiento de

emprendimientos de vivienda de todo tipo, incluyendo conjuntos de casas repetitivas de distintas variedades y tamaños para clase media y media alta, muchas veces en condominio cerrado (*Fig. 1*). También la vivienda repetitiva es aún más importante en conjuntos de interés social (Pradilla 2014). No obstante es notorio que las características formales de otras regiones y latitudes son distintas a los conjuntos de casas de Chile y del sur de este país por las distintas condiciones climáticas, diferencias de material disponible, con presencia de techumbres planas o con techos con menor pendiente, a veces de más de dos pisos, en las que además contrariamente predominan acaso las demandas de refrigeración. Otros países y regiones muestran también menor incidencia de la madera en la construcción. Sin embargo Chile se destaca en Latinoamérica por el crecimiento económico, como consecuencia el país muestra un desarrollo sustancial de viviendas repetitivas para clase media.

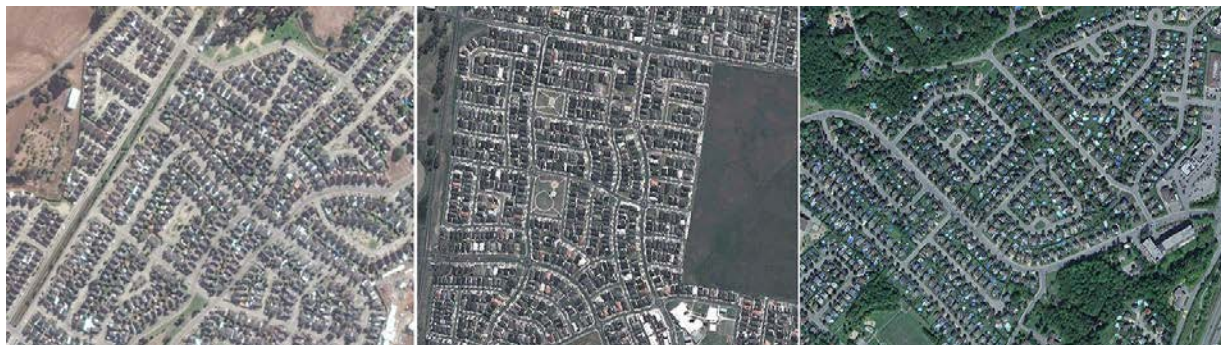
Figura 1: Vivienda repetitiva en emprendimientos de casas en Chihuahua, México (TrendConsultores 2008); Desarrollo Urbanístico en Bahía Blanca, Argentina (Pro.Cre.Ar 2015); Conjunto Altos de la Moya I, Quito, Ecuador (ConstruccionesRPM 2013)



En otros continentes y regiones del hemisferio norte, en zonas con características climáticas estacionales, se observan conjuntos repetitivos, los cuales debido a condiciones climáticas próximas al sur de Chile, poseen también una pronunciada incidencia de techumbres inclinadas, determinadas por el clima frío-lluvioso. Otras regiones desarrolladas del mundo poseen mejores ingresos como sociedad, situación que conlleva a que las casas de conjuntos inmobiliarios tengan óptimas características constructivas pero no muestran superioridad importante en superficie por el elevado costo. Como muestra se han detectado conjuntos de casas unifamiliares en Melbourne, Australia o Montreal, Canadá (Department of transport and Planning. 2008; Hachem 2012), en los cuales, según fotografías aéreas de barrios, llama la atención la similitud de textura, como consecuencia del cromatismo uniforme de las techumbres, igualdad formal y reiteración de formas. Al comparar barrios de emprendimientos de Chile, Australia y de Canadá es notoria la similitud (*Fig. 2*). En los Estados Unidos también se observan modelos repetitivos, pues la industrialización y repetición muestran ventajas de rapidez en construcción y costos (Haughey 2005). Inclusive en Europa se encuentran viviendas de estas características; por ejemplo en Alemania, en donde se ofertan viviendas repetitivas en catálogos de distintas constructoras, como es el caso de las Casas Masivas (Massivhaus 2015); no obstante en este continente es menos habitual la tipología “casa unifamiliar nueva” por tratarse de

países que tienen resuelta la habitabilidad en gran medida sumado al reducido crecimiento poblacional. Además, la escasez de suelo promueve el desarrollo de vivienda en altura y en bloque. Por las condiciones climáticas europeas, existe la adecuada tendencia para el uso de techumbres inclinadas, con pendientes pronunciadas por la alta pluviosidad, ello promueve la habitabilidad de las “mansardas” como estrategia de aprovechamiento espacial, situación tipológica similar a la tipología chilena.

Figura 2: Barrios de emprendimientos inmobiliarios de casas repetitivas de Lomas de Mirasur, Temuco, Chile; Derrimut, Melbourne, Australia; Theresa de Brainville, Montreal, Canadá (Google Maps, 2015)



En cuanto a demanda energética, las casas de emprendimientos unifamiliares muestran necesidades variables a pesar de ser modelos iguales en una misma locación, resultado de particularidades como el número de habitantes, estrato social, costumbres y otros. En el centro-sur y sur de Chile son habituales los sistemas de alimentación energética típicamente desde biomasa para calefacción, gas para ACS, aunque en algunos casos también se utiliza electricidad para suplir demandas térmicas, alternativa menos usual por el alto costo. Estos sistemas de alimentación energética constituyen un gasto considerable, lo que conlleva muchas veces a permanecer fuera de los rangos mínimos de confort o con resultados altamente contaminantes. La normativa vigente exige aislamientos en muros y en cielos hacia el exterior; no obstante es insuficiente, por ello es habitual el incremento en adopción de medidas complementarias como aislamientos en ventanas con vidrio cámara y aislamiento bajo radier de piso, control de infiltraciones, utilización de ambientación con alto rendimiento, etc. En cuanto a integración de energías renovables se ha fomentado la inclusión de Colectores Solares Térmicos con fluido líquido (STw) en el ámbito residencial, como consecuencia del subsidio gubernamental que tienen estas instalaciones; sin embargo son sistemas normalmente mínimos que cubren una limitada proporción respecto de la demanda global, usualmente se instalan de manera sobrepuesta, deteriorando la arquitectura. Pero ha sido suficiente para dejar expuesto que estas tecnologías plantean una oportunidad para mejorar la habitabilidad y reducir emanaciones, aunque también es un reto para la construcción, se evidencia la necesidad de incorporar este tipo de instalaciones de manera coherente con la construcción, respondiendo a las demandas y al aspecto arquitectónico resultante.

Se viene estudiando las posibilidades de integración arquitectónica de colectores solares desde el siglo pasado en el ámbito internacional, como las propuestas del Instituto de Energía Solar y su Programa de Calefacción y Refrigeración Solar (IEA SHC Task 26 2000; IEA Solar Heating & Cooling Program Task16 1995). Pero enfáticamente y como posibilidad real de desarrollarse masiva y cotidianamente sólo desde el año 2010 (IEA SHC Task 41 2012a; Munari 2009; Wall et al. 2012; Buker y Riffat 2015), cuando se profundiza en aspectos técnicos arquitectónicos, de herramientas y de factibilidad para implementar colectores solares en la edificación cotidiana y con consideraciones arquitectónicas. Se plantea la demanda y está en proceso el desarrollo de equipos de recolección solar que se adapten en concordancia con la arquitectura y en techumbres inclinadas específicamente (IEA SHC Task 41 2012b).

Frente a estas posibilidades tecnológicas, en latitudes medias en la zona urbana de la comuna de Concepción se desarrolla el proyecto de investigación CON*FIN AKA-ERNC 007, desarrollado en colaboración entre la Universidades del Bío-Bío, Universidad de Concepción y Aalto University de Finlandia, que trata de la “Evaluación del potencial de energía solar en áreas urbanas”, siendo esta tesis parte de este proyecto, estudiando el caso de viviendas unifamiliares. El ámbito de estudio es el centro urbano de mayor importancia en la zona centro-sur de Chile, se trata de una ciudad en expansión, con condiciones climáticas propias, pero la falta de adopción de medidas de eficiencia energética la conducen a niveles de confort deficitarios y demandas energéticas considerables, sobre todo para calefacción, son condiciones que también afectan a otras ciudades latinoamericanas australes. Frente a ello se han realizado diversos análisis que han medido las demandas existentes, las implicaciones de diseño, medidas pasivas adecuadas, etc. (Celis et al. 2012; Citec UBB y Decon UC 2012; Fissore 2009; García Álvaro y González 2014). Sin embargo las alternativas de inclusión de estrategias de energías renovables son opciones consideradas solo recientemente en Chile. La zona de estudio presenta niveles importantes de irradiación que sugieren que las demandas residenciales pueden ser cubiertas en gran medida por tecnologías de captación solar activa.

1. Capítulo I. PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Problema-Oportunidad

Las viviendas unifamiliares de emprendimientos inmobiliarias poseen gran relevancia en sociedades con crecimiento económico y mejora progresiva del nivel de vida y de habitabilidad; en ellas ya se aloja gran parte el crecimiento de la población y sobre todo de expansión de las ciudades (Henríquez 2014). La tipología volumétrica habitual en Concepción es la techumbre inclinada, la cual responde adecuadamente a agentes climáticos, estructurales, materiales; es una configuración frecuente para zonas lluviosas. Se trata de una tipología que sugiere mayor potencial para ser soporte de la producción solar activa integrada arquitectónicamente en el medio (García et al. 2014). En este mismo orden, las techumbres son las superficies más expuestas al sol en zonas meridionales y ecuatoriales, ello sugiere que son las superficies con mejor oportunidad de lograr producción energética desde tecnologías de recolección solar activa.

Sin embargo, la instalación de captadores solares en Chile se ha adoptado hasta ahora guardando poca o ninguna relación con la arquitectura. En el caso de viviendas unifamiliares, se acoplan los dispositivos sobre techumbres o terrazas, en el mejor de los casos superpuestos de forma paralela a la superficie envolvente o en lugares poco visibles, lo que mitiga el impacto visual (*Fig. 2.13*). Los teóricos Krippner & Herzog (2000) y Munari (2009), entre otros, definen que los dispositivos de captación solar activa en arquitectura deben ser dispuestos de forma intencionada, cumpliendo las funciones vitruvianas que cualquier elemento constitutivo de una obra arquitectónica debe cumplir. Es decir, deben responder a consideraciones funcionales, constructivas y estéticas (*utilitas, firmitas & venustas*) partido teórico ratificado en reunión de expertos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA SHC Task 41 2012a). No deben exponerse como inserciones forzadas, sino que deben tratarse más bien de implementos complementarios lógicamente dispuestos e intencionados y con tecnologías en concordancia con las demandas (Wall et al. 2012).

Frente a los señalamientos expuestos, la posibilidad de integrar captadores en la geometría de techumbres inclinadas requiere conocer concretamente las cualidades de las alas de techumbre y sus características geométricas y con ello el diseño de las mismas. Según la forma, dimensión y orientación de las alas, corresponderá la mayor o inferior capacidad de obtener energía por cada vivienda. En estas facetas de la envolvente los colectores deben quedar integrados técnica y estéticamente, como en el pasado se adaptaron en las edificaciones otros elementos tecnológicos como baños, chimeneas, iluminación artificial, etc. Las formas de los faldones vienen dadas por el diseño arquitectónico en sí mismo y responde habitualmente al perfil planimétrico de la vivienda, en ocasiones para ocupación en mansarda y en tercera instancia por el diseño particular que el arquitecto imprime en la obra, en gran medida por consideraciones de proporción y aspecto. Además la integración de colectores solares en techos como terminado de recubrimiento debe implicar ahorro económico y constructivo en relación con casos de simple colocación o sobrepuestos, debe ser una capa captadora y de protección frente al ambiente exterior (Munari 2009).

La integración arquitectónica de colectores y la tecnología por implementarse deben estar en concordancia respecto de las demandas existentes y respondiendo a ellas directamente (Athienitis y O'Brien 2015; Hachem 2012; Munari 2009).

1.2 Planteamiento de Investigación

1.21 Preguntas de Investigación

Considerando la configuración de viviendas habituales típicas en Concepción, Chile, ciudad representativa de ciudades medias en expansión, teniendo en cuenta además las demandas probables domésticas y las conformaciones de techumbres, esta tesis se orienta a dilucidar: ¿Cuál es la contribución energética posible en magnitud individual y urbana, al incluir captación solar activa integrada en cubiertas? ¿Qué tecnología o tecnologías de recolección solar corresponden en mejor medida para satisfacer los requerimientos energéticos residenciales, logrando a su vez una máxima producción para contribuir a la red energética? ¿Qué configuraciones de vivienda y techumbre son las más adecuadas y cuáles son las implicaciones que derivan de la integración arquitectónica? ¿En qué medida la captación pasiva y medidas de eficiencia energética en las viviendas inmobiliarias contribuyen a incrementar el autoabastecimiento energético propio y entrega de excedentes a la red pública?

1.22 Hipótesis

Las viviendas de conjuntos inmobiliarios en Concepción están en capacidad de abastecer energéticamente demandas propias e incluso contribuir a las demandas de la red urbana en gran medida a cuantificarse. Identificando faldones de techumbre en vivienda con mejor aptitud, de acuerdo con las condiciones de superficie disponibles y orientación. La capacidad de abastecer demandas residenciales con excedentes eléctricos vienen dadas en mayor o menor magnitud al implementarse tecnologías BIST (Colectores Térmicos Integrados a Edificación), BIPV (Colectores Fotovoltaicos Integrados a Edificación) o BIPVT (Colectores híbridos Térmicos-Fotovoltaicos Integrados a Edificación), magnitud a ser establecida. Los faldones más extensos con formas específicas poseen mayor oportunidad de integrar placas con formato regular comercial ya que posibilitan una superior producción energética. Por último, la integración de medidas de eficiencia energética y captación pasiva, sumadas a una amplia recolección solar activa, incrementa sustancialmente la proporción de auto-aprovisionamiento, posibilitando la obtención de viviendas con rendimiento energético neutro o incluso positivo en balance anual (*Plus Energy Houses*).

1.2.3 Objetivos de la Tesis

1231 .1 Objetivo General

Determinar el potencial de recolección solar activa integrada en techumbres de viviendas en emprendimientos inmobiliarios desarrollados recientemente en Concepción. Para ello se descifra la capacidad tanto a escala de conjunto urbano así como en unidades individuales; definiéndose la influencia de la forma de distintos modelos de cubiertas y los consecuentes márgenes de producción y abastecimiento y a su vez estos con relación a las demandas estadísticamente factibles. A partir de los hallazgos y relaciones de los parámetros geométricos y tecnológicos descifrados, se plantea una alternativa de máxima producción en conjunción con adopción de medidas de eficiencia energética pasivas.

1232 .2 Objetivos Específicos

- I. Caracterizar el desarrollo residencial reciente y la representatividad del sujeto de estudio. Para ello se cuantifican las viviendas en emprendimientos inmobiliarios y así su significancia, precisándose condiciones formales conjuntamente con indicadores geométricos de techumbre y su relación proporcional ante indicadores generales de extensión de ciudad, de ocupación, de superficie construida, entre otros.
- II. Determinar la irradiación recibida en cubiertas, determinando sus posibilidades de aprovechamiento con tecnologías solares integradas y asociadas. Considerando como captador aquel faldón de techumbre con aptitud superior por tamaño y disposición solar. A partir de ello, dimensionar el abastecimiento posible con generación eléctrica y térmica en cantidad global en período mensual y anual. Comparar la producción térmico-eléctrica frente a las respectivas demandas de forma conjunta al aplicar tecnologías BIPV y BIPVTa (Colectores híbridos Térmicos-Fotovoltaicos con fluido aire).
- III. Determinar la implicancia de la forma de techos según modelos de viviendas, comparando la producción frente a demanda en modelos de casos puntuales, en período horario y días representativos promedio con alta, mínima e irradiación intermedia. A la vez, comparar la producción respecto a demanda al aplicar tecnologías BIPV, BISTw (Colectores térmico con fluido líquido integrados arquitectónicamente), BIPVTa, BIPVTw (Colectores híbridos Térmicos-Fotovoltaicos con fluido líquido integrados arquitectónicamente), encontrando las implicancias de implementar una u otra forma de techumbre y/o adoptar distintas tecnologías de forma individual o asociada.

- IV. Desarrollar un caso ejemplar con alto potencial, considerando la captación activa conjunta y congruentemente con estrategias de eficiencia pasiva y adecuado desempeño interior. Medir la producción posible buscando la máxima producción para contribuir a demandas externas. Establecer las posibilidades de integración arquitectónica en el diseño residencial vigente de los modelos estudiados mostrando un posible aspecto resultante por la inclusión de nuevas texturas. Prever resultados técnicos y visuales como punto inicial para posteriores desarrollos concretos a detalle, como partida para futuras validaciones.

1.24 Contribución

La novedad de esta investigación es establecer una comparación de producción solar activa frente a demanda energética residencial, al relacionar parámetros correspondientes a forma de techumbres, demandas energéticas y tecnologías disponibles en viviendas inmobiliarias. A partir de ello se plantea una alternativa para maximizar la producción no solamente para autoconsumo, sino además buscando excedentes como contribución a la red urbana en la mayor medida posible, integrando captación solar activa y pasiva conjuntamente.

Adicionalmente se ofrece un listado de más de cincuenta productos aptos para integración arquitectónica en techumbres inclinadas, con sus características técnico-constructivas disponibles en ofertas de mercado, como contribución y actualización del estado del arte de la recopilación realizada por Munari (2009) y la IEA (IEA SHC Task 41 2012a). Esta recopilación hace énfasis en productos para aplicación en techumbres inclinadas.

1.3 Ámbito

Esta tesis se enmarca en proyecto CON*FIN AKA-ERNC 007 “*Evaluación del potencial de energía solar en áreas urbanas*” el cual es desarrollado por los investigadores Dr. Rodrigo García Alvarado, Dra. Maureen Trebilcock, Dr. Sergio Baeriswyl, de la Universidad del Bío-Bío; Dr. Adelqui Fissore y Dr. Cristián Cuevas, de la Universidad de Concepción y el Prof. Peter Lund de Aalto University, Finlandia, además de la coordinación de la Dra. Paulina Wegertseder, técnicos, ayudantes y tesis de postgrado. Se realiza entre los años 2012 al 2015 con fondos de Conicyt, la Agencia Finlandesa de Ciencias y para esta tesis puntualmente existe el apoyo de la Secretaría Nacional de Educación Ciencia y Tecnología del Ecuador Senescyt. El proyecto matriz está destinado para desarrollar una metodología consistente y probada de evaluación del potencial solar urbano, considerando diversas tipologías de edificación en las ciudades de Concepción y de Helsinki. La presente tesis de Doctorado recibió un apoyo parcial por parte del proyecto, asumiendo el estudio solamente de viviendas unifamiliares procedentes de emprendimientos inmobiliarios desarrollados

desde el año 2007 en la comuna de Concepción, año desde el cual existen fotos satelitales publicadas que permiten dimensionar el crecimiento de sectores de la ciudad especialmente aquellos con alta ocupación espacial que corresponden a conjuntos de casas. Se utilizan datos de demandas y antecedentes del proyecto general, pero se elabora de manera independiente el análisis específico de las condiciones en residencias unifamiliares formulando una metodología para prever resultados de integrar arquitectónicamente energía solar en techumbres de las mencionadas casas, bajo la dirección del Dr. Rodrigo García Alvarado de la Universidad del Bío-Bío. El desarrollo de la tesis ha sido presentado en reuniones internas del grupo de investigación, ponencias nacionales e internacionales y artículos científicos publicados referentes al tema, los que se anexan a este documento de tesis. El análisis de la tipología residencial es un aspecto independiente que se desarrolla solamente en esta tesis. Por lo que el estudio de caso y metodología general y sub-metodologías propuestas constituyen desarrollos particulares.

El autor de este trabajo se ha desempeñado profesionalmente en el diseño y construcción de viviendas unifamiliares en Cuenca, Ecuador, una localidad con características singulares con una importante irradiación y con demandas térmicas importantes por ser una zona en altura andina. En consecuencia, para el autor de estas líneas ha sido un incentivo el participar y dimensionar estas tecnologías para un ámbito en el que tiene relevancia actual el aprovechamiento energético renovable y la posibilidad de integración de tecnológica en casas desde el punto de vista arquitectónico. La metodología implementada es extrapolable y adaptable en gran medida, al igual que la experiencia a un contexto diferente.

Concepción es una ciudad que está próxima a la costa del Pacífico, a 36,5 ° de Latitud Sur, posee un clima marítimo con variaciones de temperatura estacional y diaria. Es la comuna central de la principal área metropolitana del sur de Chile, con una población estimada en 230.729 habitantes (INE 2015). La temperatura anual promedio es de 12,4 ° C, clima que condiciona una alta demanda térmica. Al comparar estas condiciones frente a ciudades del sur de Europa que bordean el mediterráneo, por ejemplo, en ciudades emplazadas a similar distancia de la línea ecuatorial hacia el hemisferio Norte como Sevilla (Lat. 38 ° N) o Barcelona (Lat. 41 ° N), poseen temperatura promedio superiores (19,2 ° C y 16,1 ° C respectivamente) (AEMET 2015). Estos factores particulares de locación y clima resultan en demandas energéticas propias con distintos requerimientos para aprovechamiento solar, diferencias que limitan una transferencia directa de conocimiento de investigaciones de otros ámbitos, a pesar de coincidencia en latitud en diferentes hemisferios. Particularmente en el contexto de estudio existe un déficit en la calidad constructiva, lo cual implica demandas térmicas considerables, que deben tenerse en cuenta conjuntamente (Fissore 2009; Wegertseder et al. 2014; Celis et al. 2012). A pesar de encontrarse en vigencia la Reglamentación Térmica desde el año 2007, son exigencias insuficientes que no contemplan todos los aspectos que influyen en la ambientación de una edificación, a lo que se suma una inexistente fiscalización en sitio. Entonces, la exigencia energética actual

es alta y compleja para ser absorbida solamente por fuentes renovables e intermitentes. Recientemente se ha medido la posibilidad de alcanzar el estándar alemán Passivhaus, que estipula demandas máximas en el orden de 15 kWh / m² con la introducción agresiva de medidas de eficiencia pasivas y control de calidad, implementando estrategias de diseño, construcción y utilización de equipo con alta eficiencia y con bajo consumo (Hatt et al. 2012). Luego, estas demandas reducidas es factible que sean absorbidas con energías renovables.

1.4 Alcance

Esta investigación realiza un análisis a partir de datos existentes de la comuna y fotos satelitales de años recientes, tras lo cual se realiza un trabajo de levantamiento de datos estadísticos. Con los indicadores obtenidos se calculan producciones posibles de acuerdo con magnitudes probables establecidas en investigaciones internacionales, las que muestran rendimientos de las tecnologías solares a partir de irradiación disponible. Se han extrapolado estas capacidades al ámbito de Concepción y se emiten resultados de producción energética, los cuales son comparados con demandas simuladas y/o típicas en los modelos de vivienda. Sin embargo, hay que señalar que el rendimiento puede ser afectado por condiciones propias locales como diferencias de irradiación directa respecto de la irradiación difusa, condiciones de viento, temperatura de los fluidos en red o en ambiente o materiales propios de la construcción local. Por lo tanto, las estimaciones aquí mostradas son cuantificaciones genéricas consecuentes de parámetros adoptados estadísticos que deberían afinarse con desempeños de productos tecnológicos concretos. No obstante pueden afinarse en el futuro, aplicándose rendimientos de productos específicos, sometiéndose a condiciones de funcionalidad puntuales, situación que por extensión y complejidad van más allá de esta tesis por la infinidad de variaciones posibles. Sin embargo, este trabajo procura mostrar suposiciones fundamentadas cercanas a la realidad, que buscan promover el desarrollo de las tecnologías analizadas dentro del contexto, promoviendo una profundización investigativa a partir de los resultados de esta tesis. También se excluye aspectos de realidades económicas y barreras sociales, que deberían analizarse, resolverse y promoverse desde otras instancias socioeconómicas, que van más allá de la disciplina arquitectónica y tecnológica que son los aspectos concretos tratados en este estudio.

En virtud de los antecedentes descritos, esta tesis desarrolla los siguientes capítulos:

El presente *Capítulo I* reseña los antecedentes: La problemática, el contexto, las tecnologías y realidades externas que posibilitan brindar una respuesta al problema. Se describen las preguntas de investigación, hipótesis y objetivos de la tesis, además de la novedad, contribución y alcance de la investigación.

En el *Capítulo II* se revisa el estado del arte de las tecnologías de captación solar activa, sus antecedentes y capacidades de abastecimiento para edificaciones y residencias enfáticamente. Se describen aspectos teóricos de diseño y ventajas de integración arquitectónica de colectores solares.

En el *Capítulo III* se realiza una revisión y caracterización de la vivienda unifamiliar de emprendimientos inmobiliarios. Se describen sus aspectos generales más importantes, consideraciones formales, constructivas, de consumo energético y demandas características. Se define la importancia de la eficiencia energética en la tipología. Finalmente se enuncian las posibilidades tecnológicas de recolección solar activa con aptitud para integrarse arquitectónicamente en las techumbres y en correspondencia con los requerimientos energéticos.

En el *Capítulo IV* se describen los procesos y subprocesos metodológicos por emplearse para descifrar cada uno de los objetivos. Se enuncia el desarrollo operativo como, por ejemplo, el modo de cuantificar y cualificar el sujeto de estudio encontrando su representatividad. Se describen los estudios estadísticos empleados para encontrar los indicadores requeridos que permiten conocer las capacidades geométricas, condiciones promedio y selección de casos extremos. Luego se describe el modo de establecer las irradiaciones disponibles y posibilidades de producción, se enuncian las herramientas que permiten descifrar la energía solar aprovechable a partir de los indicadores previamente determinados. También se enuncia el método utilizado para descifrar las implicancias formales y de configuración de techumbres así como el modo de establecer un modelo con alto potencial de producción.

En el *Capítulo V* se efectúa el pre-dimensionamiento del potencial solar en viviendas en emprendimientos inmobiliarios recientes en su conjunto, entregando un estimado de producción energética de todas las casas en conjuntos inmobiliarios desarrollados en años recientes de forma estadística. Se describen los procesos de recolección de datos y obtención de indicadores, determinando condiciones promedio y casos extremos por potencial solar. Se estiman las dimensiones medias estadísticas de faldones con capacidad de recolección solar: AMD (Ala de Mayor Dimensión) y SAMD (Segunda Ala de Mayor Dimensión). Posteriormente se muestra una estimación de abastecimiento del conjunto total de viviendas tanto de irradiación colectable como también la obtención energética posible en AMD y SAMD en magnitud anual. La segunda parte muestra una estimación de integración de tecnologías fotovoltaicas, térmicas e híbridas además de posibilidades de asociaciones entre ellas, aplicándose en modelos extremos por potencial solar. Se analiza la implicancia de la geometría de techumbres frente a geometría de colectores y las situaciones extremas de acuerdo a alta o poca aptitud. Se entrega adicional y excepcionalmente un proceso para estimación de la posible integración de colectores térmicos en vivienda social, modelo avalado por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile para ser subsidiada, para suplir conjuntamente ACS y calefacción

(Tecnología Solar Combi), a través de un análisis de factibilidad con herramienta de arquitectura; para ello se propone una metodología que plantea el uso de esta herramienta, simulando la aplicación de tecnología solar desde etapas tempranas de diseño.

El *Capítulo VI* desarrolla una propuesta implementando tecnologías solares activas, captación pasiva y medidas de eficiencia energética conjuntamente, aplicada a un modelo existente adaptado y optimizado para lograr un buen desempeño pasivo y una máxima producción energética activa. Se analiza el desempeño de producción y demanda de este prototipo en los tres días representativos de meses extremos e interestacional. Adicionalmente se obtiene el rendimiento y balance anual. Se dimensiona la capacidad de lograr viviendas energéticamente positivas como una alternativa para contribuir energéticamente a la red urbana externa, analizando la compaginación de posibilidades tecnológicas como resultados en apariencia consecuentes.

Por último, en el *Capítulo VII* se desarrollan las conclusiones y discusión frente a los resultados obtenidos.

Con el desarrollo mencionado se pretende mostrar métodos sencillos de estimación con herramientas probadas con aplicación tecnológica y rendimientos teóricos. Situaciones particulares como la interacción de sombreados externos e inter-sombreados entre viviendas no es posible generalizarlas, se considera qué desarrollos inmobiliarios de viviendas poseen casas de similar altura y en esta latitud los inter-sombreados son menores y están presentes temprano en la mañana o al final de la tarde, cuando la intensidad de irradiación es mínima, sin embargo la proximidad de elementos altos y próximos como edificios en altura afectarían los rendimientos aquí propuestos, siendo necesario el estudio y un derecho a sol normado idealmente. No obstante, los desarrollos inmobiliarios actualmente por naturaleza se emplazan en sectores distantes de construcciones en altura, en zonas en que generalmente se restringen por normativa. En consecuencia se toman pérdidas posibles estadísticamente con base en reducción de rendimientos detectados en otros estudios por estas situaciones. Las orientaciones se analizan en casos adecuados y contrariamente en extremos con alta desviación, definiéndose cuándo se debería adoptar un segundo faldón como una mejor opción.

Se ha buscado determinar el desempeño de una variedad de casos posibles de forma sencilla y rápida. No obstante para el futuro es importante profundizar en complemento con un análisis en casos específicos, situaciones concretas y con productos puntuales para integración arquitectónica. Desarrollando simulaciones detalladas dinámicas y probetas validadoras.

2. Capítulo II. CAPTACIÓN SOLAR ACTIVA EN EDIFICACIONES

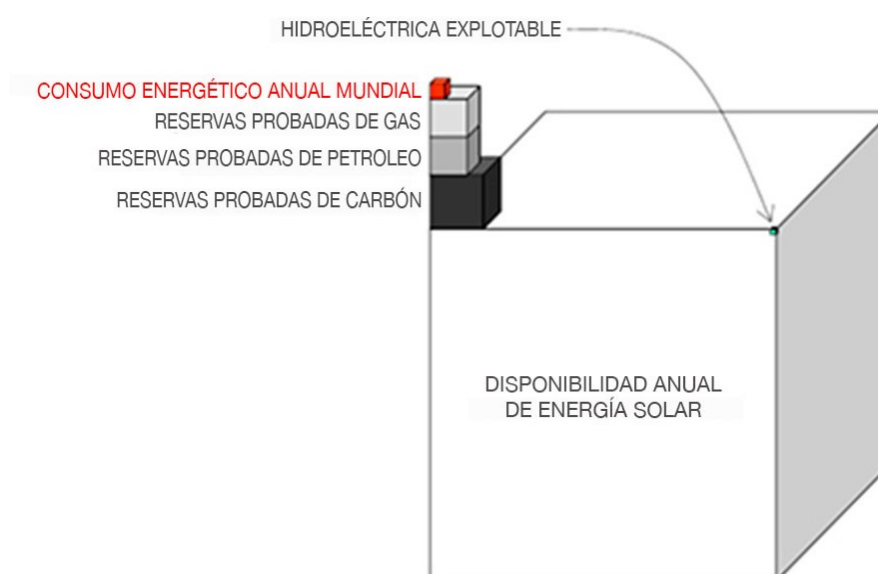
2.1 Introducción

En este capítulo se revisa el estado del arte de las principales tecnologías de captación solar activa, sus antecedentes y capacidades de abastecimiento para edificaciones y residencias. Se analiza primeramente la posibilidad de abastecimiento a escala urbana, luego los sistemas disponibles integrables arquitectónicamente en techumbres de viviendas, finalmente se mencionan las posibilidades como también las limitaciones existentes para la adopción de la recolección solar activa integrada en la arquitectura. Por último, se recogen tipos de colectores solares para techumbres inclinadas y tecnologías adaptables en correspondencia con demandas para un clima estacional templado-frío.

2.2 Antecedentes

Las edificaciones son responsables del 60 % de las emisiones de CO₂, el consumo para su funcionamiento representa aproximadamente el 40 % de la demanda energética mundial (Kolokotsa et al. 2011); en cuanto a fuentes primarias energéticas, más del 50 % de la electricidad del planeta se genera a través de combustibles fósiles y únicamente el 2 % proviene de energía limpia con cero impacto (IEA 2009). La radiación solar es un recurso gigantesco en comparación con las fuentes energéticas fósiles tradicionales. La irradiación que alcanza a la tierra en una hora es mayor que el requerimiento energético anual global; la energía solar según se ha estimado está en capacidad de satisfacer la demanda instantánea energética de la humanidad en 2.850 veces (EREC 2010) (Fig. 2.1).

Figura 2.1: Energía solar que alcanza la tierra en un año frente a reservas probadas de fuentes fósiles y frente a demanda anual (Munari 2009).



Frente a otras posibilidades de energía renovable, la energía solar activa en edificaciones posee la ventaja que la producción es en sitio, evitando ocupar suelo adicional. No obstante por la intermitencia de la irradiación es necesario adoptar sistemas de compensación a través de almacenamiento y distribución, lo cual es posible en masa térmica para conservar calor y en cuanto a la electricidad excedente puede ser compartida en redes de distribución inteligentes (*Smart Grid*) o almacenada en baterías cada vez más eficientes, rentables y actualmente ya desarrolladas para edificaciones (Tesla Inc. 2015).

Las Red Eléctrica Inteligente se definen como: “Red de corriente eléctrica que permite la comunicación entre dispositivos de consumo eléctrico con aquellos de producción, dando cabida al manejo de demandas, producción y almacenamiento, protegiendo la distribución eléctrica, ahorrando energía y reduciendo costos” (Kyllili y Fokaides 2015). Para la expansión de la producción de energía eléctrica de generación solar es necesario que se den cuatro condiciones favorables: Políticas de incentivo y redes, costo tecnológico, asoleamiento y costo energético local (Bradford 2006).

221 Potencial solar de zonas urbanas

Caroline Hachem (2012) ha propuesto una metodología para estimar el potencial solar de techumbres en viviendas y barrios durante etapas tempranas de anteproyecto. Propone un método para toma de decisiones proyectuales considerando la configuración urbana, la geometría de casas y de conjuntos habitacionales de vivienda, midiendo a la vez el potencial solar de un proyecto en desarrollo. Sin embargo, la metodología desarrollada no permite dimensionar la recolección de irradiación en casos existentes. Se han publicado modelos de dimensionamiento de techumbres de edificaciones en ciudades, con el objetivo de obtener el potencial de captación a través de mapeo GIS *Geographic Information System (Sistema de Información Geográfica)*, método que supone el mapeado vectorial registrando superficies potenciales de captación (Izquierdo, Rodrigues y Fueyo 2008). Un método más avanzado y tridimensional, el cual a través de captura de información de tomas aéreas denominado sobrevuelos LiDAR *Light Detection and Ranging (Detección y Alcance de Luz)*, proceso que trata de detección y trazado tridimensional de mapas 3D de superficies irregulares, en este caso ciudades, con los que se puede establecer superficies captadoras y techos (Lukač y Žalik 2013). En el mismo sentido se ha empleado software de detección de brillo desde fotos satelitales estimando con ello irradiación en cubiertas inclinadas (Bergamasco y Asinari 2011). En Chile se han realizado análisis globales y anuales de conjuntos edificados en Concepción y en Valparaíso; el primero se trata de la investigación matriz de esta tesis y tiene el objetivo de generar un Mapa de Potencial Solar de la ciudad el cual registra el posible abastecimiento según demanda previsible (CON*FIN Research Group 2015); la segunda muestra una propuesta metodológica que permite dimensionar la irradiación instantánea y acumulada disponible en las techumbres, durante meses extremos en todo el conjunto de viviendas, obteniéndose indicadores de irradiación por superficie de ciudad y por m² construido (Araya-Muñoz et al. 2013). Los análisis presentados exponen herramientas poderosas para

establecer el potencial solar de un entorno urbano, sin embargo no se han encontrado propuestas metodológicas que permitan establecer la posible captación energética que considere solamente la faceta o ala de techumbre inclinada con mejor aptitud por edificación, la cual es normalmente la empleada para este fin. Considerando además las características de ésta, su dimensión, orientación e inclinación y fundamentalmente la producción posible con combinaciones tecnológicas y ésta en relación con demandas típicas.

La investigación matriz del presente trabajo propone un estudio de demandas sectorizadas de acuerdo con la tipología constructiva en la zona urbana de Concepción (García et al. 2014). Para ello se ejecuta una subdivisión tipológica residencial que considera cuatro modelos tipológicos principales: Vivienda Unifamiliar Mayor, Vivienda Unifamiliar Menor, Bloques de Departamentos (hasta 5 plantas) y Edificios de Departamentos (sobre 5 plantas). El 58,7 % de la superficie residencial de la ciudad corresponde a vivienda unifamiliar menor, subgrupo en el que se encasilla el sujeto de estudio de la presente investigación.

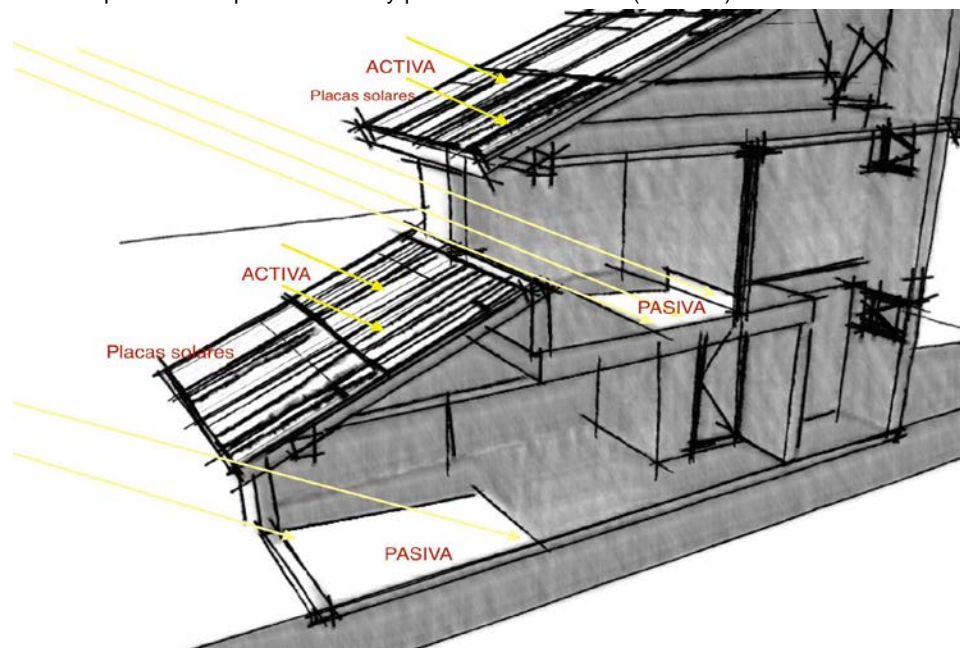
2.2.2 Energía Solar y Arquitectura

La arquitectura cobija las diferentes actividades humanas frente a un contexto específico, esta disciplina debe contemplar el aprovechamiento máximo de las condiciones naturales para promover la habitabilidad confortable y sustentable. Así, la captación solar pasiva a través de ventanas y muros deben regular la temperatura, humedad, otorgar iluminación y desinfectar ambientes interiores. No obstante se deben controlar consecuencias adversas como encandilamiento, sobrecalentamiento o pérdidas excesivas en vanos. Especialmente porque la recolección pasiva es mayor en aberturas que implican potenciales fugas o puentes térmicos. Sin embargo, se ha comprobado que la captación pasiva en lugares con baja irradiación como en el Reino Unido, es suficiente para abastecer hasta la mitad de la calefacción de un edificio (Yannas 1996). Pero existen además requerimientos de iluminación, fuerza o climatización interior, en horarios nocturnos y/o en espacios inaccesibles para el sol, que es necesario abastecer con equipos que requieren energía adicional, los que pueden suplirse con tecnologías que capturan la energía del sol y la aportan con las características necesarias a desplegarse a distancia o a momentos diferidos a través de la recolección solar activa (*Fig. 2.2*). Entonces las demandas energéticas en un edificio deben estar primeramente supeditadas por estrategias pasivas y medidas de eficiencia energética; luego se deben considerar medidas de captación solar activa, las que deben instalarse en concordancia para contribuir según la necesidad.

La energía solar se despliega en el territorio de forma dispersa con valores de potencia relativamente bajos y durante aproximadamente la mitad del día es inexistente o mínima. Una potencia promedio instantánea en superficie horizontal es de alrededor de 1000 W/m² en horas y lugares con aceptable irradiación. Pero las demandas energéticas como, por

ejemplo, la de un automóvil a combustión exigen en una superficie de 6 m^2 o menos, 80 kW de potencia concentrada. La variabilidad es otro factor, si bien el consumo de una residencia en promedio puede estar en el orden de $10 \text{ W} / \text{m}^2$, por momentos es normal que exista una demanda de $300 \text{ W} / \text{m}^2$ (Cuchi, Díez y Orgaz 2002). La captación pasiva, implica el compaginar la modulación, distribución y conservación de ganancias por almacenamiento pasivo (masa térmica) o distribución a sectores donde existan demandas.

Figura 2.2: Esquema de captación activa y pasiva en edificación (El Autor).



Una forma eficiente de enfrentar un proyecto residencial que contemple la inclusión de energía renovable solar será el ejecutar distintos análisis en los que se contemplen simulaciones de demandas bajo diferentes supuestos de despliegue tecnológico de obtención energética renovable in-situ. Durante la resolución arquitectónica, se debería observar las implicancias no solamente de recolección activa, sino en concordancia con las demandas. Por ello es necesario definir las posibilidades de captación pasiva, materialidad, aislamientos, la implicancia de fugas térmicas e infiltraciones entre otros aspectos, de forma integral. La coherencia en cada una de los componentes, pisos, techos, muros, carpinterías, son importantes y ellas frente a medidas activas, lo cual sin duda es un esfuerzo adicional en el proceso de diseño. Si bien el trabajo puede ser algo exigente y extenso, considerando que se trata de vivienda repetitiva, es coherente ejecutarlo, ya que la definición de un modelo puede significar la solución para varias unidades.

Se ha comprobado que en cierta medida y dependiendo el caso, las ERs (Energías Renovables) se tornan más apropiadas y rentables que el incurrir en medidas pasivas sobredimensionadas como aislamientos excesivos, vidrio triple o equipamiento de ambientación altamente eficiente pero costoso (Athienitis 2007). La definición del tipo de tecnología debe resultar de la relación y balance entre alternativas tecnológicas para adoptar las que más compatibilicen entregando una utilidad adecuada coherente con las

exigencias. Con el eficiente uso de la electricidad por ejemplo, al remplazarse dispositivos típicos de alto consumo por otros eficientes, pueden reducirse demandas eléctricas en alrededor de un 39 % (Cuchi, Díez y Orgaz 2002), con lo que se torna factible el abastecimiento desde fuentes renovables. En consecuencia es importante medir también estos aspectos en Concepción, más aún considerando la tendencia a la baja de los precios de las tecnologías de ERs. Se ha comprobado en otras regiones, por ejemplo en Barcelona (41 ° N), que bloques residenciales provistos con equipamiento eléctrico de bajo consumo, con obtención de electricidad PV producida en las terrazas, se podría potencialmente abastecer por completo la demanda energética de edificaciones de hasta cinco plantas en balance anual. Aunque es una realidad climática distinta, este dato sugiere que la sección de una cubierta de una casa de dos pisos puede en buena medida alimentar la demanda, incluso en su totalidad. Ello posibilita el modular y dimensionar adecuadamente la superficie de recolección en él o en los paños de localización de la superficie colectora.

2.3 Tecnologías para recolección solar activa en edificaciones

Los sistemas de producción de energía renovable adaptables a edificación a partir de fuente solar son los siguientes:

- Fotovoltaicos integrados a edificación BIPV (Building Integrated Photovoltaics), tecnología a partir de la cual se obtiene solamente electricidad.
- Sistemas Solares Térmicos Integrados a edificación BIST (Building Integrated Solar Thermal systems), tecnología que entrega energía en forma de temperatura incluida en un medio de transporte, líquido o gaseoso.

A partir de estas dos matrices tecnológicas, existen diversas posibilidades, subtipos y variaciones tecnológicas que permiten una adecuada implementación acorde a rendimiento, requerimientos o costos. Asimismo existe la posibilidad de conjunción de ambas tecnologías en un solo colector, en las denominadas tecnologías híbridas térmico-fotovoltaicas (BIPVT). Estas poseen la capacidad de entregar electricidad y recuperar calor simultáneamente en un solo captador. También es importante la implementación de diferentes tipos de colectores de forma conjunta y coherentemente con las demandas, ya que una mayoría de edificaciones posee requerimientos térmicos y eléctricos simultáneamente aunque en distintas magnitudes.

Como aspecto primordial para considerar la adopción de energía renovable solar está la reducción del precio de los colectores, en especial los PV, así por ejemplo en los Estados Unidos se reporta que entre 2007 y 2013 ha existido una reducción en el valor del kWh en PV a la mitad, o considerando desde 1998 se ha dado un abaratamiento continuo promedio de entre un 6 % a un 8 % por año (Feldman et al. 2014). En el mismo orden, la agencia

norteamericana de ERs reporta periódicamente el incremento constante de la eficiencia PV (Fig.2.5) (NREL 2015). La tecnología ST también muestra mejoras en prestaciones y desarrollo tecnológico tanto en colectores como en almacenamiento, además con tendencia a abaratar costos especialmente en los lugares en que se masifica la tecnología, aunque en menor medida respecto de los PV ya que la tecnología ST se considera está “madura”.

2.3.1 Captación solar térmica

Se definen como colectores solares térmicos ST a intercambiadores de calor especiales que transforman energía solar en energía interna transportada en un medio fluido. El mayor componente de cualquier sistema de energía solar es el colector solar. Este es el dispositivo que se encarga de convertir la energía solar en térmica, la energía una vez colectada es llevada por un fluido circulante, normalmente en líquido o aire a un equipo de acondicionamiento ambiental o de distribución para uso directo; de no requerirse al momento, a un reservorio de almacenamiento para postergar la utilización de la energía térmica (Kalogirou 2004).

La captación térmica resulta de una industria menos “tecnológica”, en consecuencia existen pequeñas empresas para fabricación semi-artesanal de colectores y almacenamiento, poseen una alta eficiencia en comparación con los PV y adicionalmente tienden a acceder con mayor facilidad en países menos desarrollados. Sin embargo, debido a las tendencias de desarrollo tecnológico, para el futuro se avizora como más prometedora la tecnología PV de continuar la tendencia tecnológica y de precios. Esto porque presenta una ventaja importante que es la conexión a la red pública, lo que posibilita el utilizar la energía recolectada en su totalidad; contrariamente la temperatura tiende a perderse en el almacenamiento cuando no se encuentran presentes los usuarios o cuando simplemente no se utiliza el calor recolectado. Además la versatilidad de la electricidad y una posible conversión a térmica, con tecnologías de alta eficiencia como bomba de calor, permite el disipar la electricidad en momentos que existe sobreproducción que sobrecarga la red, se trata de un escenario factible de instalarse PV a gran escala en zonas urbanas y en momentos en que existe una considerable producción conjunta de muchas edificaciones en horas de elevada irradiación (Lund 2012). Con ello solamente la electricidad puede llegar a resolver la mayor parte, incluso la totalidad de las demandas (Athienitis y O’Brien 2015).

2.3.1.1 Antecedentes de captación activa solar térmica

Los primeros calentadores solares fueron simples tanques metálicos expuestos al sol no patentados, más bien fueron soluciones individuales artesanales. Por 1891, Clarence Kemp en Baltimore evoluciona el sistema al introducir los tanques en cajas solares como las inventadas por Sauserre en el siglo XVIII, invento inscrito bajo la marca registrada “Climax”, que alcanza temperaturas superiores a las requeridas para el baño. William Bailey mejora

el dispositivo de Kemp, que no alcanza a mantener el agua caliente durante toda la noche, lo resuelve separando la superficie captadora necesariamente ubicada al exterior e internamente en la edificación emplaza el almacenamiento térmico. Denominó su producto “Day and Night Solar Water Heater” el cual se vende por miles entre 1909 y 1920 (Perlin 2013). En Europa se fabrican comercialmente a mediados de los años 30 del Siglo XX. En España se registra la primera patente en 1921, se exporta ya a finales de los 30’s (Fig. 2.3). Frente a calentadores domésticos a carbón son una alternativa interesante por la dificultad y costo de transporte del mineral (Lorenzo 2004; Kalogirou 2004). La industria solar se expande hasta la irrupción del petróleo y gas con cualidades de ser transportable, almacenable y de bajo costo. Las empresas hidrocarburíferas crean redes para abastecimiento de gas domiciliarias. Posteriormente a la Segunda Guerra Mundial, la explotación petrolera es significativa y no hay necesidad de abastecer la maquinaria de guerra, con el crecimiento del nivel de vida mejora y las exigencias de confort, la demanda de energía exige abastecimiento constante, no alcanzable por la recolección solar térmica. Así se limita el crecimiento del sector solar por su menor capacidad (Vázquez Espí 1999). Se reporta el resurgimiento de los colectores STw en los 1970’s por la escalada del valor del petróleo. Luego se generaliza su producción en los años 1990’s por la creciente preocupación ambiental sumada al inestable precio de los combustibles.

Figura 2.3: Afiche de calentadores ST de empresas americana “Climax” española “Agua Solar”, propagandas de finales del siglo XIX y de la década de 1930 (Lorenzo 2004).



En el Siglo XX para las décadas de los 80’s y 90’s se multiplica el desarrollo, evolución y alternativas de colectores STw a escala internacional. Varios programas analizan la evolución tecnológica y capacidad de uso en edificación para cubrir ACS típicamente y luego para calefacción. Algunas reuniones o “Tasks” de la SHC y de la IEA se llevan a cabo para integrar el desarrollo tecnológico en diversos usos: Task 3, Task 6 y Task 8.

Posteriormente se llevan a cabo reuniones enfocadas en integración en arquitectura de colectores térmicos, Task 20 y Task 41 y la posibilidad de uso para calefacción en el Task 26. En cada una de las reuniones se registran posibilidades y desarrollos en los diversos países. La captación térmica activa alcanza en colectores recientes altas eficiencias de hasta un 80 %. En regiones estacionales el desbalance de irradiación es la principal limitación para esta tecnología, por ello se limita la dimensión y capacidad de cubrir demandas. Adicionalmente durante el período frío, coincide con la reducción de irradiación e incremento de demandas, lo cual limita aún más el abastecimiento.

El fluido calo-transportador cargado con temperatura puede trasladarse directamente para su utilización en agua o aire caliente o llevarse a almacenamiento para postergar su uso. A diferencia de las redes eléctricas, son pocos los casos de posibilidad de venta de excedentes, los cuales se han dado en casos excepcionales como en “Solar City” en Plan-Les-Ouates en Ginebra, Suiza; por lo demás puede almacenarse en limitada cantidad según disponibilidad de volumen (Kalogirou 2004). Existe la posibilidad de almacenamiento interestacional en grandes contenedores subterráneos o reservorios, abastecidos por captación de varias unidades de vivienda alimentadas por amplias superficies de recolección, sistema útil para almacenamiento interestacional. Estas redes comunitarias funcionan generalmente en barrios que disponen de redes de calefacción central o *District Heating*, contribuyendo así a la reducción de demandas energéticas, estas instalaciones son habituales en Alemania, Suiza y Austria.

2.3.1.2 Tipos de colectores térmicos para edificaciones

Existen varios tipos y subtipos de colectores solares térmicos (ST). Una primera clasificación es por el tipo de fluido: Aire o Hidráulico. Los colectores ST con fluido aire (STa) por lo general son más económicos y de sencillo funcionamiento, la utilización térmica comúnmente es con la utilización directa del fluido calentado, aunque con inferior eficacia por el menor calor específico del aire ($281 \text{ Wh} / \text{K} \cdot \text{m}^3$). Tienen la limitación en capacidad de almacenamiento, factible a través de calentamiento de material con alta inercia térmica o por medio de intercambiador de calor aire-agua, aunque conversión entre distintos medios implican pérdidas y mayor disminución de eficiencia (Solarwall 2015; Athienitis et al. 2011; Kalogirou 2004; Munari 2009). Los colectores con fluido líquido poseen una mayor capacidad para transporte térmico por el superior calor específico del agua ($1161 \text{ Wh} / \text{K} \cdot \text{m}^3$). Con fluido líquido atemperado, existe mayor control de traslado de calor con menores fugas al ser detectables fácilmente y con un mejor control de almacenamiento, aunque con dificultad en cuanto a posibilidades de disipación de excedentes y riesgos en las instalaciones por exceso de producción. Ambas alternativas son abordadas en esta tesis.

Una segunda clasificación es por la capacidad de seguimiento solar. De acuerdo con esta característica los colectores ST pueden ser fijos o con seguimiento solar. Para integración arquitectónica consideraremos solamente los fijos, porque complejos dispositivos

mecánicos rotatorios para perseguir la irradiación directa de uno o dos ejes, no son habituales en residencias. Estos son útiles para alcanzar altas temperaturas para uso industrial.

Considerando entonces solamente los Colectores Fijos, una tercera clasificación es según la configuración de superficie de recolección. De acuerdo con esta característica se subdividen en: Placa plana, Colectores con Concentradores Parabólicos, Colectores de Tubo de Vacío y Colectores Plásticos.

- *Colectores de Placa Plana:* Son los más habituales en el ámbito residencial, son sencillos tecnológicamente, por ello económicos y factibles de fabricarse en industrias menores. Se trata de una superficie normalmente metálica absorbente la que está en contacto con ductos por donde fluye aire o líquido calotransportador al que se trasmite la temperatura por convección y conducción.

Estos a su vez se subdividen en vidriados y no vidriados. Los primeros poseen un cristal con alta emisividad que incrementa la temperatura del colector y de la superficie absorbente al provocarse efecto invernadero internamente. En los no vidriados la superficie absorbente queda expuesta al ambiente, generando pérdidas por convección, por lo tanto son menos eficientes especialmente en lugares con bajas temperaturas y ventosos. Colectores no vidriados y vidriados poseen entre el 0,7 % y 11,0% del volumen global mundial instalado respectivamente (Weiss y Mauthner 2012).

- *Colectores Plásticos:* Son colectores de goma polimérica resistente a rayos ultravioletas. Normalmente son bandas plásticas las que internamente contienen ductos milimétricos por donde discurre agua que al calentarse se utiliza directamente. Tienen una buena adaptabilidad en las superficies de las edificaciones por su característica elástica, más no son integrables arquitectónicamente bajo la definición conceptual típica, ya que poseen baja resistencia mecánica (Home Power 2004). Poseen eficiencia limitada porque al exponerse a baja temperatura, las pérdidas son considerables. En invierno las ganancias mínimas obtenidas son superadas por las pérdidas del frío ambiental. Por su baja temperatura de trabajo, en arquitectura el único uso práctico es en piscinas, pero no son de uso común para abastecer demandas residenciales típicas a menos que se implanten en climas cálidos.

- *Colectores de Tubo de Vacío:* Son series de cilindros de cristal, los cuales internamente poseen la superficie absorbente térmica compuesta por lo general por una pletina metálica con un ducto o ductos internos por donde discurre fluido líquido o líquido-gaseoso (este último cuando el fluido funciona con cambio de fase). La superficie captadora está aislada del exterior en un ámbito de vacío. Para el año 2010 ya son el tipo de colectores térmicos con más producción mundial, se considera que el 56,6 % de

captadores instalados corresponde a éstos, es la tecnología que predomina con más alta producción en China, convirtiéndola actualmente en la más difundida por m² instalado (Weiss y Mauthner 2012). La potencialidad de estos colectores es su alta eficiencia en condiciones de abundante irradiación difusa y en presencia de frío exterior, evitando las pérdidas que implica la convección por contacto con aire frío. En consecuencia pueden alcanzar temperatura de trabajo más altas que los colectores de placa plana y un mejor desenvolvimiento durante el invierno, pero la superficie neta de captación se ve reducida por la separación entre franjas de captación internas en los tubos, respecto a la placa continua captadora presente en los colectores de placa plana que los hace más efectivos en lugares con alta irradiación y épocas de verano. Los colectores de tubo de vacío son más costosos y de compleja elaboración. Esta tesis analiza el posible despliegue de estos dispositivos considerando su facultad de desempeñarse como filtro solar para integración arquitectónica. Además de ser los que teóricamente mejor se adaptan a un escenario de recolección para calefacción, justamente por la cualidad de mejor desempeño en baja irradiación.

- *Colectores con Concentradores Parabólicos de Placa Plana:* Son un subtipo de colectores ST que resultan de la combinación de Colectores Concentradores combinados con los de Placa Plana. Son normalmente utilizados para aprovisionamiento industrial, para obtener altas temperaturas. Funcionan con fluido líquido. Externamente poseen apariencia de placa plana, pero internamente poseen franjas compuestas por reflectores parabólicos que concentran irradiación a ductos absorbentes por donde discurre fluido. Muchas veces están en combinación con colectores de ducto de vacío, otros modelos poseen solo vidrio al exterior (SOLARFOCUS 2015). Por su compleja configuración y altas temperaturas de desempeño, no son habituales para uso residencial y no se consideran en este trabajo.

2.3.1.3 *Colectores ST en el mercado*

La IEA en su Programa de Calefacción y Refrigeración Solar, para el año 2010 estimó la existencia de 195,8 GWp instalados en aproximadamente 279,7 millones de m² de colectores ST en 55 naciones. En la mayoría de países se han desarrollado para calentamiento de ACS fundamentalmente. Chipre cubre el 93 % de la demanda energética de ACS con recolección STw (Kalogirou 2015). Se estima que en recolección STw se instalaron en 2012 42,2 GWp de producción mundial, es decir un crecimiento de 13,9% del volumen existente en solo un año. De este crecimiento China se lleva una parte significativa de 34,4 GWp, siendo por lejos el país y región con mayor expansión de la tecnología actualmente; contrariamente en Latinoamérica se estima que se instaló solamente 0,87 GWp. La producción de toda la instalación planetaria implica un volumen de generación de 162.000 GWh, lo que significa un ahorro de 53,1 millones de toneladas de CO₂. La recolección solar térmica genera 375.000 plazas de trabajo directas (Weiss y Mauthner 2012).

2.3.2 Sistema de Captación Solar Activa Fotovoltaica

La generación PV tiene capacidad de convertir una fracción de la irradiación solar en corriente continua, a partir de materiales conformados total o en parte por elementos químicos semiconductores al iluminarse estos por fotones provenientes de la irradiación solar, capacidad conocida como efecto fotovoltaico. Conforme la luz arriba a la superficie de los semiconductores denominados celdas PV, se produce electricidad. Cuando la iluminación cesa, la generación eléctrica también. Las celdas fotovoltaicas no requieren ser recargadas. Fotones con capacidad de lograr electricidad pueden ser provistos de forma indefinida desde el sol (Luque y Hegedus 2011).

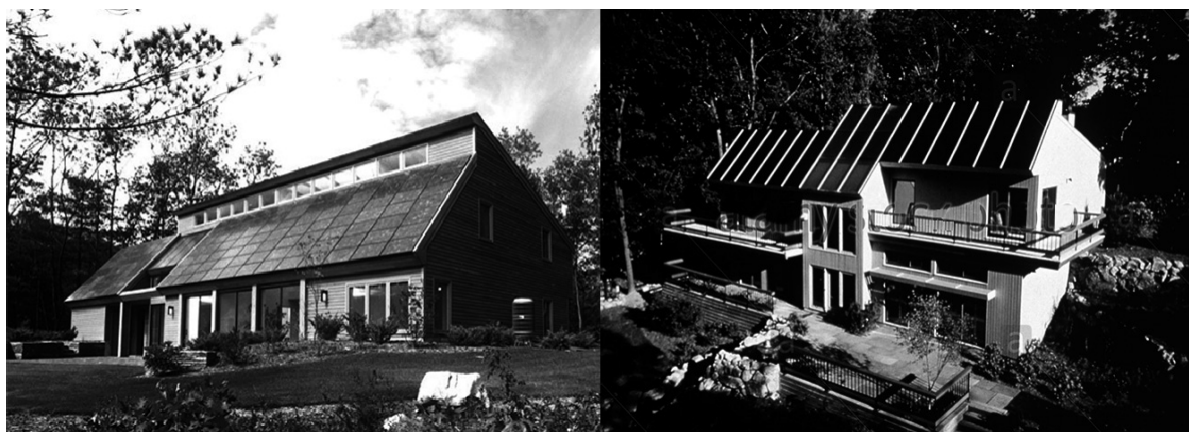
2.3.2.1 Antecedentes de Captación Activa Solar Fotovoltaica

E. Becquerel descubre en Francia el efecto fotovoltaico en 1839, de modo accidental, no se profundiza en primera instancia por la baja producción y falta de utilidad práctica para entonces (Kalogirou 2004). Para 1883 Charles Fritts produce las primeras células PV intencionalmente y él visualiza para el futuro que: *“La corriente generada, si no es requerida inmediatamente, puede de todas maneras ser guardada en baterías..., o conducida para aplicarse en donde se requiera”* (Luque y Hegedus 2011). Las primeras aplicaciones del efecto solar sobre materiales semiconductores observado por Baqcuereel y Frittz fue en la industria espacial, el alto costo de la tecnología en su etapa inicial impide su generalización para otros usos. La necesidad de energizar naves espaciales por períodos prolongados de tiempo sin necesidad de cargar combustible, implica profundizar en investigación y en la consecuente evolución de la tecnología. Muchas de aquellas celdas desarrolladas 60 años atrás siguen funcionando en la actualidad (Howlett 2010).

Luego aparecen usos alternativos en instalaciones terrestres aunque excepcionalmente por el alto costo, son una opción para zonas remotas, a las cuales alcanzar con redes eléctricas o llevar combustibles para generadores es complicado. A finales de los años 70 el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) financia investigaciones respecto de las posibilidades de crecimiento y utilidad de la tecnología para usos cotidianos. Se observa desde el inicio que se trata de una alternativa que posibilita la independencia eléctrica. Varias corporaciones importantes invierten billones de dólares en investigación de los PV: Atlantic Richfield, Exxon, Texaco, Shell, General Electric, Westinghouse, Boeing y Martin Mariett. Gracias a estas inversiones se reducen los costos significativamente. Igualmente se realizan los primeros experimentos para integrar PV en edificación por parte del DOE: La Estación Experimental Residencial Southwest en Nuevo México, en el campus Las Cruces de la Universidad de Nuevo México. El primer proyecto emblemático residencial es la Carlisle House (1980) en Masachussets, financiada por el DOE y MIT (Massachussets Institute of Technology University), se trata de la primera casa particular en adoptar placas PV en su cubierta, se incluye conjuntamente con estrategias pasivas, captación térmica, súper-aislamientos, etc. Es foco de atención por tratarse de la

primera residencia en enlazarse a la red pública, entregando y recibiendo excedentes y faltantes eléctricos (*Fig. 2.4a*). La misma empresa Solarex energiza su propia planta de producción, industria localizada en Frederick, Maryland, EE.UU en 1982 denominada “Solarex Breeder”. En 1983 la Boston Edison Company encarga el diseño de la que denomina residencia “Impact 2000 House”, que es catalogada como vivienda del futuro, integra eficiencia pasiva, estrategias activas y la instalación de 4,5 kWp de placas plenamente integradas que sirven de superficie estanca y protección efectiva (*Fig 2.4b*); es la segunda casa en intercambiar corriente con la red pública luego de la Carleslie House.

Figura 2.4a: Carleslie House en Massachusets (1980); Fuente: (Solar Design Associates 2015). Figura 2.4b: Impact 2000 House (1983); Fuente: (Alamy 2015)



En 1984, uno de los edificios significativos de considerable escala perteneciente a la Universidad Georgetown en Washington D.C, integra colectores con 340 KWp de módulos policristalinos Solarex, proyecto también auspiciado por el DOE. Aquí el arquitecto trabaja conjuntamente con los ingenieros para integrar adecuadamente las placas PV en la techumbre. A partir de 1985 cada vez más edificios de los Estados Unidos continúan con la integración y producción eléctrica PV en más estados. En 1992 se construye la fábrica de PV Advanced Photovoltaic Systems (APS) la cual ofrece a los arquitectos la posibilidad de disponer de productos PV bajo pedido según requerimientos específicos. Posteriormente, al mejorar y diversificarse la tecnología, varios inversionistas fueron persuadidos en desarrollar nuevamente más productos; en consecuencia, en 1993 la DOE nuevamente inicia el programa de investigación denominado “Oportunidades para Edificaciones de Estados Unidos para PV”, programa que fue diseñado para iniciar la comercialización de productos BIPV. No obstante la riqueza petrolera de Estados Unidos implica que el desarrollo comercial de la tecnología se vea eclipsada por Europa y Japón, naciones que no producen petróleo y miran con mayor urgencia alternativas energéticas. Desde entonces la interacción entre arquitectos, desarrolladores, fabricantes PV, va en crecimiento para lograr productos cada vez más competitivos y de acuerdo con necesidades arquitectónicas, estética y generación energética (James et al. 2011).

A mediados de los 80s en Japón, Sanyo implementa la casa Kansai Electric’s PV Demo House como casa laboratorio. También Sanyo implementa la “CurtainWall PV” en edificio

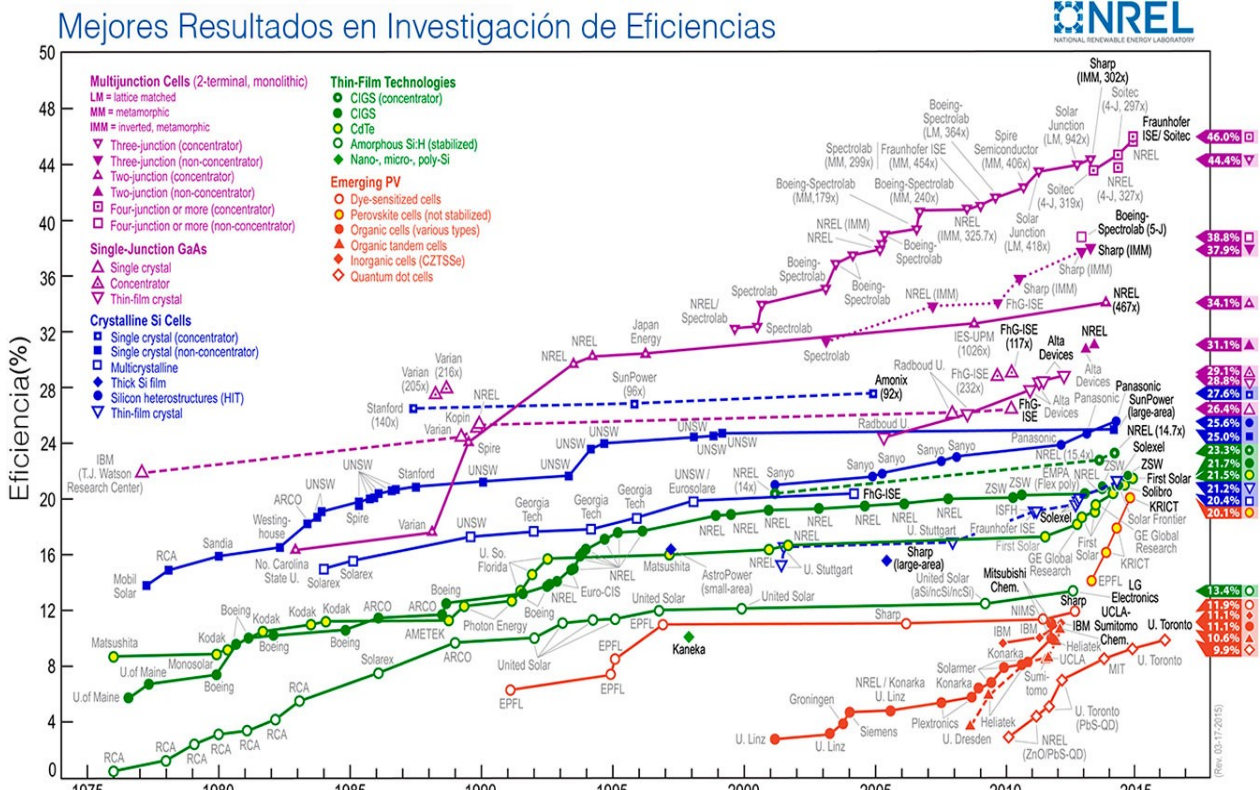
de oficinas Hokuriku Electric.

En Alemania, como consecuencia del desastre en Chernobyl, se pone en marcha el programa piloto 1.000 techos, cuando el gobierno busca persuadir para la implementación de instalación PV en edificación. Uno de los casos iniciales relevantes es una vivienda en Helmstedt, que integra 80 paneles PV configurados para integrarse en techumbre marca Siemens M-50. A finales de 1990 se contabilizan 2500 casas en el país con abastecimiento PV. En 1993, el Ministerio Bávaro del Ambiente recepciona su edificio el cual integra en su fachada células de sílice amorfo y filtros solares con celdas de sílice cristalino, con características estéticas destacadas. Otro ejemplo alemán de importancia es el edificio prototipo Stadtwerke Aachen (STAWAG), un servicio municipal que posee en su fachada sur 50 m² de vidrio con celdas PV policristalinas embebidas entre el laminado de dos cristales templados. El instituto para Energía Solar Fraunhofer en Freiburg construye una casa autosuficiente energéticamente. En Suiza tuvo el mismo impacto que en Alemania el accidente de Chernobyl, se declara en 1990 la moratoria de todos los proyectos nucleares del país. El gobierno invierte fuertemente en investigación en ERs, una tercera parte de la inversión es conducida al desarrollo de productos PV. Por el espacio reducido del país y la falta de suelo plano, se torna imperativa la instalación de PV en edificación. La Escuela Politécnica de Lousanne (EPFL) desarrolla el que denomina "Sitio de Demostración", se trata de 14 pabellones de pequeña escala en donde se muestran distintas alternativas de instalaciones PV integradas a edificación. Además utiliza su propio campus para la integración de nuevos productos desarrollados por la universidad. La empresa Suiza Alpha Real ejecuta una de las primeras "tejas PV" a través de la empresa Plaston (D Little 1995), las tejas poseen una superficie de captación de alrededor de 0,25 m², diseñadas para remplazar tejas de arcilla de gran formato típicas en Suiza. Un proyecto con PV integrado arquitectónicamente en fachada en 1992 es desarrollado por la empresa Solution & Atlantis, se trata del nuevo edificio de oficinas y fábrica para Scheidegger Metallbau en Kirchberg, éste utiliza filtros solares PV. Como éstos, muchos proyectos más se desarrollan en Suiza durante los años 90. En Inglaterra el surgimiento de la tecnología fotovoltaica se da a través del *Government Renewable Energy Research Development Demonstration and Dissemination Program*, ente que promueve la primera instalación en la fachada de la University of Northumbria en Newcastle; otra instalación importante se ejecuta en Gales, se trata del edificio para el *Center Alternative for Technology* en 1995, con una capacidad de 10kWp. En el resto de Europa también se suceden hasta el final del siglo XX otras instalaciones paulatinamente, como el plan para instalar 200.000 cabañas en zonas remotas de Finlandia, la mayoría vacacionales, las que adolecen de conexión a la red nacional por las considerables distancias, a las que llevar combustible a generadores eléctricos es costoso y complejo, entonces la opción PV es una oportunidad interesante, aunque al final se desarrollan solamente 20.000 conexiones. Otros países que establecieron investigación y ejecutaron edificaciones con tecnología PV de forma temprana fueron España, Italia, Suecia, Canadá y Noruega (D Little 1995).

En cuanto a instalación PV integrada en Arquitectura, algunos desarrolladores se reúnen

entre 1990 y 1995 para llevar a cabo el Task 16 de la Agencia Internacional de la Energía del Programa de Calefacción y Refrigeración Solar. En esta reunión participan diversos profesionales e investigadores de la construcción, arquitectura e industria PV, definiéndose los primeros lineamientos para integración arquitectónica-fotovoltaica (IEA Solar Heating & Cooling Program Task16 1995).

Figura 2.5: Progresión de eficiencias PV en tiempo en distintas tecnologías (NREL 2015).



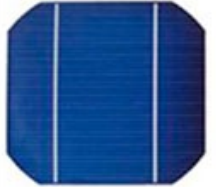
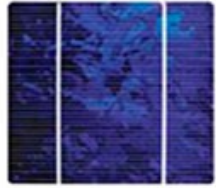

Para detener el cambio climático se espera para el año 2050 que la matriz eléctrica futura sea ocupada en una magnitud del 60 % desde electricidad procedente de ERs. Según la tendencia actual, la tecnología PV ocuparía el segundo lugar luego de la eólica, aunque con mayor crecimiento, superando a la hidroeléctrica para ese entonces (Lund 2010). La tecnología PV se desarrolla en varios frentes, en diversos países y en distintas tecnologías. La búsqueda de nuevas células más eficientes y económicas supone una oportunidad para reducir precios e incrementar capacidad. El Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL) publica anualmente las mayores eficiencias y progresión de desempeño PV en distintos laboratorios y centros de investigación (NREL 2015). Los resultados que muestra esta agencia se presentan en la Figura 2.5. En el gráfico se aprecian tecnologías avanzadas como las celdas Multijunction (Celdas de Multiunión), tecnología de gran desempeño que combina distintos materiales semiconductores para incrementar eficiencia; éstas alcanzan, con lentes de concentración, hasta una eficiencia de sobre 46 %. Luego viene el grupo de células de silicio, las más comunes del mercado que están en un rango de eficiencia de entre 20 % y 27 % de eficiencia actualmente. Tecnologías de lámina delgada no basadas en sílice poseen entre 21 % y 23 % y por último nuevas tecnologías PV (materiales orgánicos) de entre 9 % y 12

%, estas últimas muy prometedoras a futuro por poseer el menor impacto ambiental en su fabricación, además se prevé serán sustancialmente más económicas y fáciles de fabricar (Luque y Hegedus 2011; Jelle 2016). Las eficiencias señaladas son obtenidas en laboratorio en ambiente controlado.

No se han demostrado riesgos ambientales o tóxicos que impliquen un peligro inherente 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. Frente a exposición de incendios, los PV son menos inflamables y tóxicos respecto de otros materiales de construcción (Agencia de Protección Ambiental 2014).

2.3.2.2 Tipos de celdas PV habituales en el mercado y edificaciones

Figuras 2.6: Imagen de los tipos de células más habituales de silíce: Monocristalinas, Policristalinas. y Silíce Amorfo (Lámina Delgada) (Reddi Jarayama 2009).

TECNOLOGÍA DE CELDAS	CARACTERÍSTICAS
 <p data-bbox="320 1088 504 1117">Monocrystalina</p>	<p data-bbox="683 869 1297 898">Estructura : Formada por celda sencilla de silicón</p> <p data-bbox="762 931 1257 994">Módulo de Eficiencia típico: 13 % - 20% (17 % a 22 % de acuerdo con SHC e IEA)</p>
 <p data-bbox="320 1346 504 1375">Policristalina</p>	<p data-bbox="683 1137 1273 1167">Estructura formada por multicristales de silicón</p> <p data-bbox="730 1234 1225 1296">Eficiencia Típica de Módulo: 14 % a 16 % (11 % a 17 % de acuerdo con SHC e IEA)</p>
 <p data-bbox="320 1621 520 1650">Lámina Delgada</p>	<p data-bbox="794 1406 1249 1435">Estructura: Formado de silíce amorfo</p> <p data-bbox="655 1480 1393 1570">Módulo de Eficiencia Típico: 6 % a 12 % (4 % a 8 % en celdas amorfas de silicón con otros materiales semiconductores hasta 12 % de acuerdo a a IEA y SHC)</p>

Las células PV más comunes son las de silíce monocristalino, silíce policristalino y de lámina delgada que también pueden ser de silíce u otros elementos semiconductores como Telurio, Cadmio, Indio, etc. Las células monocristalinas fueron las primeras en desarrollarse industrialmente y las más estudiadas, luego las policristalinas, que son un 20 % más económicas en promedio. Las de silíce amorfo o tecnologías de lámina delgada poseen la particularidad de ser el material semiconductor con aptitud de sustentarse en superficies de espesor mínimo, normalmente polímeros livianos, en ocasiones curvables,

traslúcidos y de colores, razón por la cual tienen gran importancia estética para aplicaciones arquitectónicas (*Fig. 2.6*) (Reddi Jarayama 2009). Las tres tecnologías son las más habituales para aplicarse en edificación y están disponibles comercialmente. A futuro se prevén tecnologías muy avanzadas, algunas ya existentes en el comercio como las lámina de origen orgánico, las cuales potencialmente serán más económicas por la reducida cantidad de energía requerida para obtención de la materia prima y para la propia fabricación; adicionalmente están en fase experimental con éxito fotovoltaicos transparentes, hormigón fotovoltaico o pinturas fotovoltaicas, incluso celdas con capacidad de almacenamiento e inclusión de nanotecnología (Jelle 2016).

Figuras 2.7: Ciclo de vida de células cristalinas a partir de sílice. Fuente (SolarWorld Inc. 2013).



Ningún modo de generación energética y eléctrica es completamente benigno con el medioambiente. Los impactos de diferentes tecnologías o mecanismos de obtención energética muestran ser más o menos contaminantes, incluso la sola fabricación de vidrio para captación pasiva. Sin embargo la huella de carbono resultante de la fabricación de las células, con la producción de las propias celdas logra ser cubierta por la energía liberada en su fabricación en 1,5 años para células monocristalinas, alrededor de 2,5 años para células policristalinas y para tecnología de sílice amorfo entre 1,0 y 1,5 años. En consecuencia es esperable contrarrestar entre un 90 % y 96 % de emanaciones al reemplazar los medios convencionales con tecnología PV. Otra comparación es la emanación neta de entre 30 y 50 g de CO₂ (Dióxido de Carbono) para construir una célula PV que puede generar 1 kWh de potencia durante todo su ciclo de vida. Comparada con las emisiones provocadas por una planta de generación termoeléctrica, la magnitud estimada de ahorro de CO₂ está en el orden de entre 20 y 30 veces (Luque y Hegedus 2011). En cuanto a extracción de materias primas, una tonelada de arena para fabricar células fotovoltaicas, ahorran la combustión de 500.000 toneladas de carbón en termoeléctricas (Totten 2013). Otro estudio demostró que con irradiación mínima existente en Londres (1.202 kWh / m² año) en sistemas integrados en techumbres, los márgenes de recuperación y ahorro de emanaciones de carbón son de dos años para colectores ST y

seis años para fotovoltaicos (Croxford y Scott 2002). Adicionalmente las células son totalmente reciclables luego de terminar su vida útil a los 25 o 30 años (*Fig. 2.7*).

Figura 2.8: Suciedad previsible en placas PV privadas de lluvia en Concepción (El autor).



Figura 2.9: Sistemas y servicios de Limpieza PV robóticos y manuales (Nikkei Business Publications 2015; Nanocleansolar 2015).



El mantenimiento de la instalación es importante. La vida útil de estos sistemas se considera con una revisión de por lo menos una vez al año. La limpieza también es esencial, la falta de ésta puede provocar una reducción de rendimiento de un 4 % en 17 días de acumulación en ambientes con polución y polvo, no obstante, las placas bajo la lluvia con el panel dispuesto de forma inclinada, es suficiente para limpiar y devolver la eficiencia, manteniendo las pérdidas solo en un 1 % por suciedad (Smith et al. 2013). En observación realizada por el autor, se puede precisar el nivel de suciedad en un mes de acumulación en Concepción en las placas privadas de lluvia en el Campus de la Universidad del Bio Bio (*Fig. 2.8*), condición también analizada para Santiago de Chile por Cáceres et al. (2014). En localidades en que están masificadas estas instalaciones, conlleva el subsecuente surgimiento de empresas de mantención y limpieza a un costo

accesible y equipadas con herramientas adecuadas (*Fig. 2.9*).

2.4 Posibilidades y limitaciones para la simulación e implementación de sistemas solares activos en arquitectura

Wall et al. (2012) analizan a partir de encuestas realizadas en diversos estudios de arquitectura en Europa y Norteamérica las barreras principales para la integración arquitectónica de colectores solares tanto ST como PV y por qué estos no son considerados durante el diseño arquitectónico. Las principales respuestas para la no aplicación de integración PV son: Costos altos, falta de conocimiento de comitente y/o desarrollador, falta de datos y especificaciones de productos, entre los más importantes. Para la recolección térmica se determinan los siguientes aspectos: Falta de conocimiento del cliente y desarrollador, no existe interés del cliente, falta de productos apropiados para arquitectura, como los tres principales. Ante las principales limitaciones es evidente que se requiere de diseminación de las tecnologías de recolección solar activa. Solamente luego de conocerse las posibilidades y aplicarse con éxito es factible expandir el interés y demanda. También es importante reducir costos, lo cual es improbable que se dé a menos de que se expanda la industria, consecuentemente una situación bloquea a la otra. Así el impulso y fomento de políticas estatales o municipales es esencial para promover inicialmente la industria (Lund 2010; IEA 2009).

En cuanto a aspectos tecnológicos que implican una barrera para la integración se tecnologías solares están: a) Las tecnologías solares tienen una baja versatilidad y poca variedad de productos para integración arquitectónica. b) El conocimiento por lo general incompleto de los arquitectos acerca de las posibilidades de colectores para integración arquitectónica disponibles, los cuales actualmente son productos de innovación poco difundidos. c) El mercado muestra una falta de herramientas, o son complejas y costosas, para adoptar y cuantificar el beneficio de las distintas opciones y aplicaciones solares durante fases tempranas de diseño, cuando se toman las directrices más importantes (Wall et al. 2012).

El último aspecto mencionado incide directamente en la disciplina de la arquitectura. Es necesario compaginar la posible producción energética frente a resultados arquitectónicos y apariencia consecuente. Evidentemente con herramientas manuales simples como el sketch manual arquitectónico o maquetas físicas, se puede prever la influencia de soleamiento, pero no es posible simular demandas resultantes como consecuencia de la forma, materialidad seleccionada, captación pasiva, clima, etc; menos aún la posible producción solar activa. Sin un modelo de pre-dimensionamiento de producción versus demanda, se complica el conocer por parte del proyectista y/o cliente, la ventaja de adoptar o no alguna tecnología de recolección solar. Se ha detectado que las decisiones tempranas proyectuales pueden afectar en un 80 % el desempeño energético final y es una

etapa en que las decisiones del arquitecto son decisivas en el desempeño energético del proyecto (SHC y IEA 2012).

241 1 El Diseño Arquitectónico Energéticamente Eficiente y posible adopción de Tecnología Solar Activa.

La ausencia de diálogo entre arquitectura y los sistemas activos de eficiencia energética es una de las barreras primordiales que limitan la inclusión generalizada de la energía solar (Wall et al. 2012; Attia y De Herde 2010; Gupta et al. 2014). Es necesario seleccionar y decidir diversos aspectos, lo cual es dificultoso sin la capacidad de conocer la influencia de adoptar algún sistema o no hacerlo. Además resulta del predimensionamiento de distintas alternativas y compaginaciones (orientaciones, materialidad, espacialidad, soleamientos, tecnologías renovables o no, etc.). Más allá de que algunos experimentados proyectistas poseen un conocimiento robusto y entendimiento de las distintas estrategias que les permiten presagiar acertadamente el desempeño de diversas opciones de forma más bien intuitiva. Las herramientas de arquitectura idealmente deberían entregar la posibilidad de realizar análisis energéticos rápidos, no necesariamente con alta precisión, pero que ejecuten aproximaciones comparativas ágilmente.

Para posibilitar el análisis energético de modelos, existen múltiples software especializados que permiten realizar estimaciones virtuales relativas a diversas situaciones. Investigación llevada a cabo por el Programa de Calefacción y Refrigeración Solar de la Agencia Internacional de la Energía IEA-SHC, en su Tarea 41 (*Task 41*), encontró en el estado del arte de las herramientas existentes hasta 2012, la presencia de tres tipos: De modelado arquitectónico, de visualización y de simulación ambiental. Existen posibilidades de asociaciones entre modeladores arquitectónicos y simuladores energéticos y de obtención energética renovable, pero implica inter-exportaciones entre software y trabajo adicional.

Muchos de los software de simulación energética no poseen aptitudes para dimensionar posibilidades de sistemas solares activos, otros no entregan una visualización adecuada del sistema implementado. Existe la necesidad de realizar procesos complejos para exportación-importación, con riesgo de pérdida de información o la necesidad de reconstruir los modelos. Para determinar y mejorar el desempeño energético se han desarrollado simuladores ambientales, como Ecotect®, EnergyPlus®, Vasari®, etc, especializados en calcular de manera dinámica requerimientos energéticos y confort. Algunos incluyen herramientas para cálculo de sistemas de captación solar térmica y fotovoltaica o simplemente de irradiación disponible de acuerdo con localización y disposición de la superficie respecto del sol; no obstante están programados independientemente y son aplicables por separado durante el diseño arquitectónico. También se han desarrollado lenguajes para asociar simuladores energéticos con herramientas de diseño arquitectónico, no obstante es importante un paso más, que las herramientas se integren de forma directa con las de diseño cotidiano de arquitectura. Con

ello se facilita el proceso de diseño-simulación en forma rápida, sencilla y automatizada, útiles en etapas tempranas. Los arquitectos y estudios encuestados consideran a las herramientas de simulación como complejas, de difícil utilización y a las simulaciones se las considera costosas y largas, penalizando un flujo de trabajo continuo esperado en esta etapa (Wall et al. 2012; SHC e IEA 2012).

En cuanto a herramientas de diseño arquitectónico están disponibles en plataformas de modelación constructiva Building Information Modeling (BIM), con programas como Revit®, Archicad® o Microstation®, que permiten la elaboración desde volumetrías sencillas hasta geometrías completas y complejas del edificio, estableciendo definiciones constructivas y materiales de instalaciones. Se obtienen resultados planimétricos y tridimensionales automáticos, son los software que más espacio han ganado en la disciplina, útiles en las distintas etapas desde la concepción inicial, se encuentran en crecimiento, desarrollo y diseminación generalizada. Poseen capacidad de asociación interdisciplinar, fundamental para integrar arquitectura con diversas tecnologías. Con el proceso de construcción virtual se ofrece la posibilidad de estudiar niveles de eficiencia energética, pudiéndose determinar y seleccionar materialidad, lógica constructiva, lógica de configuración, de instalaciones, etc. Mientras más completo el modelo, se logran simulaciones más acertadas. Las posibilidades de previsión logrados por el BIM suponen procesos y resultados que colaboran con la eficiencia constructiva y toma de decisiones respecto de diversos aspectos concernientes a la sostenibilidad, incluyendo el energético (Häkkinen 2014). No obstante algunos teóricos como Horvat y Dubois (2012) mencionan en la *Task 41* de la IEA, al respecto de estas herramientas, algunos señalamientos acerca del BIM en etapas tempranas: *“En teoría, aplicaciones BIM son creadas como apoyo del proceso completo de diseño arquitectónico, ellas ofrecen el mayor potencial para optimizar sistemas pasivos y activos, como también su integración arquitectónica con la participación de los arquitectos directamente, pero consideramos que actualmente los programas BIM no están configurados para la Etapa Temprana de Diseño”*, sugiriendo así estos autores que la rigidez del BIM condiciona el modelado inicial, tornándolo restrictivo. Más allá de estas observaciones y a las capacidades previamente descritas, en el año 2011 surge ya un avance relevante como lo es la incorporación de una función de cálculo energético denominada Ecodesigner® en el software BIM Archicad®, el cual permite analizar directamente en el modelo, incluso en etapas iniciales, un pre-dimensionamiento de desempeño energético en el propio desarrollo, sin necesidad de inter-exportaciones entre software. Justamente una sección de esta tesis explora las posibilidades de esta herramienta mientras se analiza la integración arquitectónica de colectores STw simultáneamente. Aunque hasta la versión de Archicad XVIII (2014), Ecodesigner® no posee dimensionamiento de potencial PV. Se analizan las posibilidades de implementación de Tecnología Solar Combi con la herramienta descrita, descifrando a la vez las limitaciones de la herramienta en su utilización durante Etapas Tempranas de Diseño (EDP, *Early Design Phase*).

Para pre-dimensionamiento de capacidad PV existe una herramienta en desarrollo en fase beta denominada RENEWBIM®, aplicable a modelos tridimensionales IFC como lenguaje de interoperabilidad y análisis energético en herramienta BIM, justamente para la interacción entre software (Gupta et al. 2014). No obstante hasta la fecha no se ha podido encontrar reportes de utilización efectiva de la herramienta. Pero según descripción del autor, es necesario ejecutar inter-exportaciones de modelos tridimensionales al software externo, lo cual implicaría ya procesos adicionales externos al modelado BIM.

242 2 Colectores para Integración Arquitectónica

De acuerdo con la descripción de Roberts y Guariento (2009) en su manual de instalación de colectores solares, para que estos estén integrados en arquitectura, deben contemplar las siguientes condiciones estéticas y de desempeño: Color, imagen, tamaño, impermeabilidad y estanqueidad, resistencia al viento, durabilidad, seguridad durante construcción, mantención y durante funcionamiento (consideraciones de presencia de fuego, descargas eléctricas, estabilidad) y costos. Sin embargo el crecimiento de instalaciones integradas en edificios se prevé significativa, así se espera que para el caso BIPV, las instalaciones crezcan mundialmente desde USD de $\$1.8 \cdot 10^9$ en 2009 a $\$ 8.7 \cdot 10^9$ en 2016 (Jelle 2016).

En reuniones de investigadores de la IEA y SHC llevadas a cabo en Alemania, Francia, Italia, Suiza, Suecia, Noruega, Austria, Japón y Canadá, se realizan registros para catalogar productos desarrollados hasta 2009. El estudio refleja usos alternativos adicionales a la captación, en su mayoría de recubrimiento, aunque se observa también cristales, filtros solares y balaustradas (IEA SHC Task 41 2012b). Por ser la mayoría elementos desarrollados para ser utilizados sobre los 45° de latitud o superiores, una gran proporción es creada para ser dispuestos verticalmente en fachadas, especialmente los térmicos.

Si bien existen productos destinados para integración arquitectónica, estos son recientes y poco difundidos. Muchos con eficiencia penalizada frente a captadores típicos, justamente por los requerimientos para ser concordantes con la arquitectura. Por tratarse de elementos tecnológicos novedosos, la falta de conocimiento de instalación es otra barrera para su consideración. El usuario típico no utiliza lo que no conoce y/o ignora el funcionamiento.

En general los paneles de captación fotovoltaica y térmica varían mostrando distintas características geométricas. Tanto en dimensiones como en forma, los colectores PV son muy flexibles respecto a los térmicos, ya que normalmente están compuestos por celdas de dimensiones de máximo 15 cm x 15 cm hasta muy pequeñas, poseen espesores menores, incluso milimétricos o curvables hasta semitransparentes en el caso de tecnología de lámina delgada; se conectan a través de cableado flexible, a diferencia de los térmicos que exigen tuberías o ductos. Otro aspecto esencial y diferente entre ambas

tecnologías es la disponibilidad de almacenamiento, mientras la electricidad puede exceder largamente a la demanda de la propia edificación aprovechándose por completo aunque en distinto lugar, la energía térmica tiene que almacenarse cercanamente, evitándose excedentes para mitigar pérdidas de eficiencia e incluso reducir posibilidad de daño del colector y redes por sobrecalentamiento (Buker y Riffat 2015).

En la reunión de la IEA y su agencia de energía solar sintetizan las principales diferencias, las que se señalan a continuación:

Tabla 2.1: Comparación entre colectores BIST y BIPV formalmente y por condiciones térmicas (IEA SHC Task 41 2012b):

	CARACTERÍSTICA	FOTOVOLTAICOS	SOLAR TÉRMICOS
CONDICIÓN FORMAL	Dimensión típica de módulo	0,1 a 2,0 m ²	1,5 a 3,0 m ²
	Perfil formal, dimensión y flexibilidad	Alta Flexibilidad	Baja Flexibilidad
	Espesor	0,4 cm a 1,0 cm	4,0 a 10,0 cm
	Peso	9,0 a 18,0 kg./m ²	20 kg/m ²
	Estructura de módulo	Módulos laminados	Módulos en capas (separadas).
	Materiales	Vidrio / Celdas de silicón / Tedlar o vidrio u otro material	Vidrio / Aire / Capa absorbente metálica/ sistema hídrico / aislamiento.
	Estructura de Superficie	Capa externa: Vidriado Liso, aspecto acidificado, estructura metálica. Celdas de sílice: Textura variable, Posibilidad de ser traslúcido.	Capa externa: Vidriado Liso, aspecto acidificado. Absorbedor: Textura levemente ondulada, lámina metálica opaca.
	Color	Negro / Variación a azul.	Negro a colores muy oscuros.
CONDICIÓN TÉCNICA	Medio de conversión energético	Electricidad	Agua / Refrigerante
	Medio de Transporte	Cables	Tuberías
	Almacenamiento	Prácticamente ilimitado con conexión a red.	Limitado por requerimiento de edificio / Tanque de almacenamiento acorde a superficie de recolección-uso
	Temperatura de trabajo	Mientras más baja, mejor. / Ventilación posterior requerida.	Mientras más alta mejor sin llegar a ebullición. Requiere aislamiento posterior.

	Impacto de sombreadamiento	Reducción superior en relación con superficie de sombra. Un sector sombreado reduce el desempeño de la totalidad. Riesgo de daño inclusive.	Reducción de desempeño proporcional al sombreadamiento.
	Producción Energética	80 a 120 kWh /m ² por año	450 - 650 kWh / m ² por año
	Precio en Suiza x m ² de captador.	300 - 450 Euros por m ²	300 - 450 Euros por m ²

Entre las características de rendimiento de los colectores y relación con demandas en edificación, éstos se exponen en *Tabla 2.2*.

Tabla 2.2: Tecnologías de colectores para integración arquitectónica y demandas a las que responden (El Autor).

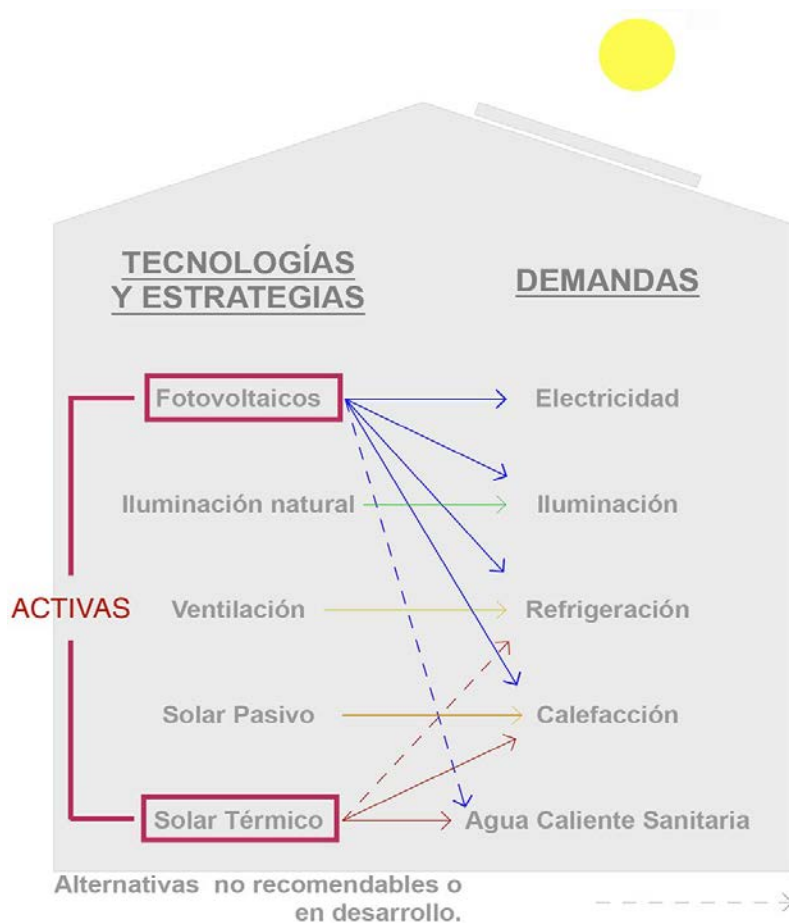
DENOMINACIÓN TECNOLÓGICA	ABREVIACIÓN	ABASTECIMIENTO	EFICIENCIA (Aplicación en edificación)
Integración Arquitectónica de Colectores Fotovoltaicos, Recolección <i>Building Integrated Photovoltaics</i>	BIPV	Electricidad	20% -4%
Integración Arquitectónica de Colectores Térmicos con fluido Líquido <i>Building Integrated Thermal collectors liquid type</i>	BISTw	Térmico	60 % a 80 %
Integración arquitectónica de colectores térmicos con fluido aire <i>Building Integrated Thermal collectors air type</i>	BITa		Hasta 60 %
Integración Arquitectónica de Colectores Híbridos con fluido aire <i>Building Integrated Photovoltaic & Hybrid Solar Collectors /air fluid type</i>	BIPVTa	Térmico & Eléctrico	40 % a 55 %
Integración Arquitectónica de Colectores Híbridos con fluido líquido <i>Building Integrated Photovoltaic & Hybrid Solar Collectors /liquid type</i>	BIPVTw		20 % a 42 %

243 Complementación en Integración Arquitectónica de Tecnologías Térmica y Fotovoltaica

Las tecnologías de recolección activa ST y PV no se contraponen, son más bien

complementarias: “Para reducir al mínimo el consumo de energía fósil es necesario instalar ambas opciones: Térmica y Fotovoltaica, en consecuencia el arquitecto debe conocer ambos sistemas y sus implicancias” (IEA SHC Task 41 2012b). Según la función del edificio se requiere de ambas simultáneamente y en correlación respecto de las demandas por solventar. Edificaciones para uso residencial presentan ambos consumos, aunque oficinas, colegios, comercios, hospitales, presentarán distintos proporciones de requerimientos. En qué medida se puede resolver las demandas viene supeditada por la función y es una de las variables que debe idealmente considerar el arquitecto. La tercera opción es la integración de colectores híbridos, los cuales, a través de una superficie de recolección, generan electricidad y temperatura. La limitación de esta posibilidad es la proporción en producción de uno u otro tipo de energía, ya que ésta es rígida y no necesariamente coincide con la proporción de demandas que satisfacer (Fig. 2.10).

Figura 2.10: Interrelación de abastecimiento solar frente a demandas en edificaciones. (IEA y SHC 2014).



Asimismo, no es recomendable la conversión directa de energía eléctrica a térmica, porque la primera es de mejores características en cuanto a exergía¹. Las energías térmica y eléctrica no deben equipararse, se debe utilizar el concepto de exergía que mide la

¹Parámetro que mide calidad de energía y posibilidad de inter transformación.

²Cuando la energía renovable, en esta caso las obtenidas de fuente solar, alcanzan el valor comercial local.

energía como forma útil de trabajo. Bajo este criterio si consideramos la obtención de electricidad por termo-generación, una proporción razonable es 3,5 unidades térmicas para obtener una eléctrica (Coventry y Lovegrove 2003), en consecuencia la alternativa es utilizar una bomba de calor con un Coeficiente de Desempeño (COP) superior a 4.

Pathak, Sanders y Pearce (2014), determinan una superior magnitud en exergía para aprovechamiento residencial al combinar y comparar colectores PV, PVT (a y w) y ST w , siendo superior los colectores PVT. No obstante, no se realiza un análisis de las demandas que efectivamente denoten márgenes logrados de abastecimiento, tampoco consideran la geometría de techumbre como limitante para una máxima producción. Otros estudios revisan el balance de producción ST y PV frente a demandas residenciales, pero comparando las distintas producciones y exergía resultante según localización (Kalogirou y Tripanagnostopoulos 2006).

244 4 Colectores para Integración Arquitectónica aplicables en Techumbres Inclinas

Los complejos de techumbre de conjuntos de casas analizados en esta tesis poseen superficies inclinadas expuestas al exterior, su composición implican faldones con distintas formas y dimensiones, en consecuencia aptitudes. Es importante conocer en qué proporción es posible aprovechar la irradiación, ya que cada faldón poseerá distinta capacidad de recolección solar de acuerdo con los factores descritos. Ello también va supeditado por la forma y dimensión de las secciones.

En faldones con mejores aptitudes por caso se pueden desplegar distintas tecnologías de colectores en concordancia con necesidades energéticas. Entre las opciones tecnológicas consideradas con utilidad para aplicación en Concepción están: Recolección BIPV, Recolección BIST w , Recolección BIPVT a , Recolección BIPVT w . A su vez esta investigación plantea el despliegue de asociaciones entre tecnologías respondiendo a las demandas en distintas proporciones. En la *Figura 2.9* se muestran las posibilidades de abastecimiento solar activo y pasivo de acuerdo con demandas típicas de edificación. Con generación eléctrica PV se pueden suplir todas las demandas, no obstante ya se describió previamente la ineficiencia consecuente de utilizar electricidad para cubrir demandas térmicas, a menos que se requiera disipar excesos en red o con bomba de calor de alta eficiencia. La refrigeración con recolección solar térmica es posible pero es una opción aún en desarrollo, por ahora a un alto costo y con potencial en donde priman las demandas de refrigeración. Aunque se vislumbra la alternativa de compaginación de abastecimiento térmico y de refrigeración con solamente la inclusión de colectores solares térmicos (IEA SHC Task 48 2015). Experimentalmente se ha demostrado que con recolección híbrida se

alcanza un costo de entre USD 0,10 por kWh en India hasta € 0,08 por kWh en el Reino Unido (Buker y Riffat 2015), precios que han alcanzado el *Grid Parity*² local.

A continuación se realiza la descripción de las opciones tecnológicas de recolección solar activa para integración arquitectónica previamente señaladas, compaginando a la vez con el listado de productos presentados en los Anexos :

2.4.4.1 *Colectores Planos no vidriados en placa continúa BISTa y BISTw:*

Son productos útiles para precalentamiento de agua o aire a baja temperatura. En integración arquitectónica poseen la particularidad de asemejarse a placas de recubrimiento metálicas, normalmente difíciles de identificar como captadores, se integran por mimesis o bajo una superficie que tiene la apariencia de una teja. Los de fluido líquido son utilizados normalmente para calentamiento de agua en piscinas en el verano o en lugares cálidos, ya que poseen limitada acción en ámbito frío o época fría por su falta de aislamiento al exterior, ello conduce a la pérdida rápida de las ganancias térmicas alcanzadas; los de fluido de aire son más sencillos y poco eficientes, no son habituales para cubrir demandas residenciales en climas fríos, justamente por el bajo desempeño en invierno. Constructivamente se pueden soportar en una subestructura como habitualmente se instalan placas metálicas de recubrimiento, incluso con mayor distanciamiento entre apoyos considerando que existe mayor inercia justamente por la presencia de doble capa; no obstante es necesario considerar el peso adicional en el caso de colectores con fluido líquido. Si la prioridad es abastecer demandas calefacción, es adecuada una inclinación superior a la latitud, para priorizar la recolección en invierno, en el caso de Concepción una inclinación de entre 45 ° y 50 ° (En Anexos productos 1, 2 y 4).

2.4.4.2 *Colectores BISTw y BIPV planos con expresión de tejas o fajas con traslape:*

Son captadores que se incluyen en placas con formato y/o apariencia de tejas o planas sobrepuestas con traslape. En los mencionados elementos discurre internamente agua o glicol por tuberías. Poseen eficiencia baja pero por su aspecto pueden mimetizarse adecuadamente como tejas típicas, a veces difícilmente identificables como colectores STw. Constructivamente el apoyo de los colectores es similar el requerido por tejados, considerando que son dimensiones menores de cada "Teja colectora" o "Faja Colectora". No obstante es necesario la interconexión en red de los distintos colectores. La inclinación para maximizar en balance anual de producción eléctrica PV para Concepción es alrededor de 25 °; para maximizar la producción térmica en períodos fríos y evadir sobrecalentamiento en verano, lo recomendable para recolección BISTw en Concepción es entre 45 ° y 50 ° (En Anexos los productos: 3, 5, 6, 7, 11, 12, 19, 27, 29).

² Cuando la energía renovable, en esta caso las obtenidas de fuente solar, alcanzan el valor comercial local.

2.4.4.3 *Colectores BISTw planos vidriados para integración arquitectónica:*

Estas placas planas vidriadas generalmente rectangulares, respetan en buena medida la configuración de los colectores STw no configurados para integración arquitectónica. Estos colectores tienen las condiciones y adecuación en sí mismos para constituir parte de un recubrimiento y ser envolvente. Poseen mayor eficiencia respecto de los colectores térmicos no vidriados, pero por lo general su configuración y adaptabilidad es más rígida, siendo más importante una correcta modulación. Se acoplan coherentemente en los faldones que poseen superficies con forma regular ortogonal. Los apoyos pueden colocarse a mayor distancia respecto al caso con tejas o fajas captadoras, aunque es necesario considerar un peso importante de los colectores, más aún con líquido corriendo internamente. Para maximizar la recolección térmica y evitar sobrecalentamiento en verano es recomendable una inclinación entre 45 ° y 50 ° (Ver en Anexos productos: 8, 9, 10, 13, 14, 15 y 16).

2.4.4.4 *Colectores BIPV tipo lámina delgada:*

Esta tecnología fotovoltaica tiene la particularidad y capacidad de adherirse y ser soportada o adaptarse a superficies de distintos materiales, incluso de muy poco espesor o transparentes. En consecuencia pueden tomar distintos aspectos de integración, pueden curvarse o pasar desapercibidos como una mica en un cristal. Por ello toman la apariencia en concordancia con el soporte donde están sujetos o adheridos. Justamente por la levedad y capacidad de adaptarse en diversos soportes, la integración constructiva se da justamente en consecuencia, pudiendo ser un vidrio, una teja, una placa rígida plana u ondulada, etc. . Para maximizar la producción de estos colectores en balance anual, la inclinación adecuada es de alrededor de 25 ° para Concepción (Ver en Anexos productos: 20, 21, 22, 23, 28, 31, 32, 33, 34 y 35).

2.4.4.5 *Colectores rectangulares BIPV, BIPVTa o BIPVTw con capacidad estanca y resistencia mecánica:*

Son placas monocristalinas o policristalinas con geometría de colectores PV, STw o híbridos tradicionales rectangulares, pero están configuradas para adaptarse contiguamente unas con otras, enlazándose y componiendo una superficie contigua estanca, con apoyo de remates estancos incorporados en sí mismos o en elementos como perfile metálicos que se acoplan entre sí, diseñados específicamente para tal cometido. Por lo general existen elementos adicionales complementarios para juntas, además de remates de borde para los contornos. Considerando que los colectores producen electricidad y temperatura, la inclinación ideal supone en buena medida, que se procura priorizar, no obstante una inclinación cercana a la latitud (36 °) sería adecuada (Ver en Anexos productos: 17, 18, 24, 25, 26, 30, 36, 37, 38, 40, 41, 45, 48, 49, 51, 53 y 55).

2.4.4.6 *Colectores BIPV y BIPVTa con ventilación y posibilidad de aprovechamiento térmico:*

Se tratan de placas PV dispuestas sobre cámara de aire, poseen la alternativa de aprovechar la temperatura resultante para contribuir con distintas demandas térmicas. La

placa inferior, generalmente metálica o plástica y estanca, se despliega sobre una subestructura similar al caso de placas de techumbre típicas. La superficie superior está conformada por celdas PV de tecnología Monocristalinas o Policristalinas, sujetas a la lámina metálica inferior. El aspecto exterior resultantes es la expresión y tonalidad oscura característica de celdas PV Mono o Policristalinas. Considerando el funcionamiento físico de estos colectores, dependiente en buena medida del efecto de convección suscitado internamente, una inclinación importante es adecuada, superior a la latitud de Concepción , entre 45 ° y 50 °(Ver en Anexos Productos: 38, 39, 42, 43, 44, 46, 47, 50, 51, 52 y 54)

2.5 Tecnologías para recolección solar activa con capacidad de integración en techumbres inclinadas

251 1 Situación

En los Estados Unidos se reporta para el año 2013 que el 28,6 % de generadores PV han sido instalados en edificaciones, tanto para uso residencial como industrial (Solarbuzz 2014). A escala mundial se estima que en el 2013, entre el 25 % y 35 % de generadores PV corresponderían a instalaciones residenciales (Rickerson y IEA 2014).

Sin embargo, bajo la perspectiva de integración de colectores en techumbres de casas, son intervenciones que aunque quedan expuestas en el aspecto general por color y textura característica de las placas PV o ST_w, normalmente su expresión no impacta significativamente en el aspecto estético si existe una compaginación adecuada. Es decir, cuando están en concordancia con la forma y apariencia global de la superficie de soporte. Cuando existe el requerimiento de una máxima producción, la principal consecuencia son faldones captadores con una extensión considerable y forma regular, justamente para incluir más colectores, ello conlleva a provocar techumbres sencillas con pocas particiones. No son habituales la utilización de celdas PV en láminas traslúcidas o celdas transparentes en tragaluces residenciales, estas tecnologías son comunes a edificios de escala significativa comerciales, corporacionales, etc. El remplazo de tejas o placas de recubrimiento de techumbre inclinadas propician aspectos característicos en textura y cromática. El aspecto de las celdas generalmente es liso y oscuro, normalmente las placas que incluyen varias celdas poseen un formato rectangular o en franjas en donde sobresalen en mayor o menor medida las juntas entre placas y/o entre celdas. También existe la opción de productos con formas onduladas de tejas de arcilla, normalmente adhiriendo PV de tipo lámina delgada en plaquetas en forma de tejas, las cuales por tecnología presentan menor eficiencia (*Producto 31 en Anexos*), o algunas alternativas de colectores térmicos que sacrifican rendimiento al acoplar láminas transparentes onduladas solamente por apariencia o que buscan mimetizarse como recubrimiento de techumbre típico (*Producto 12 en Anexos*). El debate está entonces en si los colectores deben tener el aspecto de tales de forma natural o tomar el aspecto de otras superficies de techumbre más tradicional como la teja, escondiendo su condición de captador solar. En todo caso

puede ser subjetivo el calificar estéticamente la apariencia de los colectores y quizás, según requerimientos, es más adecuada la primera o segunda opción. Más bien se pueden observar resultados negativos cuando se da el remplazo parcial de los recubrimientos típicos con productos de captación con aspecto distinto a la superficie de techumbre, resultando en un contraste que difícilmente queda en concordancia coherente, en especial cuando existe una cromática y textura diferente, efecto acentuado al remplazarse solamente una parte del faldón (Fig.2.11).

En cuanto a la integración de colectores térmicos, aquellos utilizados en vivienda poseen normalmente fluido líquido. En techumbre éstos pueden presentar una apariencia muy similar a los PV descritos previamente, sin embargo físicamente tienen por lo general una sección superior, son más pesados y al contrario de los PV, requieren aislamiento posterior para minimizar las pérdidas térmicas. Necesitan espacio para el recorrido de tuberías, las que por lo general están dispuestas en los costados e impiden así que la superficie absorbente quede contigua como sucede entre placas PV. Además son poco comunes las instalaciones de colectores térmicos que ocupan un faldón entero, ya que por lo general están limitados en la obtención y utilidad de excedentes.

Tanto la orientación como la inclinación de los colectores influyen en la capacidad de recolectar irradiación, pero se ha demostrado que existe una tolerancia importante frente a estas variaciones y no es necesario que encaren directamente hacia el Ecuador. Con un desvío respecto al norte de 45° en una latitud similar a Concepción, como Grecia o Chipre, se ha medido una reducción de sólo el 5 % de irradiación anual disponible; con desvío de 45° e inclinación de 16° inferior a la óptima se reduce la irradiación entre 6 % a 7 %. Incluso con desvío de 90° la reducción es solamente del 18 % en irradiación anual (aunque con pendiente inferior a la óptima), es decir, con un potencial importante aún (Bougiatioti y Michael 2015). Reducciones similares son mencionadas por Luque y Hegedus (2011).

Figura 2.11: Colectores Solares con aspecto típico (ICAX 2007) y colectores integrados remplazando parte de un faldón y distinta cromática y textura (Wienerberger 2015).



252 2 Consideraciones
tecnológicas-funcionales para
integración en viviendas unifamiliares de Concepción

Entre los colectores descritos previamente existen posibilidades diversas de integración en correspondencia con las demandas. Para el caso de Concepción, es necesario considerar la gran magnitud de requerimientos térmicos sumados a los eléctricos existentes. En consecuencia es necesario considerar la producción térmica y eléctrica pero con posibilidad de contribuir en alguna medida con la calefacción. La tecnología PV posee la potencialidad de instalarse a gran escala sin prever limitación por exceso de producción por ser ésta útil externamente, no obstante esta tecnología, como se mencionó, posee eficiencia inferior y es más costosa. La forma más eficiente, sencilla y económica de uso de energía solar activa es utilizarla para abastecer demandas térmicas en la mayor medida posible: Agua Caliente Sanitaria (ACS) y Calefacción; luego la producción eléctrica PV debería destinarse a suplir demandas residenciales, además con posibilidad de exportar los excedentes en caso de sobreproducción.

A continuación se entrega una serie de alternativas tecnológicas que implican la posibilidad de integrar calefacción adicionalmente a las demandas típicas de ACS y electricidad.

2.5.2.1 *Tecnología Solar Combi (Solar CombiSystem) integrado en vivienda*

Se denomina captación solar en sistema Combi a la implementación de colectores térmicos STw con fluido líquido para cubrir calefacción conjuntamente con ACS. A partir de colectores STw normalmente planos o de tubos de vacío se recolecta calor solar y se transfiere a fluido líquido para ser llevado a un almacenamiento para contribuir a satisfacer demandas térmicas. La limitación de esta tecnología es la mínima irradiación existente cuando está presente el mayor requerimiento, especialmente para calefacción. Esto supone que al igual que para suplir ACS, sea necesario un sistema de respaldo normalmente obtenido con energía tradicional (eléctrica, gas, pellet, etc.). Un dimensionamiento excesivo para cubrir una considerable fracción de demanda energética durante meses de irradiación mínima implica el desechar gran volumen de temperatura en primavera y verano, por lo que es más adecuado cuando existen usos alternativos, como por ejemplo una piscina para uso estival. La energía térmica recolectada en líquido es distribuida internamente a través de losa radiante o radiadores, la primera opción es la más adecuada, ya que requiere menor temperatura de trabajo, la losa radiante actúa también como almacenaje térmico, además se trata de un sistema de calefacción comfortable (Relaño Peña 2010).

Se estima que a escala mundial solamente el 5 % de colectores STw son utilizados para abastecimiento de calefacción y ACS residencial simultáneamente (frente a 85 % utilizados solo para ACS). No obstante en mercados en donde la tecnología está largamente

introducida y en donde los costos energéticos son importantes (Gran parte de Europa y Japón), en el año 2010 las instalaciones para solo ACS representaron menos de la mitad, contrariamente las instalaciones solares Combi, con o sin respaldo de redes urbanas de calefacción, sumadas a alternativas de refrigeración, van en constante incremento (Weiss y Mauthner 2012). A pesar de la limitación existente debido a la baja irradiación en temporadas frías en la gran mayoría de locaciones, se ha estimado que mundialmente se puede abastecer entre el 30 % y 40 % de la demanda mundial de calefacción con recolección térmica solar activa (Buker y Riffat 2015).

Existen varios modos de implementar la integración integral y funcionamiento de la tecnología Combi. Un extenso estudio se realiza desde el año 2000 al 2003 por parte de la Agencia Internacional de la Energía en su *Task 26*, en el cual se lleva a cabo el análisis de varios sistemas desarrollados en Austria, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Suecia, Suiza, Holanda y Estados Unidos. Se identifican 21 tipos o formas de implementar la tecnología Combi, variaciones que corresponden a combinaciones de distintas características: Por forma de almacenamiento (Con almacenamiento en fluido o sin almacenamiento en fluido sino solamente en masa térmica inherente a la losa radiante); en el caso de poseer almacenamiento líquido, éste puede corresponder a almacenamiento conjunto o por separado de ACS y calefacción; de acuerdo con el tipo de almacenamiento, los estanques pueden considerar estratificación o no; de no considerarse estratificación ésta puede darse de forma natural o a través de sistema de gradación térmica que provoca una estratificación más efectiva (estratificadores). El almacenamiento puede considerar reserva estacional en gran volumen de masa térmica para un grupo de viviendas o edificaciones, posible con grandes superficies colectoras (IEA SHC Task 26 2000).

Helena Gajbert (2008) ha analizado y modelado distintas alternativas para recolección Combi. Ella determina que la disposición de colectores de forma vertical incrementa la irradiación directa en meses con baja altura solar y la irradiación de verano se ve reducida con incidencia de manera más tangencial. En su estudio también menciona la necesaria adopción de medidas de eficiencia energética pasiva, con ello se logran márgenes importantes de abastecimiento.

2.5.2.2 *Captación Solar Híbrida BIPVT integrada en vivienda*

La recolección solar híbrida o Fotovoltaica-Térmica resulta de la superposición de tecnologías ST y PV en un solo dispositivo, funcionando bajo el principio de refrigeración de células para evitar su sobrecalentamiento y consecuente disminución de eficiencia eléctrica. El excedente térmico tomado por el refrigerante es conducido para abastecer demandas térmicas directamente o es almacenado y utilizado de modo similar que en las instalación de colectores ST planos típicos. Las células PV son a la vez superficie absorbente térmica. Los colectores híbridos pueden poseer acristalamiento externo para priorizar e incrementar la producción calórica, no obstante cuando la temperatura interna del colector se incrementa mejorando la producción de calor, se penaliza la eficiencia

eléctrica (Athienitis et al. 2011; Chow 2010; Buker y Riffat 2015). A pesar de ser una tecnología de reciente aplicación ha sido investigada desde principios de la década de los 70, como posibilidad para abastecimiento residencial (Wolf 1975).

Los colectores híbridos poseen un sistema de refrigeración por convección, efecto producido a través de fluido líquido o de aire. Por cada ° C de sobrecalentamiento de una célula PV, ésta pierde entre 0,40 % y 0,53 % de eficiencia. Se han observado penalizaciones de rendimiento hasta de un 25 % por sobrecalentamiento, situación muy probable durante día cálido y soleado (IEA SHC Task 41 2012b). Los fluidos caloportadores que refrigeran las células trasladan energía térmica para suplir demandas residenciales como calefacción o ACS (Zondag 2008; Kolokotsa et al. 2011; Chow 2010).

La ventaja de utilizar aire como fluido de recolección/refrigeración es evitar problemas como sobreproducción, sobrecalentamiento y déficit de almacenamiento, que son los principales limitantes para implementar la tecnología Combi, porque el evacuar la energía térmica residual en aire no presenta dificultad. La producción por m² de captación se puede incrementar en 433 % en energía neta recolectada y un 212 % en energía útil (Athienitis 2007). Al comparar colectores ST con PV e híbridos en la latitud de Japón (43 ° N), se ha determinado que el índice de eficiencias es 46,2 %; 10,7 % y 42,6 % respectivamente. De donde se deduce que existe pérdida en la recolección global de la tecnología híbrida frente a la térmica, bajo criterio de cantidad neta. Sin embargo si se analiza en términos de exergía, las eficiencia de los colectores ST, PV e híbrido han demostrado rendimientos de 4,4 %, 11,2 % y 13,3 % (Saitoh et al. 2003), siendo el térmico el de inferior desempeño y el híbrido de superior.

La conveniencia de implementación de captación híbrida con fluido líquido o de aire se define según condiciones climáticas. La IEA y su agencia Solar Heating & Cooling Program (2007) en su *Task 35* pudo definir que en Canadá la opción de recolección con aire es adecuada y representa una alternativa viable. Pero la industria sueca, al contrario, la descartó por el nivel de irradiación y desbalances extremos estacionales. Este sería un indicio importante de que la recolección híbrida integrada en edificación puede ser una alternativa importante para Concepción y la zona sur de Chile, porque existe incluso más irradiación que en la mayor parte de Canadá y las demandas térmicas también son predominantes, siendo esta característica una de las principales motivaciones de esta tesis. Sin embargo es importante en el futuro detectar rendimientos reales en probetas de recolección adaptadas en viviendas habitadas.

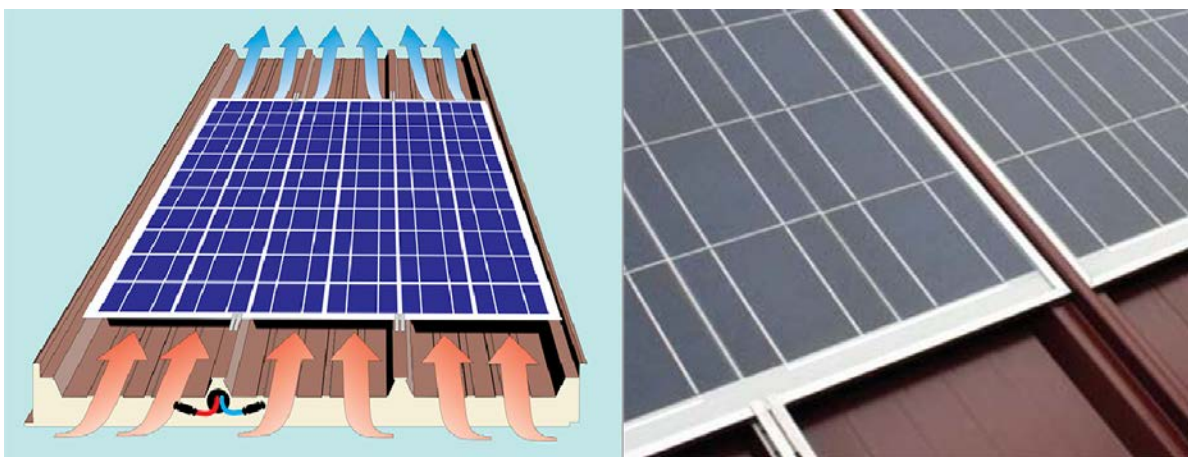
- *Captación Solar Híbrida con Fluido Aire BIPVTa*

La tecnología de captación solar Híbrida Térmica-Fotovoltaica con fluido aire (*Building Integrated Photovoltaic & Thermal air type*) es un sistema que supone la ventilación con aire como refrigerante bajo las células PV. Este efecto provoca por un lado el enfriamiento de las células mejorando su desempeño eléctrico, además la energía térmica evacuada

puede conducirse para contrarrestar demandas térmicas. La refrigeración de las células tiene la capacidad de mejorar la producción eléctrica en una cantidad suficiente para energizar la ventilación mecánica, fuerza necesaria como regulador de volumen y velocidad de aire (Bambook y Sproul 2010). Esta tecnología es factible de implementar con placa metálica ondulada, material de cierre de techumbres habitual en las viviendas de la zona Centro Sur de Chile, en ellas se superponen celdas PV (construidas para el caso) que sirven de placa de absorción térmica (Hachem 2012; Athienitis et al. 2011; Agrawal y Tiwari 2010; Solarwall 2015).

La refrigeración de células es a través de cámara de aire que discurre desde el borde inferior de faldón en caso de faldones de techumbre. El aire conforme adquiere temperatura sube por diferencial de densidad y con colaboración de ventilación mecánica para ser conducido al interior. La velocidad del aire permite optimizar la eficiencia tanto eléctrica como térmica, el exceso de refrigeración si bien incrementa la producción eléctrica, reduce la eficiencia térmica. La mejora en producción eléctrica se estima que permite por lo menos abastecer el consumo eléctrico del ventilador. Contrariamente una baja refrigeración provoca la disminución en desempeño eléctrico. En consecuencia es importante la regulación de velocidad del aire lo cual viene condicionado por las características de la localidad, temperatura ambiente y niveles de irradiación (Shahsavari y Ameri 2010). En verano se supone que el aire luego de refrigerar las células se disipa al ambiente, o puede contribuir para precalentamiento de ACS (Hachem 2012). Aunque prioritariamente los colectores híbridos con aire son una opción para reducir demandas térmicas, también contribuye a reducir demandas de refrigeración, al utilizar el mismo principio de convección de células produciendo a la vez el efecto de fachada ventilada (Lai y Lin 2011; Kalogirou 2015).

Figuras 2.12: Imagen de Placas PV acondicionadas para ser integradas en placa ondulada de techumbre sobre ductos de aire internos para refrigeración (Fuente: Sitav Engineering 2011)



Si bien al aire facilita evacuar los excedentes térmicos, no obstante el almacenamiento es menos eficiente y limitado, respecto de utilizar un medio líquido (Hussain et al. 2013). El calor conducido por el aire es factible de almacenarse en masa térmica en los propios

elementos constructivos de la edificación o a través de intercambiador aire-agua en medio líquido, para contribuir con calefacción y ACS respectivamente (*Fig. 2.12*).

Con captación BIPVTa en el ámbito residencial en Atenas por ejemplo, ciudad localizada a similar latitud de Concepción, se ha medido un abastecimiento que significa un ahorro en calefacción y refrigeración conjuntamente de entre 48 % y un 25 % respectivamente (Vokas, Christandonis y Skittides 2006); no obstante Atenas posee un promedio de temperatura superior al de Concepción (18,1 ° C) (Climate Data Org 2015). Otro estudio de esta tecnología llevado a cabo en latitud similar a Concepción (36,48 ° Lat. S), en la localidad india de Srinagar (35 ° Lat. N), zona con importante demanda para calefacción por altitud (1600 msnm), los investigadores Agrawal & Tiwari (2010) examinan diferencias de desempeño con colectores híbridos con fluido aire en relación con el recorrido de canales bajo celdas (de forma paralela o en serpentín). Concluyen que el rendimiento promedio es $\eta_e = 14,5\%$ y térmica $\eta_t = 39,2\%$, con inclinación de colectores a 35 °. Otro estudio a latitud levemente inferior, en Sydney, Australia, en localización de 34 ° S, muestra una relación eléctrica / térmica de producción neta de 1 / 3,62 (3,2 kWh eléctrico/ 11,6 kWh térmico) (Bambook y Sproul 2010). Estos márgenes son levemente superiores a aquellos encontrados por Hachem (2012) de $\eta_e = 12\%$ y $\eta_t = 36\%$, no obstante este estudio considera esta última relación por ser más conservadora. En la *Tabla 2.3* se muestran algunos desempeños tomados desde la literatura, los cuales señalan eficiencias esperadas de colectores BIPVTa.

Tabla 2.3: Comparación de eficiencia térmica-eléctrica de distintos colectores híbridos PVTa. Fuente: (Hachem 2012; Ito y Miura 1993; Tripanagnostopoulos et al. 2002; Nagano et al. 2003; Agrawal y Tiwari 2010; Solanki, Dubey y Tiwari 2009; Haurant, Ménézo y Dupeyrat 2014)

Eficiencia Térmica y Eléctrica de Colectores PVT con fluido aire a				
Autor	Tipo Colector	Eficiencia Térmica η_t	Eficiencia Eléctrica η_e	Observaciones
(HACHEM C.,2012)	PVTa	37,50%	12,50%	En base a modelos matemáticos
(ITO & MIURA,1993)	PVTa	40%	-	Modulos parcialmente transparentes
(TRIPAGNASNOSTOPOLOUS Y., et al, 2002)	PVT a	38%	10,2-12,2	Células Silice Cristalino NO Vidriado
(NAGANO K., et al, 2003)	PVTa	29 % a 37 %	-	Con colectores PVT No Vidriados respectivamente
(AGRAWAL B. & TIWARI G., 2010)	PVTa	39,2	14,5	Eficiencia eléctrica en condición promedio
(SOLANKI SC., et al, 2009)	PVTa	42%	8,40%	Colector VIDRIADO condiciones de laboratorio
(HAURANT P., et al, 2014)	PVTa	36%	8,50%	Colector Vidriado Instalación real en techumbre 45°

- *Captación Solar Híbrida con Fluido Agua BIPVTw*

Los colectores para integración arquitectónica BIPVTw resultan de la superposición de tecnologías térmicas con fluido refrigerante líquido (STw) y PV en un dispositivo captador o placa. Funcionan bajo el principio de refrigeración de células para evitar sobrecalentamiento pero esta vez con fluido líquido. El excedente térmico tomado por el refrigerante es almacenado y utilizado de modo similar que en colectores ST típicos. Las células PV son a la vez superficie absorbente térmica. Los colectores híbridos pueden poseer acristalamiento externo para priorizar e incrementar la producción calórica, pero

cuando la temperatura interna del colector incrementa mejorando el desempeño térmico, se penaliza la eficiencia eléctrica, tanto por sobrecalentamiento como por reflejo que implica el acristalado (Chow 2010).

Los colectores PV y STw por separado son comunes en el mercado, estas tecnologías presentan eficiencias características. Sin embargo, en varios estudios referentes se han medido diversos desempeños, aunque con alta variación dependientes del caudal de refrigeración. Varios estudios señalan rangos similares de comportamiento de colectores para modelos híbridos con fluido líquido o aire, dependiente del ensayo utilizado, almacenamiento, demanda prevista, etc. Comparativamente el desempeño térmico de colector híbrido respecto de colector STw tipo placa plana, se ha encontrado una reducción de eficiencia de alrededor del 29 % con limitada refrigeración hasta un 50 % con abundante refrigeración. Los colectores con fluido líquido comercialmente poseen formato ortogonal rectangular, los cuales pueden ser sobrepuestos o integrados arquitectónicamente (Solimpeks 2010).

Por último, al comparar las tablas 2.3 y 2.4 se muestra superioridad instantánea de eficiencia térmica de los colectores híbridos con refrigerante líquido respecto de los de aire, por el mayor calor específico del agua (Zondag 2008). Colectores refrigerados por aire alcanzan entre un 29 % y un 42 % de eficiencia³, aunque mejor desempeño eléctrico respecto de colectores con fluido líquido. Las eficiencias encontradas en colectores híbridos con fluido líquido están entre 40 % y 59 %.

Tabla 2.4: Comparación de eficiencia de térmica-eléctrica de distintos colectores híbridos PVTw. Fuente: (Zondag 2008; Tonui y Tripanagnostopoulos 2007; Cristofari, Notton y Canaletti 2009; Lazarov et al. 2005; Tripanagnostopoulos et al. 2002)

Autor	Tipo Colector	Eficiencia Térmica η (%)	Eficiencia Eléctrica η (%)	Observaciones
(ZONDAG H,2008)		40,0 - 59,0	7,5 a 8,9	Colectores Vidriados
(ZONDAG H,2008)		0,0 - 52,0	8,5 a 9,7	Colectores NO Vidriados (0 eficiencia térmica con abundante fluido)
(TONUI G. & TRIPANAGNOSTOPOULOS Y.2007)	PVTw	52,0	9,0 y 10,0	Estudio comparativo entre colectores Vidriados
(CRISTOFARI C., et al, 2009)		55,5	12,7	Absorbedor de Policarbonato
(LAZAROV V. et al, 2005)		48,3	11,7	Colector Vidriado y célula silice policristalino pc-S
(TRIPAGNASTOPOULOS Y., et al, 2002)		55,0	10,0 a 12,5	Células Silice Cristalino NO Vidriado

2.6 Definiciones de integración, formales y estéticas de adaptación de colectores en edificación.

El adaptar colectores solares a un edificio implica distintas posibilidades en cuanto a la relación colector-edificación según diferentes parámetros: Emplazamiento, acoplamiento

³ Eficiencia de 42 % es alta para colectores con tipo aire, hay que aclarar que este ensayo se realiza en condiciones de laboratorio controladas.

constructivo, acoplamiento estético, acoplamiento formal, relación del colector con la envolvente, etc. En el caso residencial de Chile concretamente se ha adoptado la instalación de placas solares guardando poca o ninguna relación con la arquitectura. En el caso de viviendas unifamiliares, se acoplan los dispositivos sobre techumbres o terrazas, en el mejor de los casos superpuestos de forma paralela a la superficie envolvente o en lugares poco visibles (*Fig. 2.13*).

La integración arquitectónica de colectores debe estar en concordancia con las demandas existentes, logrando energía utilizable para uso propio y en segunda instancia útil para contribuir con la red pública (Athienitis y O'Brien 2015; Hachem 2012; Munari 2009). Los captadores no deben aparecer como inserciones forzadas, sino más bien ser implementos complementarios lógicamente dispuestos e intencionados y con tecnologías en concordancia con las demandas (Wall et al. 2012). Es evidente que sin la metabolización de parte de la disciplina de la arquitectura de las tecnologías solares estamos frente a una barrera que limita su inclusión, propensos al rechazo por parte de arquitectos y comitentes. La integración de colectores solares en edificación debería implicar ahorro económico y constructivo respecto a los casos de colocación de manera sobrepuesta, deben ser capa cobertora (cerramiento y captación) o presentar utilidad funcional (balaustradas, sombrillas, etc.) simultáneamente (Jelle 2016). En cuanto al aspecto resultante, los colectores deben estar sometidos a las mismas consideraciones estéticas al igual que cualquier elemento de la obra (*Fig. 2.13*).

Figura 2.13: Captadores Térmicos colocados en vivienda en Chile. Fuente: Comercializadoras e instaladores de sistemas térmicos solares de Chile (Fuente: Empresas de Instalación Solar térmica)



Figura 2.14: Colectores solares térmicos y fotovoltaicos integrados a la arquitectura (Fuente: IEA,2012)



261 1 Determinación de integrabilidad de colectores en edificación

La normativa chilena reconoce tres relaciones formales constructivas y estéticas de colectores respecto a edificación (CDT 2007): Colectores colocados en edificación, colectores sobrepuestos en edificación y colectores integrados arquitectónicamente.

2.6.1.1 *Colectores simplemente colocados*

Se consideran que colectores solares están simplemente colocados cuando se emplazan en una edificación sin guardar relación alguna con la edificación de la cual se sustentan y abastecen. Su apariencia está en contrasentido geométrico respecto de la forma del perfil formal de la edificación, no se aprecia una compaginación aspectual intencionada respecto al edificio y su composición, es decir, sin diálogo formal, material, de color, etc. Muchas veces es el resultado de la búsqueda de captación de irradiación máxima, o simplemente por economía o facilidad de instalación. En el caso de los colectores STw, generalmente el tanque de almacenamiento está expuesto al exterior del edificio, ello conlleva que el volumen incremente el contraste del colector frente a la composición volumétrica. Desde el punto de vista arquitectónico sería la opción menos deseable.

2.6.1.2 *Colectores superpuestos en edificación*

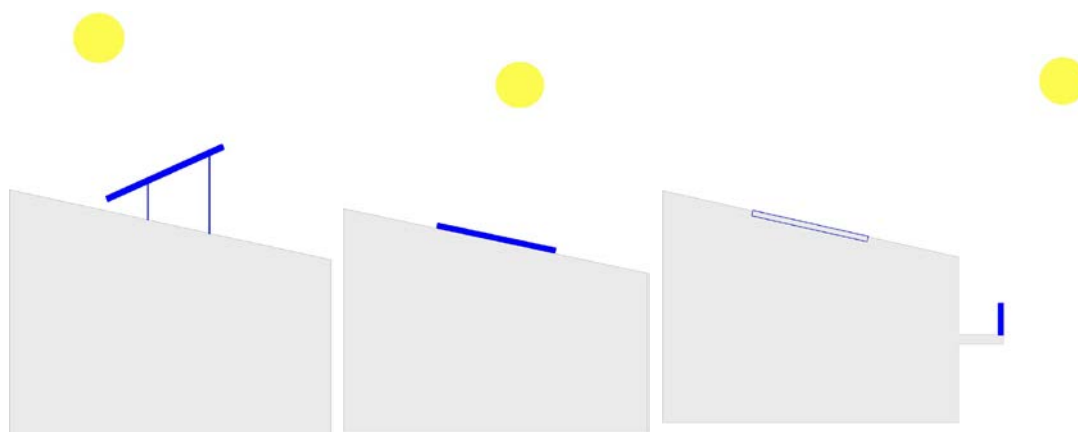
Se maneja este concepto cuando las placas guardan un paralelismo con uno de los planos de la edificación, en techumbre o en fachada. A veces pueden incluso guardar relación con la composición visual del edificio, es decir estar centrados o colocados en un eje conduciendo a un equilibrio formal o visual. Pueden o no guardar relación en color y materialidad, siendo desde el punto de vista arquitectónico más adecuada la segunda condición. El colector presenta la única función de captar irradiación. En el sector de la envolvente a la que está adosado, existe además la capa estanca envolvente de la edificación, es decir en la zona existe doble-capa.

2.6.1.3 *Colectores en Integración Arquitectónica*

Se define como sistemas de recolección solar en integración arquitectónica al remplazo de materiales de recubrimiento o elementos funcionales constitutivos de una edificación por placas colectoras, situación que implica que los colectores pasan a desenvolverse como revestimiento o implemento funcional adicionalmente, cumpliendo solicitudes que cualquier material de cubrisión debe proporcionar como estanqueidad y resistencia mecánica; o funcionar adecuadamente como balaustrada, filtro solar, ventanal, etc. (IEA SHC Task 41 2012b). Para ello los colectores deben contemplarse dentro de la geometría y composición estética o de aspecto general de la envolvente en donde estarán "contenidos". Deben respetar la modulación y deben disponerse en relación con juntas materiales, estando centrados o en composición estética, respetando simetrías o reglas compositivas. Además, algunos autores sugieren que para que se logre efectivamente la integración arquitectónica es menester que el aspecto estético sea enriquecido con la presencia de los dispositivos, para lo cual tiene que considerarse en congruencia de modo que se traten de "...sistemas elegantemente bien integrados que incrementan la aceptación de la tecnología PV en el mercado, además entrega a los propietarios una alta

expresión pública de su preocupación por el asunto medioambiental. Si los colectores no contribuyen con el aspecto estético estamos, bajo este concepto, frente a colectores solamente “Integrados a edificación” (Luque y Hegedus 2011; Basnet 2012). La Figura 2.15 presenta un esquema de la disposición de colectores colocados, superpuestos o integrados arquitectónicamente.

Figura 2.15: Esquemas de colectores colocados en edificación, superpuestos en edificación e integrados arquitectónicamente en edificación (El autor).



262

Criterios estéticos de Integración Arquitectónica

Algunos autores han definido criterios de instalación de los colectores para considerarse en integración arquitectónica, aunque difieren en mayor o menor medida. La Normativa Técnica Chilena menciona la necesidad de cumplir una condición de bi-funcionalidad, es decir poseer necesariamente una propiedad funcional o constructiva extra a la de simplemente captador (CDT 2007). Otros autores mencionan que la arquitectura tiene que verse modificada y enriquecida necesariamente (Basnet 2012; Luque y Hegedus 2011). Cristina Munari considera que si existe la doble función, los colectores se encuentran en integración arquitectónica, aunque con diversos valores estéticos (Munari 2009). A este criterio se suma la opinión del autor de esta tesis, porque consideramos que los valores estéticos, belleza o fealdad, son conceptos imprecisos y variables, dependientes del espectador, lo cual puede ser llevado a una indeterminación.

Kaan y Reijenga (2004) no obstante van más allá al calificar en distintas escalas algunos criterios adoptados para integrar colectores solares coherentemente con la arquitectura. Estos criterios son descritos para colectores solares PV, no obstante estos mismos criterios son posteriormente adoptados y mencionados para recolección ST (Buker y Riffat 2015; Wall et al. 2012). Estos son:

- La Natural integración del colector: Cuando las placas forman parte de la estructura de manera lógica como parte del acabado del edificio. No es necesario que la presencia de los colectores sea obvia. En renovación o restauración por ejemplo, quizá el resultado más adecuado es que la instalación logre aparentar que existió desde siempre.
- La Instalación PV es arquitectónicamente agradable y está en concordancia con el

contexto de la edificación: El diseño de la instalación es arquitectónicamente armonioso. El edificio debe ser atractivo, aunque no por la sola presencia de los PV solamente sino en armonía. Es un aspecto subjetivo, pero es indudable que unos edificios poseen valores estéticos más aceptados.

- Buena composición de colores y materiales: El color y textura de colectores compagina con los otros materiales de la edificación.
- El sistema PV encaja en la modulación del edificio: Las dimensiones modulares de los colectores concuerda con el o los módulos de la edificación. La alineación y dimensión de módulos responde a las estructuras y secciones de la edificación.
- El sistema PV guarda relación con el contexto edificado: La apariencia global del edificio resulta concordante con el vecindario.
- El sistema tiene que ser bien integrado desde el punto de vista constructivo y energético: Los colectores deben desplegarse prioritariamente influyendo inclusive en la forma, de modo que puedan obtener una relevante cantidad de energía.

263 Posturas y estrategias de integración arquitectónica de colectores solares.

Entre las posturas que el arquitecto puede adoptar frente a integrar arquitectónicamente colectores solares, de acuerdo a Kaan y Reijenga (2004) están las siguientes:

- Los Colectores se despliegan de modo que sean imperceptibles o invisibles, no tienen aspecto de colectores solares. El público en su mayoría difícilmente se percata de su existencia, no denotan donde empieza o donde termina la superficie absorbente.
- Los Colectores se despliegan adheridos en doble capa pero en buena concordancia con el diseño original. Algunos podrían sostener acertadamente que los colectores no están integrados arquitectónicamente ya que cumplen la sola función de captadores y pueden ser retirados sin afectar la estructura, estanqueidad o funcionalidad. Normalmente es el criterio de instalación en el contexto de restauraciones o renovaciones. Es factible que los colectores queden dispuestos de forma no notoria o guardando uniformidad material con estrictez, guardando los ritmos modulares del edificio y sin sobresalir aspectualmente.
- La integración arquitectónica en contribución a la apariencia del edificio: Cuando los colectores se despliegan de forma armoniosa contribuyendo con la imagen de la edificación, siendo su presencia un aporte expresivo.
- La integración arquitectónica determina la imagen de la edificación: Los colectores son claramente apreciables y de hecho contribuyen significativamente a la imagen del edificio, siendo determinantes en el aspecto final.
- Los Colectores guían al criterio arquitectónico y guían el resultado del diseño: Los colectores solares y en congruencia con otras estrategias pasivas o de eficiencia de diseño se tornan prioritarios en el proceso proyectual. La edificación responde a la recolección

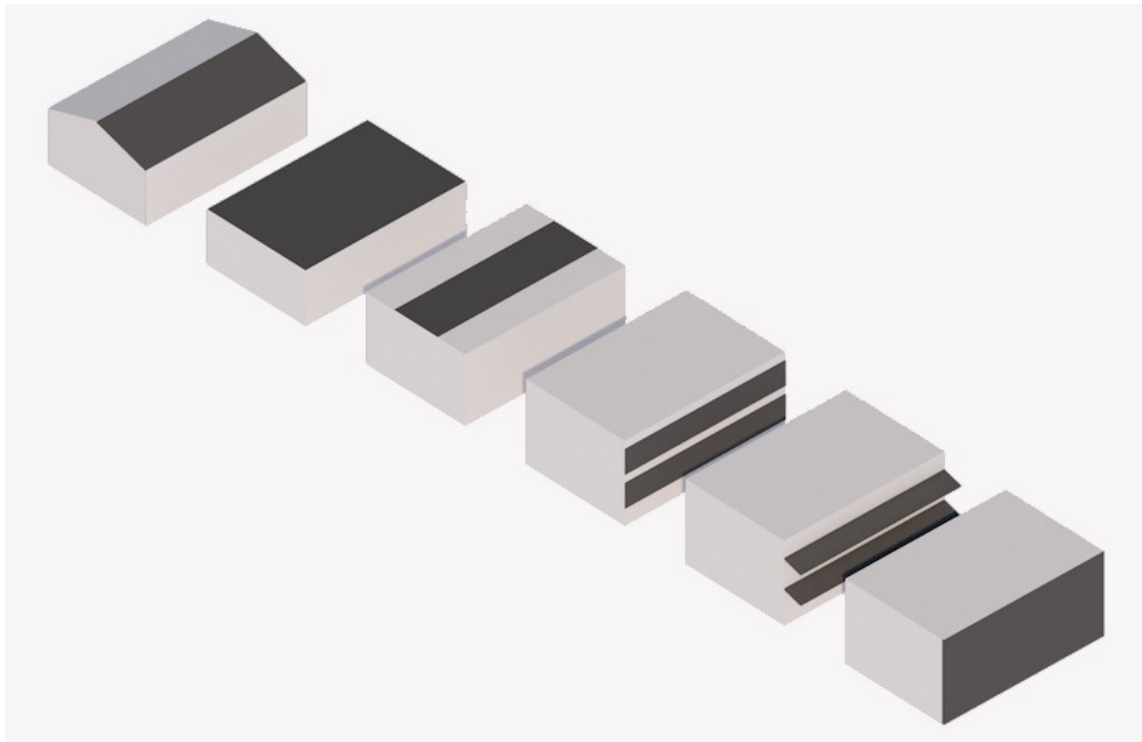
solar activa y a la eficiencia energética en general. La presencia de los colectores son llevados a un nivel conceptual que rige el diseño y logra un valor adicional por el aporte energético.

Cualquiera de las posturas mencionados no tienen mayor valor en sí mismos o implican mejores resultados necesariamente, depende en buena medida de la decisión y apreciación del arquitecto (Jelle 2016). Puede darse el caso que sea lo más oportuno simplemente el criterio de adhesión al edificio o que sean dispuestos de forma imperceptible; contrariamente en situaciones en donde se requiere la máxima provisión energética, puede resultar que la última opción sea la más adecuada.

264 4 Adopción morfológica de
 colectores solares en edificación

La IEA y su Programa de Calefacción y Refrigeración solar definen seis posibilidades morfológicas que pueden adoptar los distintos productos para captación solar, en orden de que se consideren en integración en arquitectura (IEA SHC Task 41 2012a). Las tipologías de inserción se describen en *Figura 2.16*:

Figura 2.16: Posibilidades de componente envolvente que pueden desempeñar colectores solares en edificación (El Autor).



- Captadores para integración en techumbres inclinadas.
- Sistemas de placas o elementos para disponerse como cubierta horizontal para techumbres planas o aproximadamente planas.

- Filtros solares de techumbre con la presencia de colectores como elementos de filtración de luz. Este efecto también puede provocarse en fachada.
- Ventanales fotovoltaicos o filtros solares para ventanas configurados por colectores PV o ST.
- Elementos funcionales compositivos de fachadas como balaustradas o sombrillas colectoras, los cuales pueden ser ST o PV.
- Recubrimiento de fachada opaco como absorbentes solares para captación ST o PV.

Recientemente Jelle (2016) categoriza los colectores BIPV en cuatro tipos: Productos laminares adhesivos BIPV, tejas BIPV, productos modulares BIPV y acristalamientos BIPV. Esta tesis considera para techumbres inclinadas la utilización del segundo y tercer grupo, sin descartar la aplicabilidad también del primero y último catalogados.

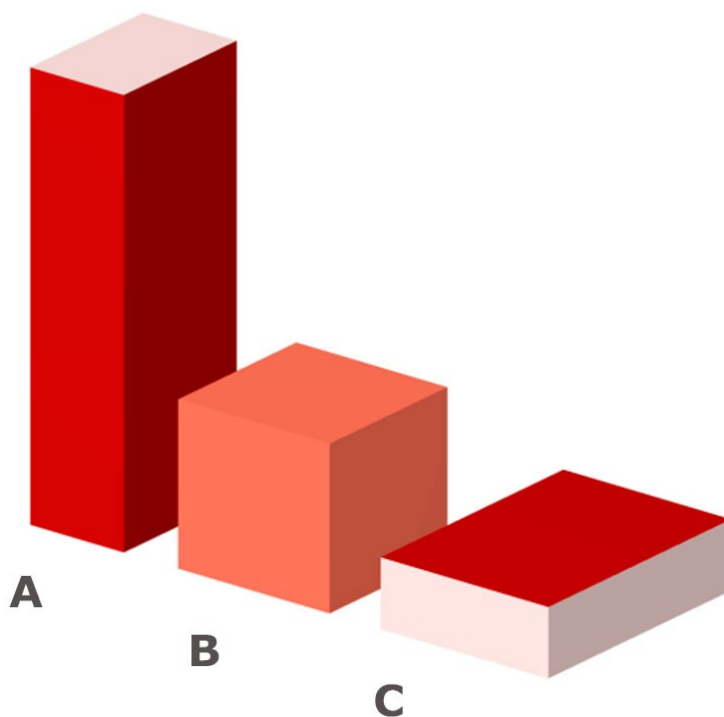
2.6.4.1 *Capacidad morfológica y volumétrica de superficie de captación frente a superficie construida*

El potencial solar de una superficie que cubre un volumen y la relación entre ellos difiere de acuerdo con la latitud de ubicación, debido a la posición del sol durante su trayectoria diaria y estacional (ángulo respecto del plano terrestre). Mientras más cerca de la línea ecuatorial la irradiación total sobre la techumbre es más importante. En latitudes meridionales (entre 30 ° y 40 °), las superficies horizontales reciben hasta 4 veces más irradiación que las verticales y de forma más uniforme. Pero además, en las superficies inclinadas en un ángulo similar a la latitud y orientadas adecuadamente (al norte en el hemisferio sur y al sur en el hemisferio norte), la irradiación recibida anualmente puede ser superior a ocho veces respecto de la vertical. No obstante, en zonas más lejanas al Ecuador, como por ejemplo en Punta Arenas (Chile), la inclinación óptima para una superficie captadora es entonces aquella próxima a la latitud (55 °) respecto a la horizontal, entonces techumbres muy inclinadas y las fachadas bien orientadas ganan importancia. Al norte de Europa, la captación en fachadas orientadas sur son determinantes en captación, en especial para calefacción; evitándose la sobreproducción de verano y maximizando la de invierno.

En latitudes medias, las volumetrías de edificación mayormente horizontales cuya área habitable es similar a la cobertura, poseen una alta potencialidad de captación solar. Opuestamente los volúmenes edificados más verticales poseen una relación menor y por ende una potencialidad más baja. Así en la parte central de Chile, las cubiertas reciben irradiación mayormente durante todo el año (mas extensivamente en verano) y menos en las fachadas, en que además incide su fragmentación (balcones, retranqueos, etc.), vanos o circulaciones y obstrucciones del entorno (especialmente edificios altos cercanos). Estas diferencias volumétricas están relacionadas a su vez con tipologías de ocupación, que poseen requerimientos energéticos diferentes. Las morfologías horizontales son

usualmente adoptadas por viviendas unifamiliares y edificios de servicios o industrias (*Fig. 2.17 C*). Las morfologías verticales son desarrolladas usualmente por edificios multifamiliares de departamentos y oficinas. También las viviendas acogen actividades más continuas en el tiempo y mayormente en períodos nocturnos e invernales. Mientras los servicios u oficinas poseen requerimientos fundamentalmente durante el día y con mayor regularidad en todo el año, aunque con variaciones diarias por reducción de utilidad durante los fines de semana y feriados. Estas características implican que las morfologías horizontales de servicios e industrias poseen una alta potencialidad de integración, mientras las horizontales de viviendas, media-alta; las verticales de oficinas, media-baja y de vivienda en altura, baja (*Fig. 2.17 A*). Adicionalmente puede reconocerse una condición intermedia como bloques de vivienda, centros comerciales, servicios de oficina, hospitales, etc, con una proporción elevada de fachada (4 a 5 pisos) e intermedia en cubierta (*Fig. 2.17 B*).

Figuras 2.17. Volúmenes edificados con distinta proporción horizontal-vertical. En rojo intenso las superficies con mayor área potencial de captación solar integrada. (El Autor).



3 Capítulo III. CARACTERIZACIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR,
DEMANDAS ENERGÉTICAS TÍPICAS Y POSIBILIDADES DE
ABASTECIMIENTO DESDE FUENTE SOLAR.

3.1 Introducción

Este capítulo caracteriza la vivienda en general y luego la tipología casa unifamiliar de conjuntos residenciales de emprendimientos inmobiliarios específicamente. Luego se analiza la vivienda en la región y en Concepción, describiendo sus principales características. Se enuncian aspectos generales más importantes, consideraciones formales, constructivas, de consumo energético y demandas características. Se describen los consumos típicos de los modelos existentes y distintas consideraciones para adoptar demandas energéticas residenciales.

Un tercer aspecto que revisar es la actualidad de las energías renovables en Chile y en edificación. Enunciándose el estado del arte tecnológico de recolección solar activa con aptitud para integrarse arquitectónicamente en las techumbres y en correspondencia con las necesidades.

3.2 Vivienda Unifamiliar y Techumbres Inclinas.

Las techumbres de las viviendas unifamiliares suelen responder por lógica (aunque no siempre) a condiciones como requerimientos ambientales y materiales o constructivas existentes. En zonas áridas por ejemplo, las techumbres se configuran de manera horizontal o con poca pendiente cuando la evacuación fluvial no es determinante; las zonas desérticas por lo general carecen de recursos como la madera, entonces son habituales techumbres macizas, sustentadas en estructuras aporticadas o en arco. En zonas lluviosas generalmente existe disponibilidad de la madera y se requiere evacuar con premura gran cantidad de agua; al ser regiones con altas precipitaciones, están favorecidas con recursos vegetales y madera, con lo cual es posible armar vigas, estructuras reticulares y cerchas inclusive las que permiten cubrir grandes luces con superficies inclinadas. Por último en zonas proclives a nevadas sucede lo mismo que en el caso anterior, pero la lógica conduce a provocar pendientes más pronunciadas, para así impedir la acumulación de gran cantidad de hielo. Aunque la difusión de “modelos” y “estilos” como consecuencia de la globalización, es posible encontrar diversas tipologías en cualquier lugar. No obstante por lógica constructiva funcional, en las zonas lluviosas de Chile existe una tendencia a techumbres inclinadas fundamentalmente en edificaciones pequeñas, lo cual quizás no es tan necesario al centro y norte del país en regiones áridas. En Latinoamérica, otras regiones lluviosas y predominantemente frías se encuentran al sur o en la Patagonia Argentina, zona poco poblada. Otras zonas lluviosas de Latinoamérica se localizan en clima más cálido, en donde las viviendas y sus techumbres deben además de evacuar la lluvia, ser una solución que permita una adecuada ventilación y/o promover una importante aislación.

Por estas situaciones ambientales y como consecuencia de condiciones económicas descritas en la introducción de esta tesis, las características de la vivienda de conjuntos de casas que se desarrollan en Chile pueden tener similitudes a desarrollos presentes en ciudades del hemisferio norte, especialmente norteamericanas, hecho que va compaginado con el sistema económico neoliberal preponderante en la nación. Las diversas realidades de cada país latinoamericano varían sustancialmente por condiciones económicas, productivas y climáticas de uno a otro. Las ciudades bien pueden incluir conjuntos de casas repetitivos para clase media y media alta, pero por lo general es un modelo de desarrollo habitual para emprendimientos de interés social (Pradilla 2014).

Los emprendimientos inmobiliarios de casas en Chile están destinados a clase media en gran medida, por ello se ejecutan bajo optimización constructiva, justamente para lograr ventajas comerciales y mejores precios. Los costos son absorbidos por los clientes, entonces son uno de los principales parámetros considerados para adquirir una u otra vivienda. En consecuencia la tipología muestra una lógica y optimización constructiva, tanto material como priorizando un máximo aprovechamiento espacial. En las secciones siguientes se describirán algunas características relevantes y coincidentes en la tipología de vivienda en conjuntos de Concepción, en donde es habitual las techumbres que responden a las condiciones climáticas (lluviosas) y materiales disponibles, que en buena medida responden a la zona, a eficiencia constructiva y económica.

Aspecto aparte es la vivienda individual como modelo de sostenibilidad, ya que las casas unifamiliares individuales suponen una tipología que en teoría promueve la dispersión urbana lo que conlleva incremento en distancias, en redes de abastecimiento, prolongación en recorridos, o simplemente mayor ocupación de suelo, etc, siendo por ello un tipo de agrupamiento poco recomendado (Arditi et al. 2003). No obstante el modelo más disperso y horizontal provoca acaso mayor accesibilidad solar y consecuente incremento de captación pasiva y activa. Se promueve así balancear con estas aptitudes frente a las condiciones negativas de la dispersión, haciendo factible la producción de energía renovable dentro del ámbito urbano y la consecuente alimentación energética INSITU gestionada en *Smart Grid*. Promoviéndose entonces en alguna medida ciudades energéticamente autosuficientes (IEA 2009; Lund 2012; Mikkola y Lund 2014; Ganem, Balter y Coch 2009).

3.3 Caracterización Residencial de Concepción

331 1 Ocupación y Morfología

Al analizar la tipología habitacional de la Región del Bío Bío, la vivienda unifamiliar tipo casa es la más importante, está habitada por el 85,1 % de la población según encuesta CASEN (2012). En la zona central del país en donde está emplazada la 8^{va} Región, se encuentra el 59,6 % de las casas unifamiliares de la nación; finalmente entre estas se observa

tipológicamente que el área promedio está entre un 72 m² y 84 m² (CDT 2010a). Frente a estas medidas en levantamiento realizado durante esta investigación, los modelos de viviendas de emprendimientos inmobiliarios, el promedio es de 93 m², lo cual significa un indicador bastante superior al de la comuna, situación explicable por el mayor nivel de ingresos de la comuna central. También se ha descrito que en la región del Bío Bío y en regiones vecinas, las viviendas unifamiliares corresponden al 90 % del crecimiento habitacional (Celis et al. 2012).

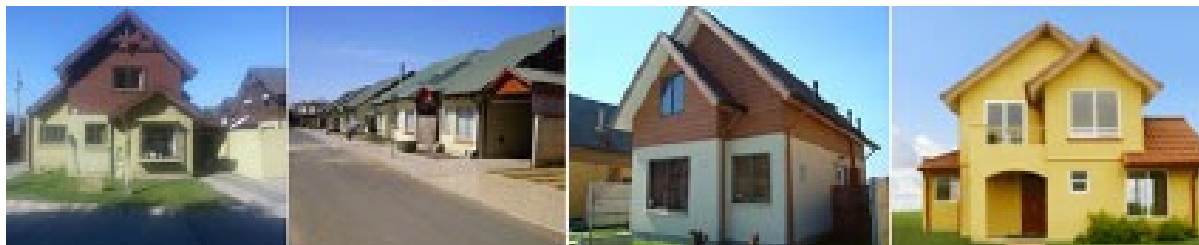
En cuanto a la morfología de ocupación urbana observada en emprendimientos inmobiliarios, es notoria la incoherencia existente entre la orientación actual de las casas frente a posibilidades de eficiencia energética por aprovechamiento solar. Celis et al. (2012) analizan el trazado de loteos de vivienda unifamiliar, encuentran entonces que la orientación de las unidades es anárquica respecto del sol, hecho coincidente con datos recabados en esta investigación señalados a posteriori en la *Sección 4.3.1*. Se trata de una situación lógica, ya que son el resultado más bien de la subdivisión de suelo, lo cual determina un trazado consecuente con lograr ocupación territorial máxima. En cuanto a la materialidad de las viviendas se observa construcción principalmente en albañilería como material portante y envolvente en planta baja. Las segundas plantas presentan estructura de madera o acero galvanizado con recubrimiento exterior de duela de madera, PVC o aglomerado con aspecto maderado, al interior placa de madera estucada o yeso cartón. Las techumbres se estructuran en madera o acero galvanizado con recubrimiento de fibrocemento ondulado, teja asfáltica o metálica, como materiales de recubrimientos de techumbre típicos. No es evidente la presencia de aislamiento en la envolvente, aunque es esperable que se cumpla lo estipulado en la Reglamentación Térmica del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU 2014). La gran mayoría de casos posee carpinterías de ventanas con cristal simple. Esta descripción de materialidad coincide con características descritas previamente por otros estudios (García Álvaro y González 2014; Escorcía et al. 2012; Celis et al. 2012). No existe especificación o control de niveles de infiltraciones y/o fugas térmicas como requisito para la recepción municipal de las casas.

Al observarse la configuración formal de cada vivienda, aquellas con menor superficie construida poseen por lo general un aspecto con mayor compacidad, las fachadas no presentan quiebres o quiebres menores solamente, las techumbres entonces presentan menos particiones y faldones que tienden a responder a la configuración a dos aguas como forma básica y sencilla. Las viviendas de mayor superficie son propensas a techumbres de mayor complejidad, con presencia de limatesas y limahoyas, los faldones poseen formas triangulares, trapezoidales o más complejos, inclusive con buhardillas, quiebres o distintos sesgos.

Al recorrer y observar viviendas de Concepción recientes se evidencia la representatividad de la tipología, es notable la elevada oferta inmobiliaria de casas en conjuntos habitacionales (*Fig. 3.1*). Los modelos tipológicos de viviendas unifamiliares de

emprendimientos inmobiliarios demuestran que responden con coherencia al mercado, reflejan el gusto de los usuarios y cumplen en buena medida con las expectativas y necesidades de los habitantes.

Figura 3.1: Tipología de Vivienda predominante en Concepción en emprendimientos inmobiliarios recientes: Antilhue, Lomas de Bellavista, Valle Noble y Torreones (Fuente: Portal Inmobiliario, 2015).



332 2 Servicios y Provisión

De acuerdo a censo nacional la mitad de la población posee un ingreso promedio de 630 USD por hogar (INE 2013) y con un porcentaje relevante bajo la línea de pobreza, se torna altamente probable en las condiciones de habitabilidad que se dé el efecto denominado “pobreza energética”, condición usual cuando existe la combinación de bajos ingresos, altos precios energéticos y condiciones constructivas deficientes, factores que conllevan necesariamente a habitar en condiciones ambientales adversas (Hong et al. 2009). Por ello es imprescindible buscar soluciones desde las diversas opciones, por ello el Ministerio de Vivienda de Chile publica señalamientos de posibilidades tanto de eficiencia energética y puntualmente alternativas de integración de energías renovables concretamente para vivienda (MINVU 2015).

Conjeturas referentes a eficiencia pasiva en localidades con significativa demanda para calefacción sugieren que las viviendas deben poseer una superficie envolvente mínima respecto del volumen construido. Se estima que por esta condición para Concepción, por cada m² de envolvente, se incrementa la demanda en 1,64 KWh / año (García Álvarado y González 2014). En condiciones climáticas de estas características se considera que volumetrías compactas y un factor forma que contemple una relación largo (orientado al sol) - ancho de 1,2 a 1,3 es una proporción adecuada para captación pasiva y por compacidad volumétrica (Athienitis 2007). No obstante, es evidente que una proporción más alargada con un cierre longitudinal prolongado y orientado al sol, promueve superficies más amplias de techumbre con mayor incidencia de irradiación y posibilita un mayor aprovechamiento solar, contrariamente una proporción muy alargada va en desmedro de la compacidad requerida para evitar pérdidas térmicas. En consecuencia es necesario un análisis que refleje el balance.

El modo más lógico de abordar este aspecto es considerar consumos y demandas promedio. A continuación se revisan posibilidades de acuerdo con requerimientos típicos residenciales en la zona de estudio.

3.3.2.1 Climatización

El mayor consumo energético residencial en el centro-sur y en el sur de Chile es en calefacción. A pesar de utilizarse parcialmente durante el año, representa el 71 % del requerimiento total (Fissore 2009). Se ha establecido además la importancia de la eficiencia energética y el posible ahorro a través de ésta. En Concepción se han determinado consumos característicos: En la *Tabla 3.1* se muestran algunos resultados de investigaciones previas. Posteriormente se ha medido una posible reducción en la demanda residencial a través de consideraciones de aislamiento y control de infiltraciones, en el orden de entre un 70 % (Celis et al. 2012) a un 85 % (Hatt et al. 2012). Una similar disminución se pueda apreciar para viviendas de dos plantas y estructura mixta de albañilería y liviana según estudio de Ambiente Consultores, PRIEN y MINVU (2007). En el contexto de Concepción y en el sur de Chile, las casas unifamiliares presentan una alta demanda de calor para alcanzar confort ambiental, por la misma razón que supone su alto potencial solar, se trata de una alta proporción entre superficie envolvente frente a superficie construida. El factor condiciona la cantidad de escape térmico hacia el exterior, lo que tiene relación directa con la demanda térmica (García y González 2014).

En Concepción se ha comprobado que el riesgo y cantidad de horas de sobrecalentamiento en verano es manejable y controlable en gran medida con medidas pasivas como ventilación y evitando una prolongada exposición solar (Hatt et al. 2012; Besser, Rodrigues y Bobadilla 2012). En consecuencia, investigaciones previas y la presente tesis desestiman las demandas para refrigeración, ya que pueden ser absorbidas con medidas pasivas y una adecuada ventilación. En la *Tabla 3.1* se muestran algunos estudios que reflejan demandas residenciales típicas en la zona de Concepción.

Tabla 3.1 : Comparaciones de simulaciones de viviendas de investigaciones previas de demandas para calefacción frente a resultados de Ecodesigner® (El Autor).

Estudio	Dimensión probeta	Localización	Software	Ganancias Internas	Particularidades (especificaciones)	Demanda en calefacción
Bustamante W. (2009)	76 m ²	Concepción (Sur Litoral)	TAS	160 Wh/m ² al día	Temperatura de confort 20°C día/17°C noche. Renovaciones de aire:1 ACH. Valores U Cielos 0,38 / Muros 1,7	115 kW/m ² por año
Donoso (2009)	100, 17 m ²	Puerto Montt (Sur Litoral)	Ecotect	252 kWh/m ² al mes	Valores U Cielos: 0,23 / Muros 0,57 /Ventanas 3,10 Doble vidrio	130 kWh/m ² por año
Celis (2012)	90 m ²	Concepción (Sur Litoral)	Casanova	No determinado	Valores U Cielos: 0,38/ Muros : 1,7/ Suelo 0,6	147 a 140 kWh/m ² al año (variación por orientación)
Ambientes (2007)	72 m ²	Concepción (Sur Litoral)	No especificado	No especificado	Acorde de mediciones casos reales (No publicado)	180 kWh / m ² al año
El Autor	72 m ²	Concepción (Sur Litoral)	Ecodesigner	200 kWh/m ² por mes	Valores U Cielos 0,53 / Muros 2,6 / Suelo 4,34 / Ventanas 2,6. ACH:3,78. Temperatura de confort: entre 20 y 25 °C	95,45 kWh / m ² a 136,15 kWh/m ² al año (variación por orientación y vientos predominantes)

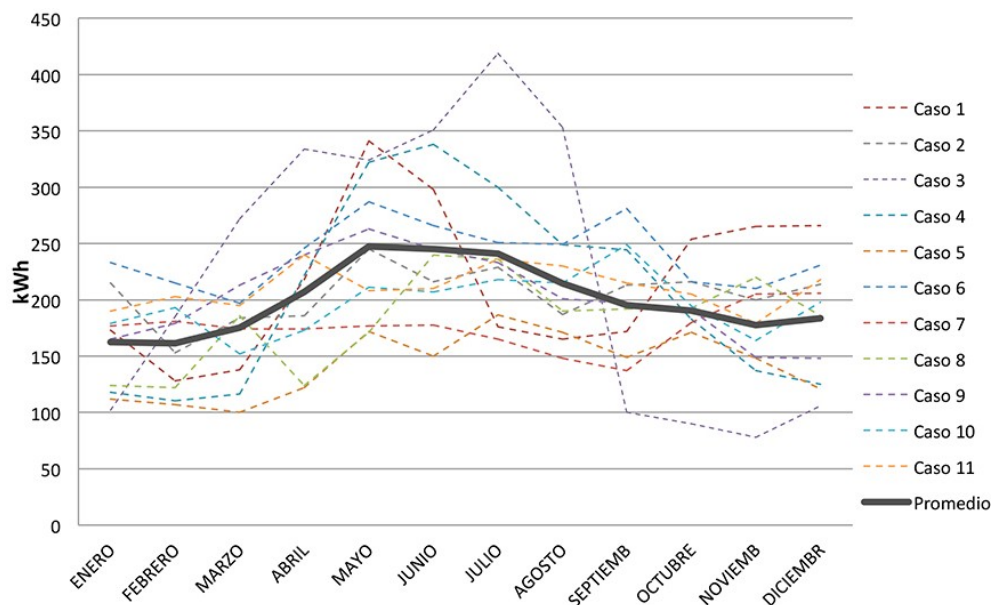
Para el presente estudio la determinación de las demandas para calefacción se obtienen a partir de simulación anual de un modelo de las características y materialidad concordante con el modelo tradicional de albañilería en planta baja y material liviano como recubrimiento de la segunda planta (Celis et al. 2012; Escorcia et al. 2012), efectuado por el grupo CON*FIN (2014). La simulación se ejecuta en un modelo de vivienda típica existente en emprendimientos inmobiliarios y con materialidad concordante a la descrita anteriormente. Más allá de los aspectos constructivos, las demandas de viviendas responden a múltiples factores adicionales como condición socio-económica, equipamiento, fuente energética primaria y secundaria, eficiencia de dispositivos y fundamentalmente comportamiento de usuarios, lo cual puede distorsionar en gran medida cualquier supuesto o simulación (Op 't Veld y Van der Aa 2014). Cualquier tipo de previsión de demandas condicionadas por requerimiento humano son referenciales y cada caso debe analizarse idealmente de forma puntual y con conocimiento de comportamiento típico y cantidad de usuarios. Aún así la realidad muestra considerables variaciones en un mismo modelo ocupado por un mismo usuario, inclusive en diferentes días. A continuación se describen demandas características habitacionales y sus características para Concepción.

3.3.2.2 *Electricidad.*

La electricidad tiene la capacidad de abastecer todas las demandas energéticas de una edificación, la alimentación energética desde el recurso eléctrico posee la ventaja ambiental de no provocar emanaciones en el lugar de utilización, aunque, cuando la generación eléctrica proviene de termoeléctricas, las emanaciones afectan en igual medida pero en donde se emplaza la planta-generadora, con emanaciones que contribuyen al calentamiento global de todas maneras. La ventaja de la electricidad es que puede producirse desde distintas fuentes renovables. Actualmente la principal barrera es el precio elevado respecto de las tecnologías basadas en combustión para abastecer demandas térmicas.

Para esta tesis se lleva a cabo un levantamiento de datos en campo con el objetivo de descifrar el consumo promedio por vivienda, se recurre a encuestas en conjuntos de la tipología analizada recabando cuentas eléctricas. El análisis refleja marcadas diferencias en consumos. Se obtiene de todos modos una curva característica que efectivamente denota una mayor demanda durante los meses de otoño y invierno; la *Figura 3.2* muestra la variación de consumo mensual. **La sumatoria anual** muestra una apreciable variabilidad de demandas a pesar de tratarse de unidades de un mismo conjunto, con similares características y dimensiones. Los casos extremos entrega un consolidado 2.714 kWh por año (Caso 3) y una mínima de 1.710 kWh por año (Caso 5); el promedio de todos los casos es 2.401 kWh por año, muy cercano al límite superior.

Figura 3.2: Demandas eléctricas mensuales en viviendas unifamiliares y curva promedio (kWh) (El Autor).



3.3.2.3 Agua Caliente Sanitaria

En cuanto al aprovisionamiento de ACS en la Región de estudio, se ha encuestado que el 83 % de los hogares se abastecen a partir de soluciones individuales, normalmente a partir de calefón; llama la atención que en segundo lugar el 15 % son duchas energizadas directamente a electricidad, porcentaje bastante superior a las otras zonas del país, en las que las duchas eléctricas son prácticamente inexistentes. Entre los calefones el 90 % son alimentadas por gas. En cuanto al consumo promedio de viviendas que poseen aprovisionamiento a gas, el promedio de consumo por unidad es de 1379,1 kWh al año, aunque este consumo contempla también el uso en cocina (CDT 2010b).

El ACS que requiere una vivienda está normalmente en relación directa con la cantidad de ocupantes. Por ello no es la opción más adecuada sentar un consumo por m² construido. Considerando la ocupación promedio por vivienda este estudio considera una demanda de 240 l por casa, a partir de un requerimiento de 60 l por persona (considerando 4 personas por unidad habitacional de acuerdo con estadística nacional INE, 2002).

3.3.2.4 Consolidación de demandas

Si bien establecer una demanda por m² para el caso de ACS y electricidad no es objetivo ya que éstas responden a número de habitantes, es el único modo de correlacionar estas demandas con un dato geométrico como lo es el tamaño de la vivienda, criterio característico para manejo arquitectónico y mensurable desde el diseño. Esto también posibilita el poder correlacionarse con las demandas para calefacción que vienen dadas por superficie. Por ello las demandas eléctricas obtenidas en levantamiento de campo y las demandas probables por ocupación de cuatro personas para el caso de ACS se consideran divididas por la superficie de vivienda que se va analizar en cada uno de los

casos simulados en esta tesis. El gráfico anual refleja claramente la preponderancia que tiene la calefacción frente a las otras demandas aunque concentrada entre julio y septiembre, siendo en estos meses cerca de diez veces superior a las demás. En la *Figura 3.3* se muestra una distribución de demandas durante los distintos meses, el requerimiento por m² de vivienda en período anual distribuido por mes.

Figura 3.3: Comparación de demanda característica mensual residencial en invierno, verano e interestacional (El Autor).

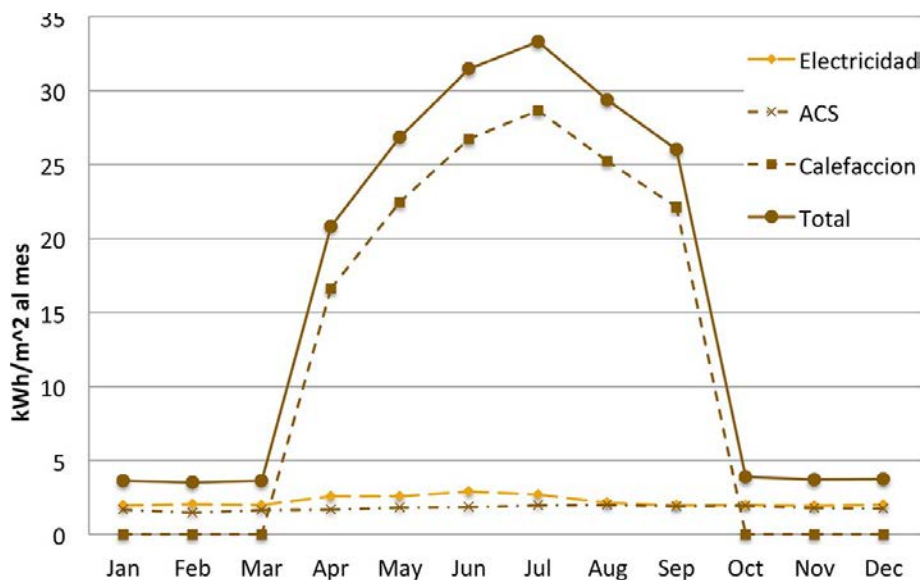
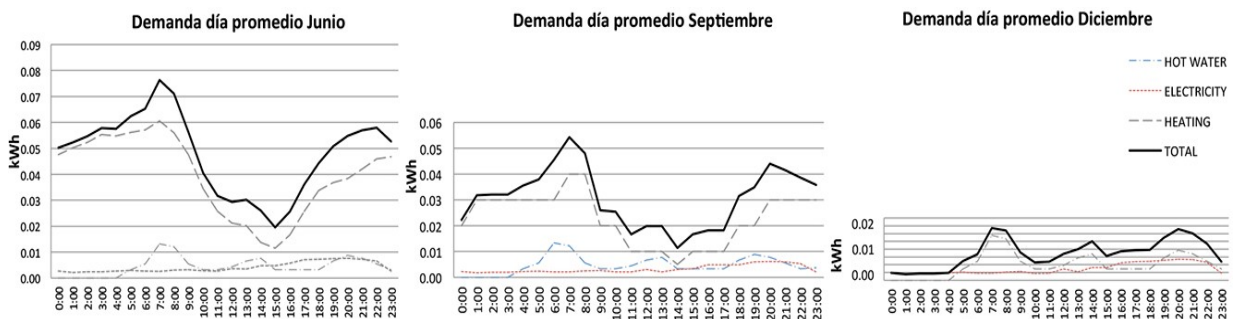


Figura 3.4: Comparación de demanda residencial horaria en días característicos de invierno, verano e interestacional (El Autor).



Luego, para un análisis en días representativos, las demandas son distribuidas tentativamente en requerimientos horarios. Para calefacción se toma un día característico promedio de meses extremos a partir de simulación realizada en la zona. Para ACS se supone una demanda de familia con cuatro habitantes. El requerimiento para día invernal se estima está en el orden de 1,16 kWh / m², disminuyendo a 0,74 kWh / m² para septiembre y 0,17 kWh / m² en verano. En consecuencia, para día inter estacional y estival promedio, el requerimiento es 63,8 % y 14,7 % respecto de la demanda de invierno respectivamente. En comparación entre día promedio de verano y de invierno la demanda es nueve veces inferior y la irradiancia disponible en superficie horizontal es 4,6 veces superior. Hay que aclarar que se tratan de datos promedio, los que pueden variar

sustancialmente para días extremos (un día cálido y soleado de verano o uno frío y sombrío de invierno) (*Figura 3.4*).

3.4 Energías renovables y su potencial incorporación residencial en Concepción.

341 1 Situación y expectativas de ERs y energía solar activa en el ámbito edificado en Chile.

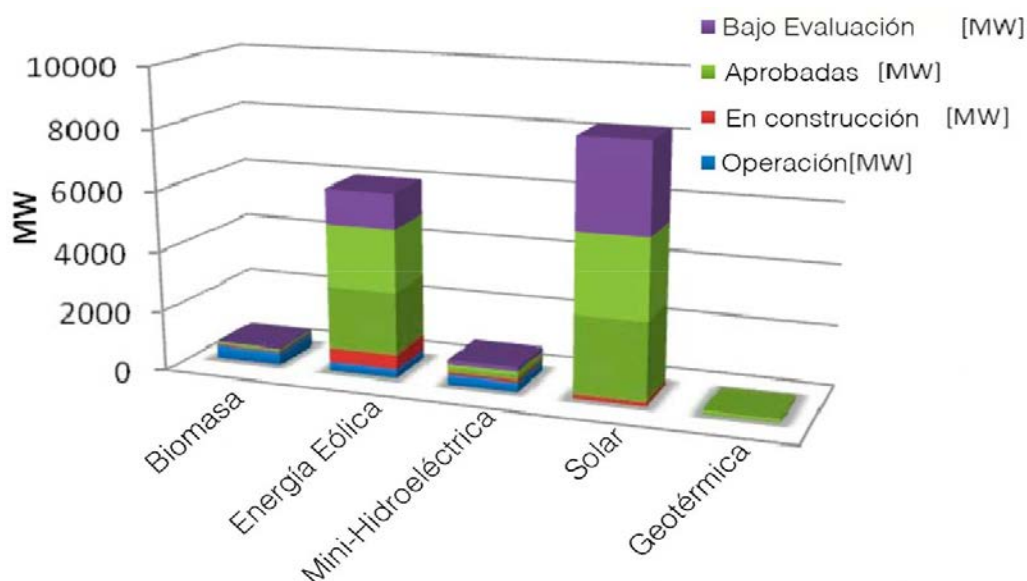
Para el año 2013 en Chile, el sistema interconectado eléctrico del país está alimentado en un 5,85 % desde fuentes catalogadas como Energías Renovables No Convencionales (ERNC). Dentro de este grupo, las hidroeléctricas a pequeña escala (Hidroeléctricas de más de 20 MW no están consideradas) corresponden al 34,8 %; energía eólica con 13,5 % y la mayor parte proviene de biomasa con 51,5 %. Marginalmente la energía solar está apenas presente con un 0,2 %. Estudio en desarrollo muestra el crecimiento del sector y proyecta para el 2015 que las ERNC crecerá a casi el doble (Orellana 2015). El 94 % de la producción eléctrica nacional proviene de termo-generación y represas hidroeléctricas de más de 20 MW. Pero las proyecciones actuales muestran con base en proyectos en aprobación, que la energía solar posee un mayor crecimiento relativo frente al resto de ERs (Centro de Energías Renovables 2014; Orellana 2015). Adicionalmente la Legislación chilena manda una cuota del 10 % de energía desde fuentes renovables no convencionales para el 2024 (Ministerio de Energía 2013). Las perspectivas actuales con miras al año 2030 prevén solamente para el sector PV de Chile que el 5 % del Sistema de Interconectado Central (SIC) estaría abastecido por tecnología PV. Entre las fuentes de ERNC, la energía solar tendría un 24 % del mercado, siendo superada solamente por la eólica con un 34 % del abastecimiento nacional (Fundación Chile et al. 2013) (*Fig. 3.5*).

A escala de manejo de red nacional y su balance, la producción hidroeléctrica está limitada por fluctuaciones como consecuencia de los estiajes, lo que representa uno de los principales problemas para la matriz energética chilena. Frente a ello la energía solar se muestra como una interesante alternativa de contribución en temporada estival, especialmente la generación eléctrica PV. El natural déficit de precipitaciones se da bajo cielos despejados y consecuente mejor irradiación con mayor producción eléctrica PV.

En cuanto a la implementación de energía solar integrada en edificación chilena, a pesar de ser aún incipiente comparada con otros países, el crecimiento es importante y se espera que sea mayor en el futuro. La tecnología fotovoltaica por ahora menos difundida, muestra una importante reducción de costos internacionalmente, se espera entonces su incorporación y generalización paulatina. Bajo este contexto existen algunos estudios llevados a cabo en el país. En investigación realizada en la Universidad de Chile hace varios años se revisa teórica y conceptualmente de Integración PV, proporcionando una descripción de productos disponibles y análisis de ejemplos existentes en el ámbito

internacional, se trata de una revisión con miras a introducir la tecnología en Chile a futuro, en ese entonces (Roldán Rojas 2005). Recientemente en análisis llevado a cabo por Cárdenas y Uribe (2012), se analiza la accesibilidad solar urbana y las limitaciones de la normativa, describiéndose también las barreras para una obtención segura de irradiación por consecuencia de bloqueos entre edificaciones, con lo que se propone una revisión de normativas con miras a posibilitar tanto el aprovechamiento solar pasivo como activo. Recientemente se ha ejecutado un estudio económico de la instalación de paneles PV integrados en edificación, en el contexto de Santiago, bajo la posibilidad de conexión a red o de forma aislada, encontrando las implicaciones en costo en valor futuro de los dos tipos; se concluye que a pesar de la legislación actual que fija el precio de compra de energía a usuario productor a precio de nodo, es más rentable respecto de instalaciones aisladas de todas maneras. Adicionalmente se detectan las posibles influencias de la polución ambiental en los colectores y la consecuente disminución de producción por contaminación urbana con mínima presencia de precipitaciones (Cáceres et al. 2014). La Cámara de la Construcción de Chile ha publicado los lineamientos de diseño y consideraciones técnicas para ejecutar pequeñas instalaciones STw en años anteriores y PV más recientemente considerando ya la factibilidad de conexión a red (CDT 2007, 2010b, 2014).

Figura 3.5: Proyectos para generación de ERNC en funcionamiento, construcción aprobación y bajo evaluación para Chile (Fuente: Centro de Energías Renovables 2014).



342 2 Situación y expectativas de la captación solar activa en el ámbito residencial chileno.

Para el año 2002 el 43 % de las residencias chilenas no disponen de algún sistema para calentamiento de agua (MINVU 2013). Frente al costo energético y la carencia económica que limita el acceso universal a este servicio, la Ley 20.365 “Franquicia tributaria para la instalación de Sistemas de Captación Térmica Solar en Viviendas”, busca promover la

tecnología con miras a abastecer entre un 15,5% (CDT 2007) y 17,6 % (MINVU 2013) de demanda energética residencial destinada a Agua Caliente Sanitaria (ACS). Este impulso ha promovido una diseminación de esta tecnología, siendo ahora habitual encontrar captadores solares térmicos en Chile, sobre todo en emprendimientos de vivienda recientes. Esta normativa tolera una reducción de producción de hasta un 40 % sin perder los beneficios del subsidio, cuando la instalación se incorpora en integración arquitectónica⁴, o una contribución solar mínima del 57 % para la zona climática de Concepción (CDT 2007). Más allá de esta tolerancia, no se observa una implementación real de integración arquitectónica en residencias de colectores hasta la actualidad, aunque la reglamentación y manual desarrollado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico consideren y normen teóricamente este aspecto (MINENERGIA 2010; CDT 2007). Así la totalidad de casos implementados de colectores térmicos en emprendimientos inmobiliarios se han resuelto por ahora como elementos sobrepuestos, en el mejor de los casos adaptados paralelamente a las superficies y pendientes de techumbres inclinadas. Los colectores típicos poseen alrededor de 2 m² de superficie captadora y un almacenamiento de alrededor de 120 l, el contenedor está integrado a la placa, funcionando por termo-sifonamiento el flujo de líquido y traslado de temperatura. Es un solo implemento dispuesto exteriormente, sustentado normalmente en el techo de forma no integrada, a veces dispuesto de forma exenta completamente sobre una estructura adicional. La gran mayoría son colectores tipo placa plana y vidriada, por costos es la opción más recurrente en la actualidad. Son muy eficientes durante verano y días con alta irradiación directa, pero en invierno por mínima irradiación, la superficie vidriada aislante no es suficiente para evitar pérdidas, provocando que en meses fríos la contribución sea limitada.

En la zona centro-sur de Chile y en Concepción, existe una situación estacional más marcada respecto al centro (Santiago) y norte del país. Existe un clima con mayor nubosidad, noches frías y los niveles de radiación difusa se incrementan respecto de la radiación directa. Por ello es natural suponer que desde cierta latitud hacia el sur, los colectores de tubos de vacío poseen mayor utilidad para un aprovechamiento más importante en épocas de primavera, otoño e invierno y será más importante su desempeño, en publicación reciente se menciona que desde Concepción hacia el sur, los tubos de vacío son la alternativa más importante (MINVU 2015). Si bien son más costosos, en la actualidad son los de mayor producción mundial (Weiss y Mauthner 2012), con una difusión importante en zonas estacionales marcadas, justamente por las condiciones de irradiación. Se espera que el precio siga reduciéndose en el futuro y esta tecnología se torne cada vez más competitiva. Asimismo, para una mayor contribución térmica solar, es necesario abastecer en algún margen las demandas para calefacción y en ese escenario

⁴De acuerdo a la Ley 20365 la integración arquitectónica de colectores solares se cumple cuando estos adicionalmente a la función de captación de irradiación, son envolvente en sí mismos.

los colectores de tubos de vacío son una mejor respuesta. Por esta consideración esta tesis analiza la posibilidad de integrar la tecnología Combi para abastecer ACS y calefacción, justamente proponiendo incorporar colectores de Tubo de Vacío.

En el mismo orden, para frenar la alta dependencia termoeléctrica del país (64,6% de la producción) y la consecuente volatilidad de precio y abastecimiento (Soto y Vergara 2012), se ha creado la Ley 20.571 que posibilita el *Netmetering*⁵, reglamento que busca promover instalaciones fotovoltaicas a escala residencial de hasta 100 kW_p. No obstante, del modo que está legislado actualmente, no significa un incentivo real para el usuario-productor, frente a otras formas de introducción de esta tecnología que han tenido éxito como el *Feed in Tariff*⁶. Más allá de la normativa vigente, existe una falta de diseminación de las tecnologías solares, en especial para instalaciones PV. Si bien está vigente el reglamento para compra de excedentes eléctricos, el micro-productor la vende a un valor marginal respecto al precio de compra, así actualmente se estima períodos de amortización de hasta 15 años para Concepción (Campos 2015).

La capacidad de recolección solar está en relación directa con la superficie irradiada potencialmente recolectora. La *Figura 3.6* muestra la irradiación disponible en las distintas superficies de envolvente por tipología. Para determinar la capacidad de los sistemas de captación y producción es necesario dimensionar las superficies disponibles en la edificación, sus posibilidades de disposición de acuerdo al sol y con ello la irradiación colectable. Para ello se considera que las superficies de techumbre presentan tres características particulares: a) Son superficies destinadas exclusivamente a cubierta (y por tanto compatibles con captación sin estar limitada por otras utilidades), b) Son poco susceptibles a robo o deterioro, c) Presentan una disposición adecuada para recolección solar en latitudes medias.

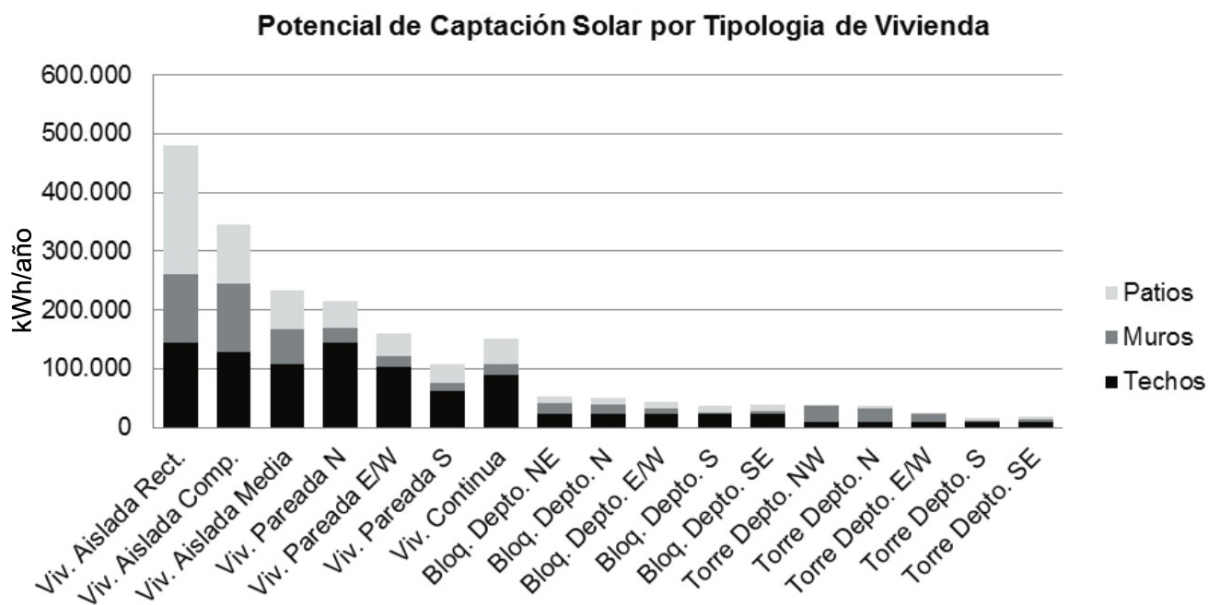
En Concepción, los indicadores de irradiación y demanda sugieren que la producción PV comparada con el requerimiento energético total residencial se estima en 13.500 kWh / año (Fissore 2009), bajo una irradiación horizontal promedio de 1.506 kWh / m², (CNE, PNUD y UTFSM 2008). Ello implica la necesidad de alrededor de 75 m² de superficie de fotocélulas con rendimiento normal, superficie que difícilmente está disponible en techumbres típicas, menos aún con correcta orientación. No obstante con la complementariedad de medidas de eficiencia pasiva y abastecimiento ST, captación pasiva, etc, se posibilita el lograr cubrir

⁵La energía eléctrica generada por consumidor compensa la energía eléctrica proporcionada por la empresa eléctrica a dicho consumidor de electricidad durante el período de facturación aplicable. En Chile

⁶ La electricidad que se vende a la red por pequeños productores es comprada por empresas distribuidoras a un valor tal que los costos de inversión del pequeño productor se amorticen en un periodo aceptable de tiempo, entregando un rédito durante la vida útil de la instalación, con posibilidad de crédito bancario.

en mayor medida las demanda y en cierta magnitud incluso el lograr viviendas con rendimiento energético positivo (Athienitis 2007).

Figura 3.6: Irradiación disponible para distintas tipologías constructivas y tipos de superficie de posible captación (García et al. 2014)



4. Capítulo IV. DISEÑO METODOLÓGICO.

4.1 Introducción.

Este capítulo describe los procesos, herramientas y acciones utilizados para obtener información que permita comprobar la hipótesis inicial y descifrar los objetivos planteados. En primera instancia se describe el modelo para cuantificar el sujeto de estudio y los principales indicadores geométricos de las viviendas de conjuntos inmobiliarios. Luego se explica el método de cálculo de irradiación colectable en la totalidad de unidades contabilizadas y se enuncia el modo de estimar la producción según tecnología y la comparación frente a demanda energética en magnitud horaria y en días representativos. Una cuarta etapa desarrolla el proceso para encontrar las implicancias de geometría de faldones respecto de geometrías de colectores comerciales típicos y la influencia de estas condiciones frente a adaptabilidad y consecuente rendimiento energético al integrar tecnologías BIPV y BISTw. La quinta etapa señala una propuesta metodológica para estimar el auto-abastecimiento posible, a través aplicación de módulo energético de herramienta BIM, dimensionando la capacidad de la tecnología Combi Solar con colectores integrados en techumbre, sometiendo a revisión aspectos arquitectónicos resultantes tanto internos como externos. Por último se muestra el proceso para dimensionar la capacidad de recolección solar pasiva y medidas de eficiencia energética conjuntamente con recolección solar activa.

4.2 Antecedentes

El principio filosófico y teórico que fundamenta este trabajo es la posibilidad de lograr ciudades que interrelacionen de manera sectorizada la producción de ERs versus demandas típicas. Así el planteamiento es desarrollar edificaciones que a través de si mismas se autoabastezcan, contribuyan a la ciudad aportando a la red, lográndose comunidades sustentables energéticamente. Para ello se plantea un proceso de dimensionamiento de posibilidades de producción energética en una de las tipologías más recurrentes en el contexto (Lund 2012; Mikkola y Lund 2014).

En primera instancia se explora la capacidad de abastecimiento propio. Luego se profundiza en situaciones específicas presentes dimensionándose alternativas para lograr una máxima producción exportable inclusive. Se detectan implicaciones y posibilidades de acuerdo con las superficies de captación que responden a situaciones arquitectónicas. Se proponen tecnologías lógicamente aplicables por caso y resultados de abastecimiento.

4.3 Descripción Metodológica

431 1 Método para determinación y dimensionamiento de sujeto de estudio

En la *Sección 5.2.1* se identifican los desarrollos inmobiliarios a partir de fotogramas satelitales publicados en Google Earth 7.1.2.2041. Este software abierto posee herramienta

de temporalidad en la cual se exponen fotogramas cronológicos de la ciudad y su crecimiento. En Concepción, el primer fotograma disponible corresponde al año 2002, pero sólo desde finales del 2006 se presentan actualizaciones constantes y buena resolución. Por lo que se adopta el año 2007 como partida hasta el último fotograma disponible del año 2013. En las tomas satelitales se identifican fácilmente conjuntos que ocupan más de 4.000 m² de área urbana. A partir de estos sectores determinados se revisan los proyectos de loteos aprobados y los modelos de vivienda que incluyen, los cuales reposan en archivos municipales y tienen carácter público.

Todos los loteos, e incluso cada unidad habitacional, se encuentran registrados en el Sistema de Catastro Electrónico en línea (Dirección de Obras Municipales y Municipalidad de Concepción 2015), el cual permite identificar cada lote y modelo presente en los diferentes conjuntos de casas. Además está registrado y codificado cada inmueble, información que permite solicitar el desarchivo de proyecto requerido en la municipalidad. Con este proceso se escruta efectivamente más del 60 % de unidades construidas desde el 2006.

Luego se reconstruye tridimensionalmente la geometría de techumbres de cada modelo con BIM Archicad 17.0, diagramando todos los faldones con su forma e inclinación. A partir de estos modelos se obtienen datos y a partir de listados de superficies tanto de loteos como de cada modelo, se precisan estadísticamente datos como superficie neta construida, superficie de ocupación horizontal, relación entre superficie de techumbre frente a superficie construida, relación de techumbres frente a lote propio, frente al loteo general, respecto de la comuna, etc. Se obtienen dimensiones de techumbre potencialmente útil, número de aguas, etc. Luego es posible puntualizar cuál de los faldones corresponde a la que denominaremos Ala de cubierta de Mayor Dimensión (AMD) por modelo, dato relevante porque supone ser el elemento con mayor capacidad de recibir irradiación. El AMD de cada caso es aquel faldón que posee la mayor superficie, en consecuencia sería la faceta que más irradiación puede recolectar de enfrentar adecuadamente el sol. Además se determinan las características de la Segunda Ala de Mayor Dimensión (SAMD), como alternativa cuando la primera no esté favorecida por orientación. A partir de loteos se obtienen cantidad de viviendas, su disposición, azimut y potenciales pérdidas por desvío en orientación de AMD o SAMD. En observación realizada en cuatro de los conjuntos de mayor dimensión, se cuantifica que en el 85 % de los casos la SAMD mira en dirección contraria a la AMD, en los demás casos encaran a 90 ° respecto de la AMD; por ello, si la alternativa más importante por faldón no se encuentra bien orientada, la segunda lo está potencialmente (Anexos: Cuadro 20). Luego se precisa estadísticamente el promedio, dato que refleja la desviación estadística en la que la segunda opción de faldón presenta mayor potencial que la AMD mal orientada, dato con lo que se prevé potencialmente cuantas viviendas optarían probablemente por captación AMD y cuantas por SAMD.

La inclinación de colector óptimo para captación fotovoltaica corresponde a aquella coincidente con la latitud, situación que supone recibir mayor irradiación en balance anual (CDT 2007, 2014; Hachem 2012). Pero si consideramos la generación térmica, los requerimientos funcionales marcan una alta demanda en los meses con el sol con un recorrido a baja altura (Invierno), esta condición natural provoca que una inclinación superior a la pendiente maximice la captación térmica cuando está presente la mayor demanda (Gajbert 2008; Kalogirou 2004), situación que se presenta ventajosa para Concepción por las importantes demandas de estas características. Bajo estos criterios se determinan pendientes estadísticamente, como el promedio de inclinación tanto de AMD y SAMD, el promedio absoluto e inclinaciones típicas al igual que los casos extremos. Con estos datos se puede estimar las capacidades de abastecimiento existentes bajo condiciones de diseño actuales, considerando las características y formas geométricas de los faldones.

En una tercera instancia, al contabilizar casos concretos de conjuntos de casas puntuales, es apreciable que existe orientación anárquica de faldones (AMD o SAMD) respecto del soleamiento.

4.3.2 Método para estimación solar a escala urbana mensual y anual

Con las inclinaciones características estadísticamente determinadas y considerando desvíos probables por orientación, en la *Sección 5.2.2* se establece la irradiación disponible en faldones de mayor aptitud por casa en todo el conjunto de viviendas. El modelo matemático utilizado entrega la irradiación dependiente, la inclinación y orientación en magnitud mensual, a partir de la radiación que recae sobre superficie horizontal, ya sea directa o difusa; tanto el modelo como la irradiación están publicados en la Norma Técnica que señala un algoritmo para verificación de contribución solar de la Ley 20.365 del Ministerio de Energía (MINENERGIA 2009). Esta expresión es entregada por el Ministerio de Energía para calcular irradiación disponible en cada localidad del país en una superficie inclinada y respecto de orientación para considerar rendimientos de colectores y así cumplir con la Ley de Chile 20.365 (MINENERGIA 2010). Para esta estimación se adoptan dos pendientes representativas promedio obtenidas estadísticamente de todo el conjunto, se trata de las dos pendientes moda, superior e inferior. Luego se consideran para cálculo las superficies promedio de AMD y SAMD orientadas hacia distintas direcciones, subdividiendo grupos de unidades habitacionales en cada dirección (*Fig. 5.9*). Al resumir las irradiaciones de los grupos de vivienda por orientación en las superficies promedio y aplicar el modelo de cálculo de irradiación de la normativa chilena, se calcula la irradiación solar mensual. El modelo matemático de MINENERGIA (2009) para cálculo de irradiación se expone a continuación:

$$R_{Gm_inc-i} = R_{Gm_i} \times F_{d_i} \times [1 - (3,5/100000) \times O_{PS}] \times [1 - (PS / 100)] [1] \text{ (MINENERGIA 2009)}$$

En donde:

R_{Gm_inc-i} : Radiación solar global media mensual sobre superficie inclinada del mes i en kWh / m²].

R_{Gm} : Radiación solar global sobre superficie horizontal media mensual para el mes i en [kWh / m²].

F_{d_i} : Factor modificador de la radiación incidente a una superficie inclinada para el mes i . Este valor se obtiene del *Anexo II* de la Ley 20365 (MINENERGIA 2009) conforme a la inclinación y a la latitud media de la comuna correspondiente.

O_{PS} : Orientación del Plano Solar.

PS : Pérdidas por Sombra [%].

Las limitaciones por topografía, inter-sombreado o bloqueo por vegetación, son características que afectan puntualmente a cada caso. No obstante, los conjuntos de viviendas poseen similar altura incluso entre modelos distintos, por lo cual el bloqueo de irradiación directa se prevé menor y probable temprano en la mañana y a altas horas en la tarde, cuando la intensidad solar y producción energética es menor de todos modos; aunque es un aspecto importante que debe ser analizado y normado como lo analizan Cárdenas y Uribe (2012). Estudios llevados a cabo por la IEA (2007) sugieren pérdidas esperadas por condiciones de sombreado, mantenimiento, convertidores, suciedad, etc, en que se señala se puede esperar una reducción en producción global eléctrica, en una magnitud del 25 % (Pelland y Poissant 2006; IEA Solar Heating & Cooling Program 2007). Esta proporción en cuanto a sombreado quizás es alta para Concepción por desarrollarse el estudio en Canadá y países en latitudes más distantes del Ecuador, donde la altura solar es inferior con inter-sombreado potencialmente más alto, no obstante se considera en este estudio de modo que se entreguen resultados conservadores más bien en un rango inferior.

Se encuentra la disposición promedio en la cual el SAMD promedio presenta mayor aptitud, al captar más irradiación a pesar de poseer una inferior superficie como consecuencia de la orientación. Del total de la irradiación absorbida por los superficie colectora, el 85 % del remanente que no es convertido en electricidad se disipa en forma de calor, la ganancia en temperatura provoca una baja de producción eléctrica en el orden de 0,4 % a 0,53 % en eficiencia por ° C de incremento (Astea, Del Peroa y Leonforte 2012; Hachem 2012; D'Orazio, Di Perna y Di Giuseppe 2013). Normalmente las celdas PV se disponen sobre una cámara de aire refrigerante aunque este también puede discurrir por el frente. Hachem (2012) entrega un modelo que expresa una relación y producción posible

para colectores híbridos con aire respecto de la producción eléctrica. Este modelo se obtiene a partir de estudios experimentales anteriores de (Liao et al. 2007; Athienitis 1993) y entrega una relación posible de producción eléctrica y calor útil generados en techumbres inclinadas, tomando como condición principal una inclinación de 45° , los cuales varían necesariamente por caso, de acuerdo a parámetros como latitud y proporción de irradiaciones directa respecto a difusa, pero se trata de una magnitud posible en un rango mínimo. Siendo Q_e la energía eléctrica generada y Q_u la térmica, se ha encontrado una relación aproximada de $Q_u/Q_e = 3,0$ a $3,5$, no obstante bajo control de condiciones adecuadas tanto de velocidad como de recorrido de aire refrigerante. Para su investigación ellos finalmente adoptan la condición $Q_u=3Q_e$. Evidentemente es un modelo simplificado, útil únicamente para sistemas híbridos con fluido de aire para estimación. Para cada instalación bajo condiciones de producción y demanda, esta potencial producción tiene que ser revisada ya que es el resultado de una correlación dependiente de factores como la longitud de recorrido de aire, espesor de ductos, velocidad de aire, temperatura de aire exterior y otras condiciones variables. La energía térmica es trasladada en aire precalentado al interior de vivienda cuando es requerido, lo que permite una disminución en demandas para calefacción; este estudio considera para la época estival que el aire refrigerante es evacuado al ambiente (*Fig. 5.15*).

También es posible identificar los casos puntuales de unidades más y menos favorables, así como la situación media y el promedio general. Según una relación regular de eficiencia de sistemas fotovoltaicos se proyecta un aporte general y rendimiento de obtención energética por m^2 de vivienda construida.

Finalmente se compara la captación energética recibida en AMD y SAMD durante el año y la relación entre las demandas energéticas promedio registradas estadísticamente de esta tipología en la zona. Además, se revisa la posibilidad de un sistema integrado en la cubierta de recolección híbrida solar/térmica, que es posible calcular a través de eficiencia directa a partir de las irradiaciones disponibles detectadas, tecnologías que además permiten una contribución domiciliaria más directa y efectiva para calefacción. Se comparan anualmente aportes y demandas de condiciones promedio y casos extremos de AMD y SAMD siempre frente a superficie construida. Finalmente se cuantifica la proporción de contribución eléctrica que se esperarí alcanzar en el universo de casas analizado.

4.3.3 Método para estimación de potencial solar acorde a indicador de techumbre y tecnología solar activa en modelos extremos.

Se seleccionan los Modelos *A* y *B* (*Fig. 4.1*) como aquellos que potencialmente suponen mayor y menor capacidad para contener placas en sus faldones. El denominado *A* presenta mayor superficie disponible y también regularidad formal de su AMD, este caso

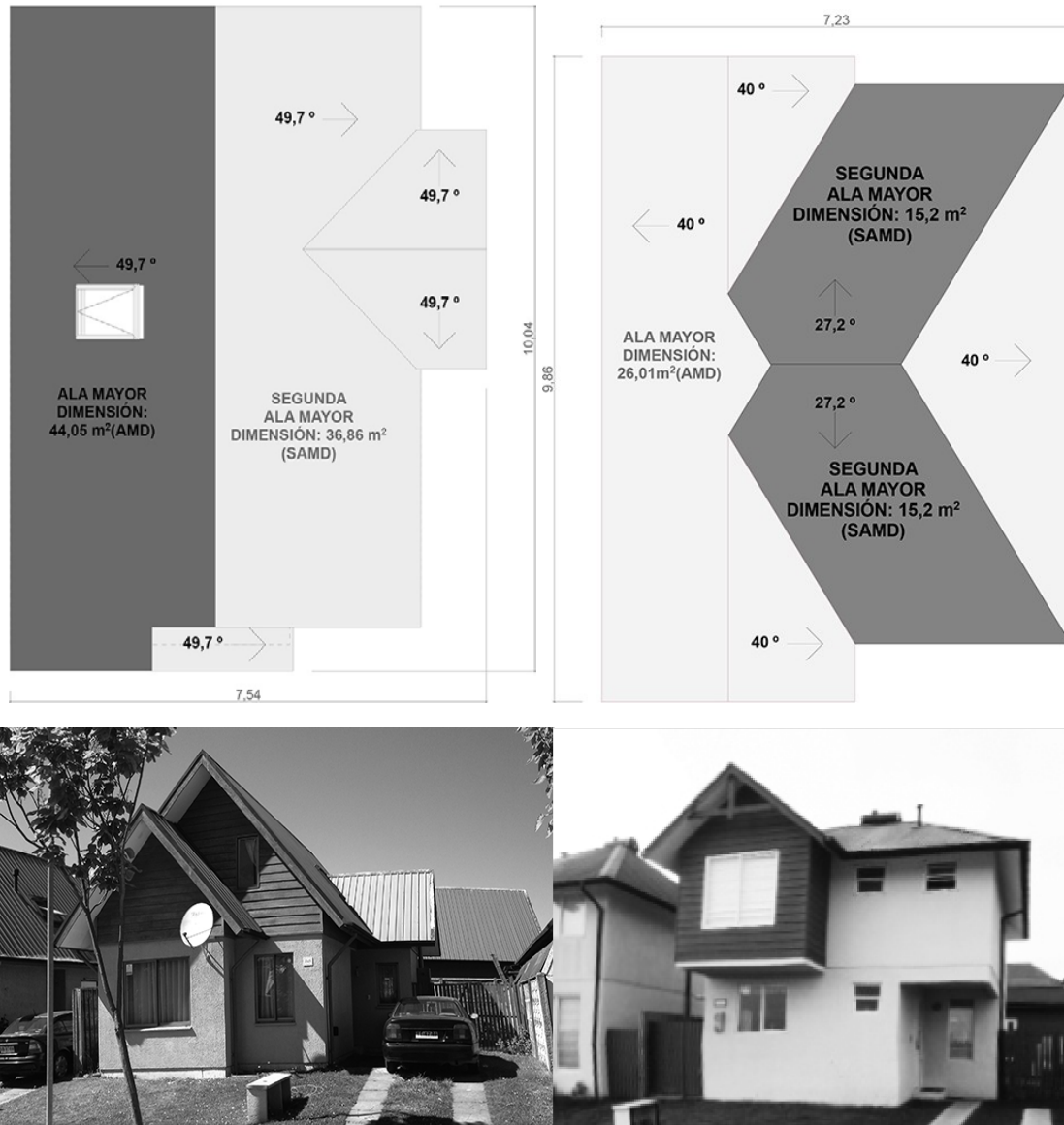
se repite 110 veces. El segundo caso es el *Modelo B* y posee una cubierta con faldones irregulares (trapezoidales o triangulares) del cual se adopta como captador su SAMD, este modelo se repite 70 veces en el universo de estudio. El *Modelo A* posee 72 m² construidos y posee cinco faldones de techumbre, no obstante se aprecian dos faldones principales con superficie amplia y tres pequeños complementarios. El *Modelo B* mientras tanto tiene un faldón más, no obstante se subdivide en superficies más homogéneas dimensionalmente y no ortogonales, en este modelo curiosamente existen dos SAMD idénticas en el costado frontal y posterior de la casa, esta vivienda es de 79 m². Ambas casas son más pequeñas al promedio del universo de la tipología estudiada de 93 m², pero superior al promedio regional de 64 m² (Observatorio Habitacional 2015). Los dos modelos son comparables entre sí, presentan similar sistema constructivo y materialidad en la envolvente, poseen muros portantes sólidos en planta baja, concreto en piso y entrepiso, la segunda planta posee paramentos exteriores en estructura liviana de madera, recubierto al exterior de vulcanita o placas de aglomerado tinglado con aspecto maderado, aislamiento intermedio y al interior yeso cartón. Las estructuras de techumbre son de madera y placa metálica ondulada como recubrimiento exterior. Las carpinterías exteriores son de aluminio y vidrio en ventanas y puertas de madera. Esta descripción coincide en buena medida con la de vivienda unifamiliar característica del Centro-Sur de Chile (Celis et al. 2012). Por materialidad y programa sugieren similares demandas en ambos casos de estudio (Electricidad y Calefacción) y se consideran ocupadas por un mismo número de usuarios para nuestro análisis, con lo que se prevé demandas de Agua Caliente Sanitaria (ACS). El *Modelo A* presenta una AMD inclinada 49 ° mientras la SAMD de *Modelo B* posee pendiente de 27,2 °, inclinaciones próximas a promedios superior e inferior en la tipología analizada (26,8 ° y 43,7 °). La *Figura 5.11* muestra diagramas tridimensionales de levantamiento de techumbres del universo estudiado y selección de los modelos extremos seleccionados con AMD superior y SAMD inferior.

Las techumbres de modelos *A* y *B* son presentadas en *Figura 4.1*. El AMD de *Modelo A* posee tres veces más superficie que la SAMD de *Modelo B* y posee 10 % menos superficie habitable.

Las demandas de las unidades extremas estudiadas se consideran de acuerdo con características de ocupación y confort descrito en *Sección 3.3.2*. En los dos modelos se analiza en primera instancia la posibilidad de lograr un máximo autoabastecimiento integrando en ellos tecnologías de recolección BIPVTa. Esta tecnología posee un gran potencial en situaciones en que existen demandas térmicas consistentes y una radiación importante. Además tiene la capacidad de contribuir con la electricidad requerida, proveer calefacción y contribuir con el ACS. Posee la particularidad de ocupar potencialmente todo el faldón como capa absorbente con la utilización de tecnología PV tipo "Lámina Delgada" (*Thin Film*).

La siguiente opción analizada es el despliegue de placas de tamaño regular comercial integradas arquitectónicamente. Estas placas por su formato específico requieren acoplarse a la forma de faldón y por lo tanto el análisis de compaginación geométrica es importante. Este estudio analiza la posibilidad de abastecimiento térmico desde placas con fluido líquido STw, en el caso fotovoltaico desde placas Monocristalinas o Policristalinas de formato regular y adicionalmente con colectores híbridos con fluido líquido, también en formato comercial.

Figura 4.1: Plantas de techumbre y vista exterior de modelos A y B (El Autor).



4.3.3.1 *Estimación de Irradiación disponible en AMD y SAMD promedio en mes de mínima irradiación.*

Se mide la radiación solar que recae en indicadores característicos de faldones, que corresponde a la irradiación disponible en la superficie promedio AMD por superficie

construida, luego del mismo modo se precede en la SAMD por superficie construida. Este análisis establece una muestra de la cantidad características de irradiación existente durante el mes menos favorable bajo condiciones de diseño de techumbre existente y ésta frente a demandas residenciales, con ello se puede prever la capacidad de la tipología.

La irradiación disponible por m^2 es encontrada a través del software *Trnsys*[®] 17 y archivo climático de Concepción desde base de datos *Meteonorm*[®]. Se trata de archivos climáticos que funcionan a partir de datos meteorológicos tomados desde estaciones desplegadas alrededor del mundo (más de 8.000) contrastado con datos de satélites geoestacionarios. Con información obtenida desde el año 1991 a partir de irradiaciones medidas y apoyado por otros parámetros climáticos como temperatura, punto de rocío, etc, se entrega posibles condiciones ambientales, climáticas y solares promedio. Los archivos climáticos *Meteonorm*[®] son base para realizar simulaciones, especialmente cuando se requieren datos de irradiación directa y difusa sobre superficies con distintas inclinaciones (Remund 2008; Meteotest 2015). En el caso concreto de Concepción los datos provienen del Aeropuerto Carriel Sur, localizado en la comuna vecina de Talcahuano, que si bien no es la propia unidad política está en el borde de Concepción y de su zona urbana, lo cual en términos de irradiación disponible supone magnitudes próximas.

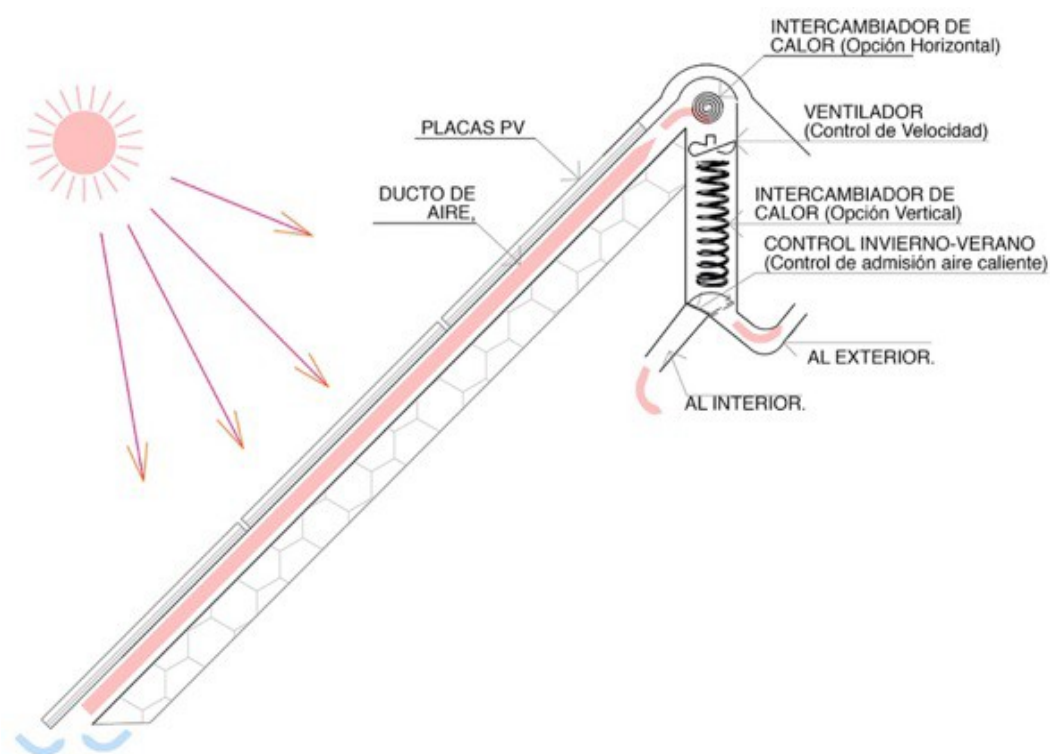
Con el software se obtiene la irradiación correspondientes a variaciones de inclinación y orientación de faldones simultáneamente, considerando que esta segunda variable resulta anárquica en los modelos existentes. Por ello se miden magnitudes de pérdidas por variación en azimut, en el caso del indicador AMD con desviaciones de 0 °, 19 °, 56 ° y 94 °, complementado luego con desviaciones características de SAMD de 0 °, 17 ° y 50 ° respecto del norte, márgenes de desviación también considerados previamente en el cálculo de irradiación global en Sección. Por último se compara la irradiación en indicadores AMD y SAMD, también para septiembre y diciembre, en concordancia con orientación e inclinación.

4.3.3.2 *Estimación de Irradiación disponible en modelos con indicador AMD máxima , SAMD mínima y posibilidad de aprovechamiento con tecnología BIPVTa*

Se calcula la irradiación disponible en indicadores de dos casos puntuales extremos específicos. Estos casos son tomados de la totalidad de AMD y SAMD de modelos examinados. El estudio se ejecuta en días promedio de mes con superior y mínima irradiación y en mes inter-estacional. Así se obtiene una capacidad de irradiación máxima y mínima esperable. A la vez, se cuantifica la diferencia entre adoptar uno u otro tipo de techumbre respecto de recolección solar activa. Por último, se compara la producción térmica-eléctrica con la integración BIPVTa, frente a demandas esperadas para los casos de estudio en meses de máxima, mínima y media irradiación de mes inter-estacional.

Para la recolección híbrida con fluido aire, se utiliza para estimación de producción eléctrica una eficiencia del 12 % bajo el criterio de un rendimiento PV de 16 % y pérdidas posibles de 25 % estadísticamente obtenidas y justificadas previamente en *Sección 4.3.2* y utilizados en estudios anteriores (Pelland y Poissant 2006; Hachem, Athienitis y Fazio 2011); la producción térmica es el resultante de la correlación de producción térmica/eléctrica $Q_u/Q_e = 3$, relación detectada y aplicada previamente (Hachem 2012). La energía térmica es contabilizada como útil en día de invierno y día característico de mes interestacional; en verano se desestima y se considera cero, no obstante puede contribuir a precalentar ACS (Athienitis et al. 2011; Hachem 2012). No se puede establecer una contribución específica para esta última posibilidad, ya que resulta de la eficiencia de intercambiador de calor, dependiente de la materialidad del dispositivo, temperaturas de ingreso y egreso del fluido, caudales, etc, lo que dificulta sentar presunciones confiables; no obstante, es una alternativa que debería analizarse (*Figura 4.2*).

Figura 4.2 : Esquema de recolección híbrida BIPVTa (El Autor)



4.3.3.3 Estimación del Potencial Solar en casos Extremos con Integración de Tecnología BIPVTw, BIPV y BISTw

Una de las principales limitantes para la adopción de recolección solar doméstica (on-site) es la falta de asociación entre arquitectura (Composiciones formales) y los formatos de los colectores (Wall et al. 2012). La captación solar requiere de la instalación de dispositivos en la envolvente de las edificaciones, la mayor parte de ellos con formatos establecidos de fábrica, generalmente rectangulares. En consecuencia la forma, dimensión y orientación de

la superficie captadora determina la capacidad de contener colectores y por ende, de producir energía en mayor o menor medida. Es necesario revisar el potencial de integrar arquitectónicamente colectores que poseen geometría regular, en cuanto a las limitaciones de poder disponerlos en techos de casas unifamiliares, estableciendo así una relación geométrica de techumbre (dimensión, forma y orientación) con la capacidad de recibir mayor o menor cantidad de placas de formato estándar. A la vez se analizan distintas posibilidades tecnológicas en asociaciones que pueden aportar diversos abastecimientos de energía domiciliaria. Es lógico suponer que faldones amplios con forma regular y contornos ortogonales son más adecuados que faldones con menor superficie y con forma no ortogonal. El dimensionamiento y cálculo se supone con máxima producción de energía útil para uso urbano en redes energéticas en Smart Grid (Lund 2012). Si bien existe una infinidad de dimensiones de placas solares comerciales para cada tecnología, se busca reflejar la implicancia de las características geométricas respecto de producción energética.

En esta instancia se analiza la adopción de tres tecnologías de recolección solar activa: Colectores fotovoltaicos integrados (BIPV), Térmicos con fluido líquido integrados (BISTw) e Híbridos Fotovoltaicos-Térmicos con fluido líquido integrados (BIPVTw) y combinaciones entre ellas. Como eficiencias térmicas referenciales se adopta un colector tipo placa plana comercial específico y también uno híbrido ambos de la marca comercial Solimpeks®. Solamente para el caso de la simulación de rendimiento eléctrico de colectores híbridos con fluido líquido PVTw se adopta un rendimiento PV inferior del 8 % respecto al 12 % especificado previamente, ya que es característico de estos colectores y ha sido simulado para la irradiación de Concepción en estudio previo (Campos 2015); esta eficiencia es a su vez coincidente en buena medida al rango mínimo expresado en la literatura (Tabla 2.4).

Para estimar la eficiencia térmica se utiliza herramienta F-Chart programada a partir de modelo matemático referente desarrollado por la Universidad de Concepción, la cual ha sido contrastada con una segunda F-Chart publicada por el Ministerio de Energía de Chile (PNUD y MINENERGIA 2014). Estas herramientas se programan a partir de ecuaciones que permiten prever los rendimientos de colectores térmicos con un margen de error esperable de entre 1,1 % y 4,7 % frente a métodos de simulación dinámica complejos y hasta un 15 % frente a datos de mediciones reales (Haberl y Cho 2014). Para estimar la recolección STw, se adoptan las especificaciones y eficiencia del modelo Wunder CLS 1808 de Solimpeks®. Los parámetros de eficiencia térmica son $\eta_0 = 0,763$ y Coeficiente de pérdida térmica $a_0 = 3,514 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ en una superficie recolectora de $1,23 \text{ m}^2$. El módulo geométrico de los colectores se adopta a partir de dimensiones comerciales del colector híbrido. Se trata de modelo híbrido PVTw *PowerTherm M 175 / 680* de Solimpeks®.

En primera instancia se dimensiona la proporción de ocupación de colectores rectangulares planos en faldones especificados extremos por capacidad dimensional geométrica, bajo planteamiento ideal de que las placas BIPV, BISTw y BIPVT poseen

dimensiones modulares concordantes entre distintas tecnologías que posibilitan el acoplamiento entre ellas. Se despliegan virtualmente y se cuantifican las unidades que pueden incluirse en cada uno de los modelos. Con ello se dimensiona indicadores resultantes como área de captación solar frente a superficie de faldón y frente a superficie construida. Obteniéndose márgenes de máxima y mínima superficie de recolección y posibilidad de desplegar combinaciones de tecnologías.

Es necesario adoptar la recolección térmica con fluido líquido para cubrir la demanda residencial sin generar excedentes inútiles (Gajbert 2008; CDT 2007); no obstante se analiza una alternativa de posible abastecimiento a calefacción generando excedentes para uso alternativo. En cuanto a la producción eléctrica sí se prevé la generación de excedentes en máxima medida para contribución a la red urbana. La primera situación que analiza este estudio es el despliegue de placas BIPV solamente, encontrando una magnitud posible de abastecimiento total con electricidad. El segundo estudio es la combinación de placas BIPVTw para cubrir ACS y superficie remanente se completa con placas BIPV buscando la máxima producción eléctrica. La tercera opción es desplegar colectores BIPVTw complementados con placas BIPV, considerando también abastecer ACS y máxima producción eléctrica. La última situación es ocupación completa de placas híbridas BIPVTw, midiendo proporción de ACS y calefacción alcanzable, los excedentes térmicos de verano se estiman para precalentamiento de piscina en época estival.

Por medio de software Trnsys 17.0 y base de datos de archivo climático Meteonorm®, se precisa un promedio de irradiaciones horarias para días representativos de meses extremos de junio (inferior irradiación) diciembre (superior irradiación) y septiembre (mes intermedio), de acuerdo a inclinación y orientación horaria. Se prevé entonces la producción eléctrica promedio por hora en concordancia a eficiencia fotovoltaica previamente establecida, en concordancia con el número de placas que admite el modelo y consecuente superficie de captación disponible.

Para estimación de producción y abastecimiento térmico se aplica herramienta programada a partir de modelo matemático F-Chart, el cual se describe en Expresión [2], algoritmo que entrega la energía útil a partir de datos de irradiación, eficiencia de colector, capacidad de almacenamiento, uso diario, temperatura del agua y del aire (Haberl y Cho 2014; Cuevas 2015).

La herramienta F-Chart estima la fracción de energía solar que aporta el sistema solar térmico. Está dada por el factor f del método:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \quad [2]$$

Donde:

$$Y = \frac{\text{Energía absorbida por el colector}}{\text{Demanda de energía térmica mensual}}$$

La energía térmica absorbida por el colector está dada por:

$$\text{Energía absorbida por el colector} = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n \cdot \frac{F'_R \cdot \overline{(\tau \cdot \alpha)}}{F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n} \cdot \bar{H}_t \cdot N \cdot A_c$$

$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$ Factor de eficiencia óptica del captador, es decir, ordenada en el origen de la curva característica del captador.

$\frac{F'_R}{F_R}$ Factor de corrección del conjunto captador-intercambiador. Se recomienda tomar el valor de 0,95.

$\frac{\overline{(\tau \cdot \alpha)}}{(\tau \cdot \alpha)_n}$ Modificador del ángulo de incidencia. En general se puede tomar como constante: 0,96 (superficie transparente sencilla) o 0,94 (superficie transparente doble).

\bar{H}_t Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (J/m²).

N Número de días del mes.

A_c Área del colector [m²]

$$\text{Demanda de energía térmica mensual} = V \cdot c \cdot N \cdot (t_{ac} - t_{red})$$

V Consumo diario de agua caliente sanitaria //día

c Calor específico del agua, 4180 [J/kg·K]

t_{ac} Temperatura del agua caliente [°C]

t_{red} Temperatura del agua de la red [°C]

$$X = \frac{\text{Energía perdida por el colector}}{\text{Demanda de energía térmica mensual}}$$

La energía perdida por el colector está dada por:

$$\text{Energía perdida por el colector} = F_R \cdot U_L \cdot \frac{F' (100 - t_a)}{F_R} \cdot \otimes t \cdot A_c \cdot K_1 \cdot K_2$$

$F_R \cdot U_L$ Pendiente de la curva característica del colector.

t_a Temperatura ambiente media mensual [°C].

$\otimes t$ Período de tiempo considerado [s].

K_1 Factor de corrección por almacenamiento.

K_2 Factor de corrección que relaciona la temperatura mínima de agua caliente sanitaria, la del agua de la red y la ambiente media mensual.

$$K_1 = \left[\frac{(\text{kg de acumulación})^{-0.25}}{75 \cdot A_c} \right], \quad 37,5 < \left[\frac{(\text{kg de acumulación})}{\text{m}^2 \text{ de colector}} \right] < 300$$

$$K_2 = 11,6 + 1,18 \cdot t_{ac} + 3,86 \cdot t_{red} - \frac{2,32 \cdot t_a}{100 - t_a}$$

Las demandas residenciales son adoptadas desde simulación para calefacción, para ACS el requerimiento es la demanda de 4 personas a razón de 60 l por persona y eléctrica el promedio de demanda de viviendas desde encuesta descrita en Sección 3.3.2.2.

4.3.3.4 Estimación de abastecimiento con tecnología Combi desde BIM.

Previamente se ha descrito el importante desarrollo de los colectores térmicos en Chile por las políticas públicas. Sin embargo se utilizan en edificación normalmente en instalaciones menores para contribuir en una fracción de ACS y generalmente de forma sobrepuesta en edificación. Se presenta a continuación una metodología para encontrar el posible abastecimiento a ACS y Calefacción conjuntamente a través de herramienta de arquitectura. Se propone para ello un desarrollo paramétrico como el que debería desarrollarse durante un hipotético proceso de diseño. Por esta razón, excepcionalmente este estudio no adopta un modelo de vivienda de conjuntos inmobiliarios, porque éstos presentan diseños de techumbre determinados, establecidos y fijos. Se recurre entonces a un modelo con geometría sencilla que permite desarrollar distintas disposiciones de cubierta en orientación e inclinación y descifrar sencillamente resultados de parámetros editados. El modelo adoptado está calificado para subsidio como vivienda social del Ministerio de Vivienda y Urbanismo para la Región del Bío Bío, en donde se localiza Concepción. No obstante se trata de una casa de una planta que posee una superficie construida coincidente con las dimensiones de los modelos extremos seleccionados (72 m²). El estudio comprende no solamente el entregar un proceso de diseño que muestre las capacidades de estudio energético desde BIM, sino de manera compaginada con las posibilidades de análisis del resultado volumétrico y expresivo, conjuntamente con la posibilidad de crear virtualmente toda la instalación y compaginación con el diseño.

Entre algunos programas computacionales de diseño arquitectónico y simuladores energéticos es posible transferir información (envío de datos geométricos de diseño para simulación energética) que posibilitan la compaginación de dos herramientas y con ello simular desempeños ambientales y demandas energéticas mientras se desarrolla el diseño (García Álvarez et al. 2015); sin embargo en la interacción de software se pierde información o es afectada, implicando trabajo doble, incluso un doble modelado, involucra tiempo y por lo general manejo de datos complejos, a los que no está habituado el arquitecto promedio (Horvat y Dubois 2012). Frente a ello Archicad® es un software para arquitectura de dominio privado pero con amplia distribución internacional, que ha incorporado gratuitamente una capacidad de análisis energético. Es soportado por plataformas y sistemas operativos IOS (Apple) y PC y ha destacado por su temprana adopción del concepto BIM. Desde el 2009 en su versión 14, ofrece un plug-in para estimación de comportamiento energético denominado Ecodesigner®; posteriormente desde la versión Archicad 16® (2013), es una herramienta integrada directamente en el programa. El módulo Ecodesigner® (validado por ASHRAE 90.1-2004), utiliza motor de cálculo VIP-Energy de Strussoft, el cual permite estimar los demandas de un modelo en desarrollo, de acuerdo con geometría, materialidad y localización. El programa maneja valores editables, como coeficiente de transmisión térmica “U” e índices de infiltración de recubrimientos, comportamiento de carpinterías y envolvente en general, así como bases climáticas, calendarios de ocupación, equipamiento, etc. El modelo en desarrollo se localiza geográfica y climáticamente, utiliza archivos climáticos TMY (Typical Meteorological Year), WYEC2 (Weather Year For Energy Calculations) o IWEC (International Weather for Energy Calculation). Además se pueden adoptar condiciones de entorno, composición de suelo, bloqueo solar y vientos. Las fuentes energéticas primaria y secundaria y demandas por uso típicas es necesario introducirlas. El programa o uso de la edificación también se indica para que el software estime el consumo de energía por actividad (*Fig. 4.3*) (Graphisoft® 2014). A pesar de que el utilizar el proceso de simulación requiere ingreso de gran cantidad de datos y un correcto trazado en el diseño, colocando virtualmente la materialidad, características, etc, es más sencillo que el utilizar paralelamente un simulador externo, aunque presenta resultados generales y solamente en margen mensual.

Con un modelo creado y datos térmico-energético ingresados, el software calcula: Consumo energético anual, uso de energía y tipo, fuentes primarias y secundarias, CO₂ emanado al medioambiente, gasto y ahorro monetario en energía, etc. Reportes instantáneos vinculados al diseño se generan automáticamente; cuando algún parámetro geométrico, energético, climático, u otro es alterado, los resultados se modifican en nuevos reportes. Los balances obtenidos son anuales y generales, destinados principalmente a comparar alternativas durante diseño. En proceso proyectual se pueden revisar secuencialmente las distintas resultantes de consumo energético según variaciones formales o constructivas.

Figura 4.3: Determinaciones paramétricas climáticas y funcionales en Ecodesigner (El Autor)

The screenshot displays the Ecodesigner software interface with the following settings:

- Location and Climate:**
 - Coordinates: 36° 46' 0" S, 73° 3' 0" W
 - IWEC file: Concepcion_NCh-hour
 - Grade Level: to Project Zero
 - Offset distance: 0,000
 - Soil Type: Drained gravel
 - Thermal Conductivity: 1.400 W/mK
 - Density: 1800.00 kg/m³
 - Heat Capacity: 1000.00 J/kgK
 - Surroundings: Garden
- Define Primary Building Function:** Residential (1000)
- Define Interior Lighting:** Compact fluorescent, Power: 3,00 W/m²
- Details of Primary Function: Residential**
 - Occupancy type: Residential
 - Human heat gain: 100,00 W per capita
 - Service hot-water load: 100,00 l/day per capita
 - Humidity load: 5,00 l/day
 - Daily Schedules:

Daily Schedules	Recurrence	Date Range	In use (hours)
habitación	Every Day	1/1 - 31/12	8760
- Internal temperature and heat gain graphs:**
 - Internal temperature: Graph showing temperature (°C) over 24 hours, with a shaded area for the allowed temperature range.
 - Internal heat gain: Graph showing heat gain (W/m²) over 24 hours, with stacked areas for Person, Lighting, and Equipment.

4.3.3.5 Evaluación Paramétrica de caso de estudio

Se explora paramétricamente aspectos formales de modelo de vivienda frente a sistemas solares térmicos y demandas energéticas. En los antecedentes respecto de colectores se advierte que inclinación y orientación son relevantes para la producción energética (Kalogirou 2004), incluso puede resultar estratégico para mejorar la producción temporal; en invierno cuando existe mayor demanda, al incrementar la verticalidad del colector, se promueve el evitar sobrecalentamiento en verano y aumentar producción cuando incrementa el requerimiento en invierno (Gajbert 2008). Por el contrario, si es necesaria una mayor producción en verano, por ejemplo para acondicionar piscinas, una inclinación del captador inferior es lo recomendable. Con estos criterios, para Concepción se admite un rango de inclinación de captadores entre 21° y 51°, considerando que por latitud lo óptimo es 36°. Para requerimientos de calefacción, lo adecuado será adicionar 10° a 15° de pendiente (por mayor demanda invernal), entonces estaría cercano a los 45° de inclinación sugerido también por CDT (2007).

Con estas consideraciones, se modelan y simulan algunas opciones, incluyendo algunas en condiciones quizá no tan adecuadas, modificando los siguientes parámetros:

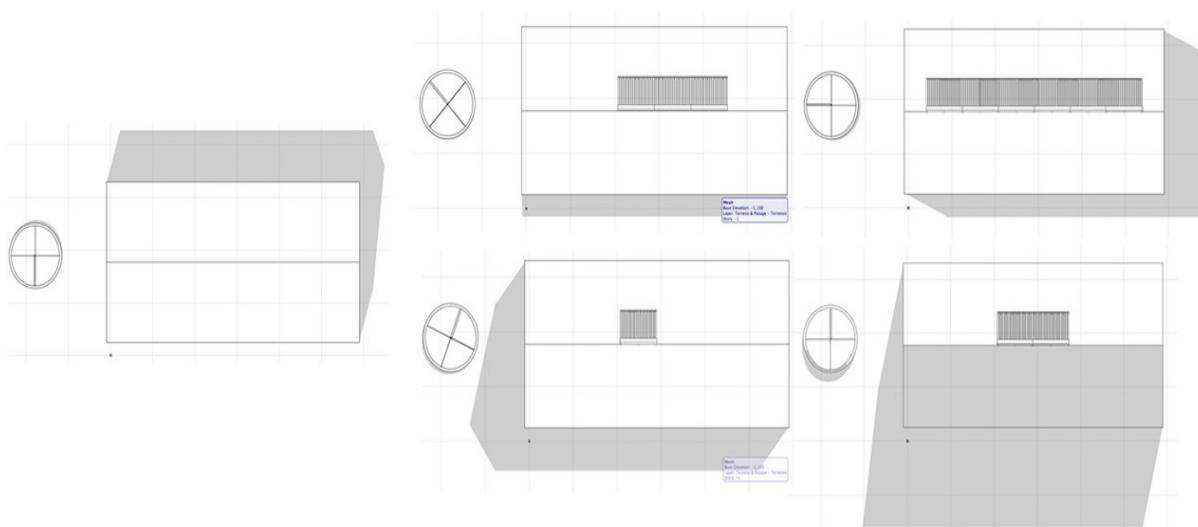
- Orientación de la vivienda: disposición del volumen y orientación consecuente de ala de techumbre mirando al norte verdadero, es decir 0° de desvío en azimuth (situación óptima); luego rotaciones paulatinas de 22,5°, 45°, 90° (esta desviación se considera similar entre este / oeste en rendimiento global) y 180°, que corresponde a colocar captadores en la cubierta opuesta a la disposición a 0°, para determinar la producción potencial energética más desfavorables en consecuencia a desvío en orientación.
- Inclinación de cubierta y superficie captadora: Es variación en ángulo de inclinación de techumbre respecto de la horizontal. Se consideraron variaciones desde 1° (prácticamente horizontal), luego 15°, 30°, 45° y 89° (prácticamente vertical representando

colector ubicado en fachada).

- Cantidad de captadores o área de captación: Se considera un dimensionamiento modular de paneles con área de absorción de 2 m² por cada uno. Desde cero captadores como caso base, luego 1, 2, 3 y 6 captadores (0, 2, 4, 6 y 12 m² respectivamente).

La combinación de estos factores genera 125 modelos en Archicad® y se analizan consecutivamente con Ecodesigner®, registrando sus resultados individuales en una matriz de datos (Fig. 4.4) (Tabla 5.7).

Figura 4.4: Vista superior de algunos modelos estudiados (El Autor)



4.34 Método para estimación de integración de captación solar pasiva y activa conjuntamente en vivienda de elevado potencial

Es poco lo que se puede contrarrestar con captación solar activa *per se*, si es que las demandas energéticas no son controladas y mitigadas con medidas de eficiencia pasiva. En el clima de Concepción con estaciones marcadas aunque no extremas, el lograr una vivienda *Net-Zero* integrando recolección solar activa es poco factible si es que es necesario abastecer las demandas típicas promedio, incluso en balance anual. Contrariamente en climas más rigurosos con desbalances estacionales más pronunciados se han logrado casas energéticamente neutras (Charron y Athienitis 2006). Lo sensato es tomar medidas pasivas en primera instancia y luego complementarse integrando energías renovables y captación solar activa (Hachem 2012; Athienitis et al. 2011; Gajbert 2008; Hastings y Wall 2007).

Los modelos con geometrías con superior e inferior capacidad para integrar captación solar A y B, no muestran condiciones de diseño que señalen una buena aptitud para ser orientadas y poseer una relevante recolección pasiva; de hecho el modelo con superior

potencial por geometría de techumbre posee el faldón de mayor capacidad hacia uno de los costados, justamente esta condición incide en que la posible captación pasiva sea posible por la parte delantera o posterior de la vivienda, hecho que dificulta el recolectar irradiación de forma pasiva y activa. Si el faldón se dispone adecuadamente para recibir irradiación, las fachadas tanto frontal como posterior no presentarán probablemente un direccionamiento afortunado. Por ello se busca una alternativa dentro del conjunto de viviendas de la tipología de conjuntos de casas que permita el máximo aprovechamiento activo como pasivo integrados.

4.3.4.1 Selección de Caso

Figura 4.5: Selección de Modelo C. (El autor)



Se identifica un modelo que muestra relevantes posibilidades tanto para captación activa como pasiva conjuntamente, al cual denominaremos *Modelo C* (Fig. 4.5). Bajo observación exhaustiva se precisa que efectivamente existe una opción existente con posibilidades, no obstante se trata de vivienda que en su costado posterior se despliegan faldones con alta potencialidad de captación solar y además tres ventanales para dos habitaciones y el living – comedor, los cuales poseen características y dimensiones considerables aptos para una relevante captación pasiva. Adicionalmente en el sector opuesto a un potencial soleamiento posterior están el acceso, escaleras, dos baños y solamente una habitación. Se infiere así que es una alternativa que con un direccionamiento adecuado es factible el lograr una incidencia solar tanto en faldones como al interior de la vivienda.

En el proyecto de loteo existen variaciones del *Modelo C* para ser emplazado de manera aislada o pareada de acuerdo a planificación. No obstante incluso se observa con aptitud para ser dispuesto en agrupación continua, los vanos están desplegados sobre todo en fachadas delantera y posterior y puede prescindirse de algunos menores presentes en uno de los costados. La *Figura 4.6* muestra en imagen satelital la localización del emprendimiento en donde se localiza el *Modelo C*.

Figura 4.6: Localización de conjunto de casas residencial donde se emplaza el *Modelo C* (El Autor)



4.3.4.2 Consideraciones de eficiencia energética pasivas, demandas resultantes y comparación con requerimientos energéticos típicos

Además de la captación pasiva, se prevén consideraciones en la envolvente de la vivienda probeta a través de la aplicación de aislamiento adecuado y superior a lo especificado en la Normativa Nacional vigente, ya que se prevé aislamiento en la totalidad de la cobertura exterior adicional al complejo de techumbre y muros exteriores aislados que son los elementos de la envolvente que presentan exigencias desde la normativa. Adicionalmente se considera aislamiento en piso de planta baja en contacto con suelo exterior con poliestireno expandido bajo radier complementado con carpinterías exteriores con vidriado doble. Complementariamente se propone niveles bajos de infiltración de 1,10 ACH.

En primera instancia se ejecuta una simulación dinámica anual con el software *Trnsys 17* y módulo de dimensionamiento tridimensional *Trnbuild-Type 56* para *Sketchup*, con lo cual se obtienen demandas térmicas para calefacción. Esto permite precisar la demanda horaria, diaria, mensual y anual de la casa sujeto de estudio. Los requerimientos de ACS son los mismos adoptados en la comparación de vivienda con máximo y mínimo potencial en capítulos anteriores, es decir 60 l por persona con un almacenamiento total de 240 l para familia compuesta por cuatro personas. Para demandas eléctricas, se utiliza el criterio de optimizar también eléctricamente las demandas promedio, para ello se hace uso de la proporción posible estimada por estudio efectuado por Cuchi, Díez y Orgaz (2002), autores que cuantifican una posible reducción de demandas eléctricas del 40 % respecto de las típicas. En consecuencia, se considera una posible reducción en el orden la mencionada magnitud.

4.3.4.3 *Despliegue de tecnologías de captación activa*

Se procede a analizar comparativamente la producción de colectores BIST_w, BIPV e híbridos BIPVT_a y BIPVT_w, al ser desplegados en techumbres de vivienda probeta. Se busca obtener la máxima producción energética posible, útil para autoabastecimiento así como para contribuir a la ciudad como a la red pública, bajo los postulados de ciudad energéticamente auto-suficiente a partir de producción energética en edificios y equipamiento (Lund 2012; IEA 2009).

Las cuatro opciones tecnológicas analizadas, desplegadas y simuladas en el prototipo de vivienda son:

- Despliegue de tecnología solamente BIPV.
- Despliegue de tecnologías BIPV más BIPVT_a.
- Despliegue de tecnologías BIPV más BIST_w.
- Despliegue de tecnologías BIPV , BIPVT_w y BIPVT_a.

El primero de los casos, el más sencillo bajo la perspectiva de autoabastecimiento eléctrico solamente, analiza los niveles de abastecimiento disponiendo la vivienda bajo distintas orientaciones; en los otros tres casos que presentan mayor complejidad por integrar más de una tecnología, se analiza el desempeño considerando que la fachada posterior captadora está enfrentando directamente al norte. El estudio es en días característicos promedio de mes de mínima irradiación, máxima irradiación y en día representativo interestacional. La metodología y herramientas empleadas son las mismas que en los casos anteriores para medir el rendimiento de casos extremos por condición de faldón, es decir, con aplicación de eficiencia de rendimiento directa proporcional a irradiaciones disponibles en superficies inclinadas, las cuales se simulan a través de *Trnsys*[®]; también eficiencia directa se aplica para estimar producción térmica en tecnología BIPVT_a; para el caso de abastecimiento térmico de colectores solares BIST_w y la consecuente proporción

de producción y abastecimiento térmico desde colectores híbridos es determinado por F-Chart. En cuanto a demandas para calefacción se encuentran con simulación en *Trnsys*[®] y *Trnbuild*[®], las demandas para ACS se adoptan a partir de requerimiento de familia de cuatro personas y para demanda eléctrica desde encuestas de vivienda de la misma tipología. Tanto herramienta *Trnsys*[®] como F-Chart entregan balance anual, lo que permite comparar producción demanda neta por año al igual que horario. Los excedentes se expresan en kWh al año y mostrando una posible capacidad de alimentación de un automóvil eléctrico con rendimiento de 6 km por kWh, que es un rendimiento habitual (Conserjería de Hacienda de Madrid 2012).

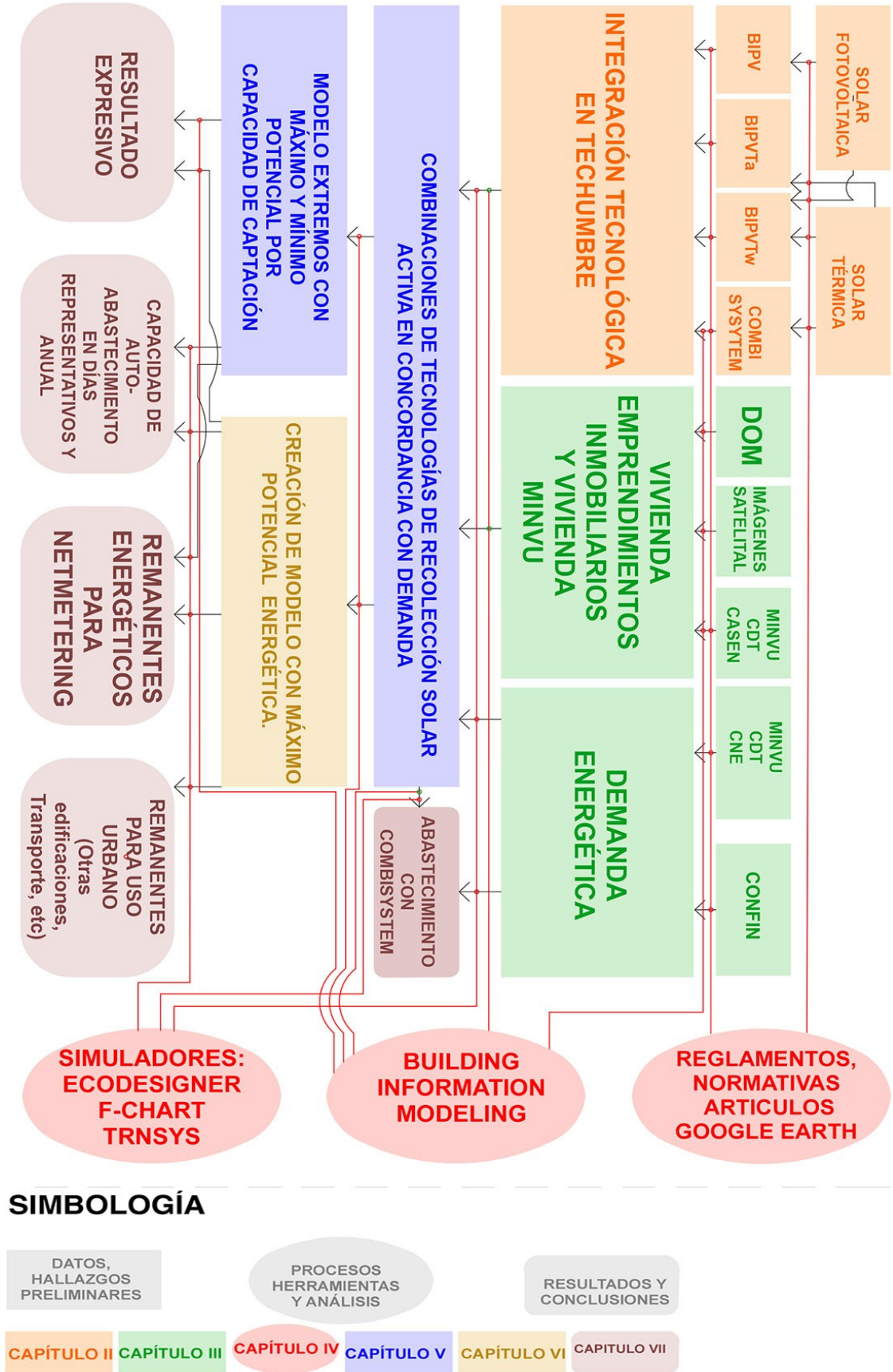
4.3.4.4 Metodología para medición de capacidad de despliegue de colectores, de aspecto resultante y de soleamiento

Complementariamente en la Sección 6.4 se ejecuta simulación de montaje tridimensional de los colectores BISTw, BIPV, BIPVTw y BIPVTa para así conocer la capacidad de cabida de los mismos, al tiempo que se observa la incidencia solar tanto pasiva como activa a través de simulación de soleamiento. Con ello se precisa el distanciamiento necesario entre unidades, aspecto relevante en estos modelos considerando que en este caso es necesario evitar bloqueo incluso a la planta baja para lograr captación pasiva. Para ello se utiliza el modelado tridimensional en BIM Archicad 17[®] y su capacidad de análisis de asoleamiento en distintas épocas.

El mismo modelo permite la inclusión de textura de placas solares de las tecnologías analizadas en las distintas asociaciones determinadas, con ello se puede prever el aspecto visual resultante de la instalación, representado a través de imágenes render. En cuanto a la posible construcción y despliegue de las colectores es un aspecto que se asume posible considerando la cantidad de productos que existen en el mercado para integración arquitectónica y que se exponen en los Anexos de esta tesis, no obstante es necesario como trabajo futuro el realizar un detallado específico en concordancia con los resultados expuestos en esta investigación y quizá con la posibilidad de importar alguno de los productos en específico para analizar in situ y respecto de los elementos estructurales típicos. Ambos tipos de colectores no presentan cargas que signifiquen sobrepesos exagerado a la estructura (Máximo 20 kg/m² en el caso de las placas térmicas) (Tabla 2.1), teniendo en cuenta que no se prevén bajo el criterio de integración arquitectónica la necesidad de superposición de almacenamiento sustentado en techumbre, considerando la premisa de que en la integración arquitectónica ejecutada en esta tesis los almacenamientos de fluido térmico líquido van en niveles inferiores. Se trata sin duda de una situación más adecuada respecto al modelo de instalación actual, en el que colectores STw se están instalando por lo general con almacenamiento sobre techumbre, lo cual sí significa una aplicación de cargas puntuales y de características dinámicas como lo es el almacenar agua.

4.4 Mapa Conceptual Metodológico

Figura 4.7: Mapa Conceptual Metodológico (El Autor)



La Figura 4.7 muestra la secuencia de procesos para obtener los distintos resultados planteados en los objetivos específicos. Estos procesos fueron llevados a cabo por el autor de esta investigación, con excepción de la determinación de las demandas típicas y su caracterización, las cuales se obtuvieron de análisis previos efectuado por el Grupo de Investigación CON*FIN y se utilizó F-Chart previamente programada por el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Concepción, también como parte de trabajo desarrollado por CON*FIN.

5. Capítulo V: POTENCIAL SOLAR DE TECHUMBRES DE CASAS UNIFAMILIARES EN CONJUNTOS INMOBILIARIOS

5.1 Introducción:

Este capítulo muestra los resultados de estudios, procesos, análisis y simulaciones enunciados en el planteamiento metodológico, entre ellos:

Determinación de la representatividad de los conjuntos de vivienda y sus condiciones geométricas. Estimación global y anual del potencial de irradiación colectable en todas las viviendas sujeto de estudio. Estimación de abastecimiento eléctrico con integración PV y térmico eléctrico con tecnología BIPVTa.

Medición de la irradiación disponible sobre indicadores AMD Y SAMD a escala horaria para los días promedio de meses con mínima, máxima irradiación y también en día promedio de mes interestacional con irradiación intermedia. Estimación en días característicos de abastecimiento térmico-eléctrico con tecnología BIPVTa.

Dimensionamiento de la capacidad de integración de los colectores BIPV, BIPVTa y BISTw en concordancia con geometría de colectores con formato comercial frente a formatos de faldones de cubiertas. Además de la medición de capacidad de abastecimiento termoeléctrico. Complementariamente, se encuentra la capacidad de abastecimiento térmico con recolección solar Combi, en modelo de casa MINVU.

Determinación de capacidad de auto aprovisionamiento y entrega de excedentes de un modelo desarrollado integrando medidas de eficiencia energética, captación solar pasiva y captación solar activa.

5.2 Determinación de sujeto de estudio y estimación de irradiación, potencial BIPV y Térmico-Eléctrico BIPVTa de conjunto sujeto de estudio

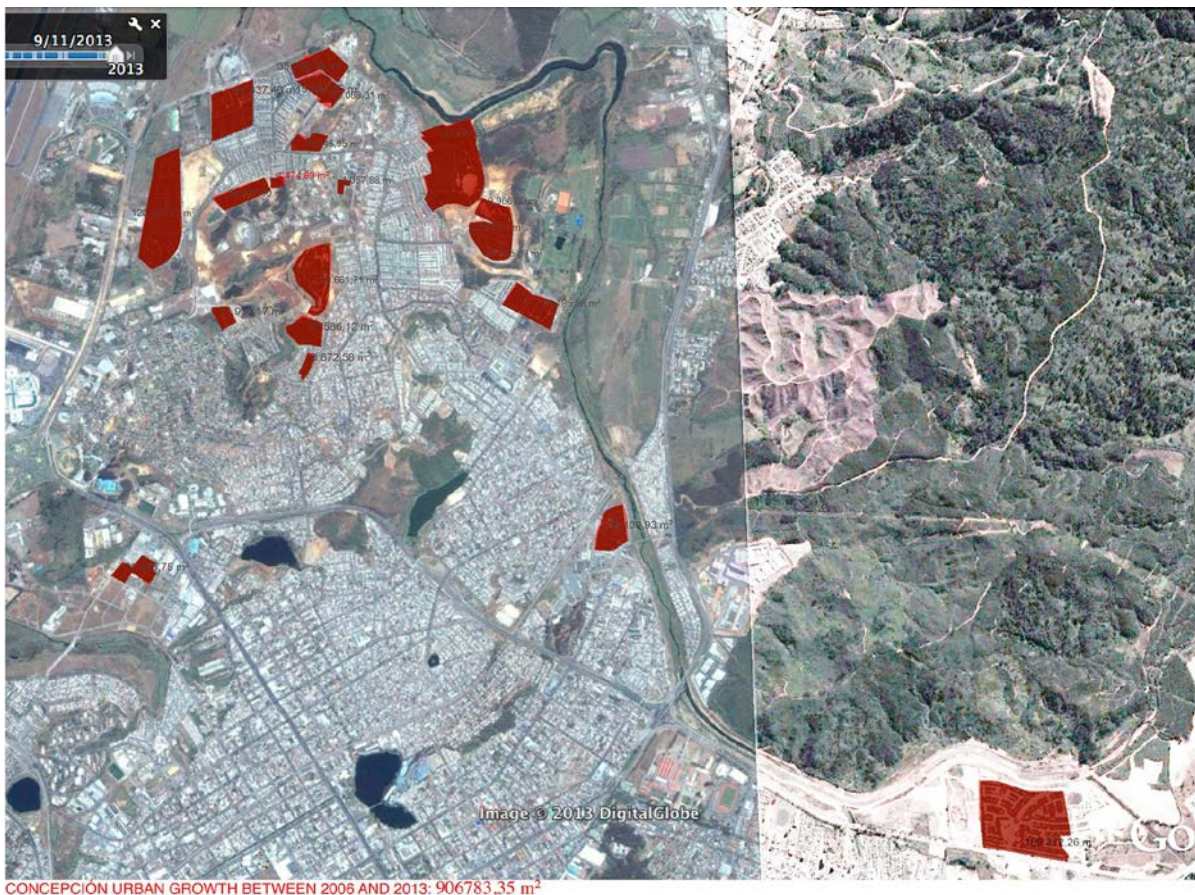
5.2.1 Dimensionamiento y representatividad de emprendimientos inmobiliarios y principales características e indicadores

Fotografías satelitales tomadas en momentos distintos, muestran el crecimiento de la ciudad temporalmente, por ende son apreciables los conjuntos de casas recientes. Ellos ocupan una superficie horizontal considerable, fácilmente identificable, seleccionable y trazable; desde el aire el conjunto de techumbres muestran una apariencia característica de materialidad uniforme, que resulta en texturas fácilmente distinguibles (*Figuras 2 y 5.1*).

Al dimensionar la magnitud de superficie ocupada de los loteos, se detecta un crecimiento en conjuntos de casas de 906.783 m². Se identifica cada conjunto por medio del sistema

de Catastro Municipal Electrónico (Dirección de Obras Municipales de Concepción 2014) y se determinan los modelos presentes. Son prioridad aquellos con mayor dimensión y más unidades, se analizan efectivamente los conjuntos de casas que ocupan 633.350,1 m², es decir el 69,8 % del crecimiento detectado (Fig. 5.2). Se obtienen datos de 2139 casas en 9 conjuntos de los 22 localizados, entre ellos los de mayor dimensión: Valle Noble, con 485 viviendas, Antilhue con 375 y Las Princesas con 449. Los principales indicadores calculados se proyectan a aquellos no escrutados de acuerdo similitudes tipológicas de modelo, cantidad de unidades, densidad, etc.

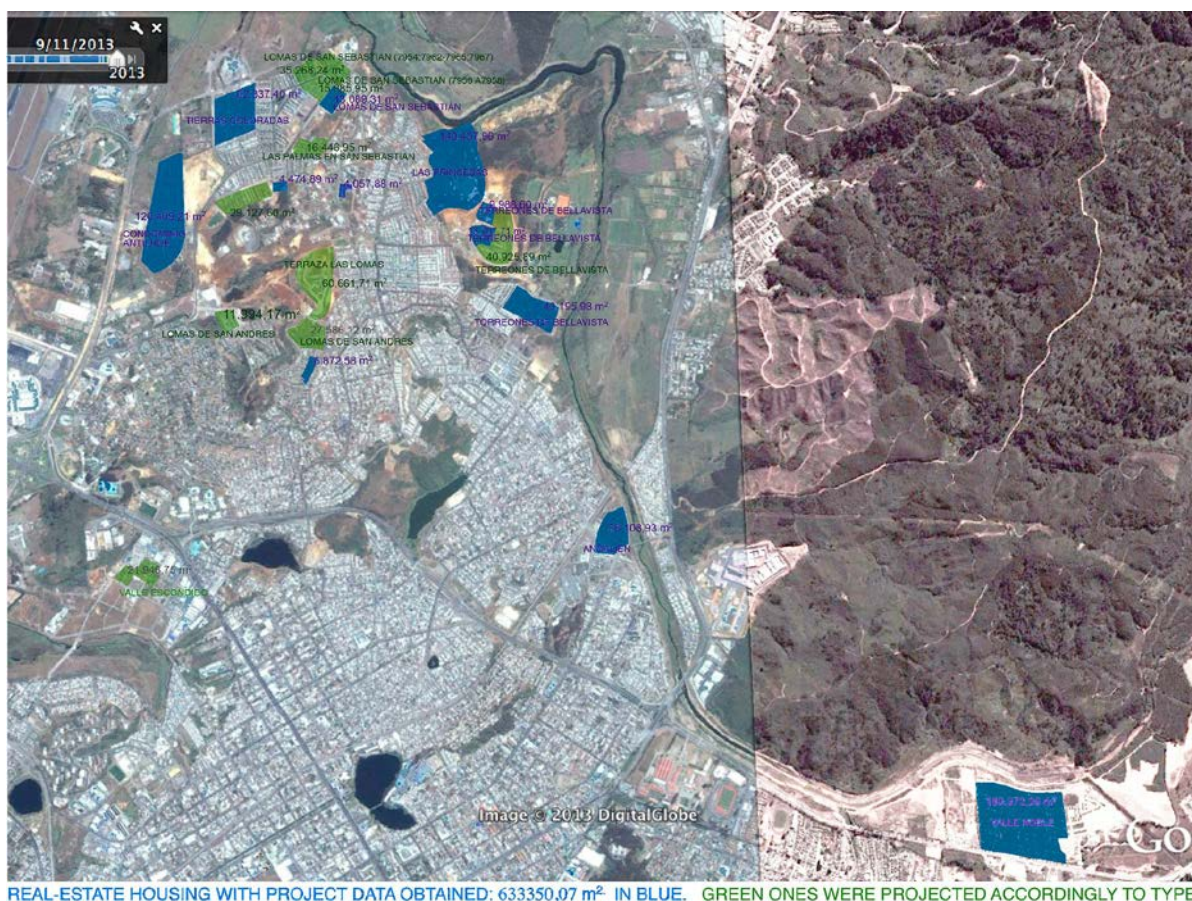
Figura 5.1: Conjuntos determinados como crecimientos de ciudad desde 2006 extraídos de Googlearth (El Autor)



La casa promedio se estima ocupa 289,47 m² de ciudad (incluyendo lote propio y espacio público en general). El crecimiento en conjuntos de casas entre 2006 y 2013 es 3.132 unidades aproximadamente, el cual corresponde al 90,6 % de los permisos emitidos según el Observatorio Urbano de Chile, que señala se emitieron 3.458 licencias (Observatorio Habitacional 2014); el 9,4 % restante son unidades fuera de conjuntos habitacionales o proyectos aprobados no edificados. Las 2.139 casas frente a la totalidad de viviendas existentes (65.626 según CASEN, 2009), representa el 3,3 % de las casas registradas legalizadas, 52.630 unidades, se obtiene el 4,1 %. No es una muestra representativa de la tipología casas de Concepción en general, porque los modelos en emprendimientos unifamiliares presentan diferencias respecto a casas más antiguas fuera de ellos, muchas

edificadas con diseño exclusivo, regidas por distinta normativa. La muestra frente al universo de 3.132 unidades nos entrega un error del 1,1 %, con un margen de confianza del 95 %. Por la alta proporción de unidades recolectadas es concluyente para mostrar un panorama real de morfología y características geométricas de las techumbres del universo total (Fig. 5.3).

Figura 5.2: En Azul, conjuntos residenciales de lo que se obtuvieron datos proyectuales y geometría de techumbre; en verde conjuntos de viviendas a los que se proyecta indicadores por afinidad aparente (El Autor).



5.2.1.1 Cuantificación de Vivienda por modelo y caracterización constructiva

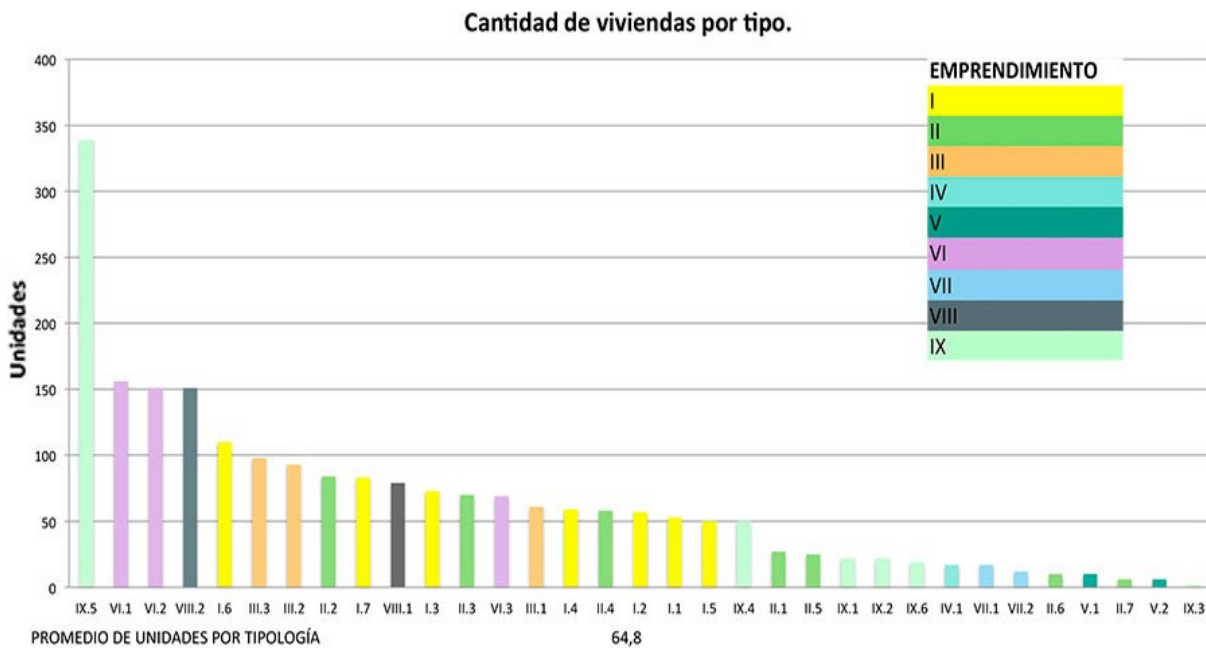
Los conjuntos residenciales efectivamente analizados se emplazan en su gran mayoría al norte del área urbana de la comuna, excepto el mayor (Valle Noble), localizado hacia el oriente. Son nueve agrupaciones que contienen 2.139 casas, con 33 modelos diferentes en implantación aislada o pareada. La cantidad de viviendas por modelo varía entre 1 y 339 unidades repetitivas.

Las casas poseen una superficie variable de entre 57 m² hasta 170 m², con promedio de 93,3 m², superior a la estadística nacional que refleja la mayor parte de viviendas en menos de 70 m² (Cámara Chilena de la Construcción 2014), pero cercano al observado para la ciudad (MINVU, 2013). Casi la totalidad posee dos pisos (98,7 %) y solamente dos modelos con 28 unidades tienen tres niveles. (Fig. 5.4).

Figura 5.3: Universo de viviendas tipo “casa” respecto de estimado en conjuntos habitacionales y tamaño de muestra para determinación de geometría de techumbre (El Autor).



Figura 5.4: Modelos de casas y unidades por modelo en emprendimientos analizados. (El Autor).



La demanda energética está determinada por el sistema constructivo, uso, habitantes, orientación, etc. Las demandas en promedio según CDT (2010), está en el orden de 142 kWh / m² de vivienda para calefacción; en electricidad se estima 26,7 kWh / m² al año; para demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS), se estima el requerimiento de 4 personas, estando este en el orden de 21,43 kWh / m² por año.

5.2.1.2 Determinación de características geométricas de techumbre

A continuación se descifran los indicadores de los 2.139 casos efectivamente analizados. La proyección plana de techos ocupa 209.479,9 m² o 23,0 % del total de loteo; la superficie restante corresponde a jardines, vías, espacios públicos o terrazas. En contabilización de superficie real inclinada resulta en un 129 % respecto de la superficie horizontal de ocupación. Se cuantifican entre 3 y 12 faldones de cubierta por casa. La mayor recurrencia está entre 3 y 6 faldones (Fig. 5.5). A mayor tamaño de casa, la tendencia es techumbres más facetadas.

Figura 5.5: Recurrencia de número de alas de techumbre frente a superficie de tipología de vivienda y cantidad de viviendas por tipología (El Autor)

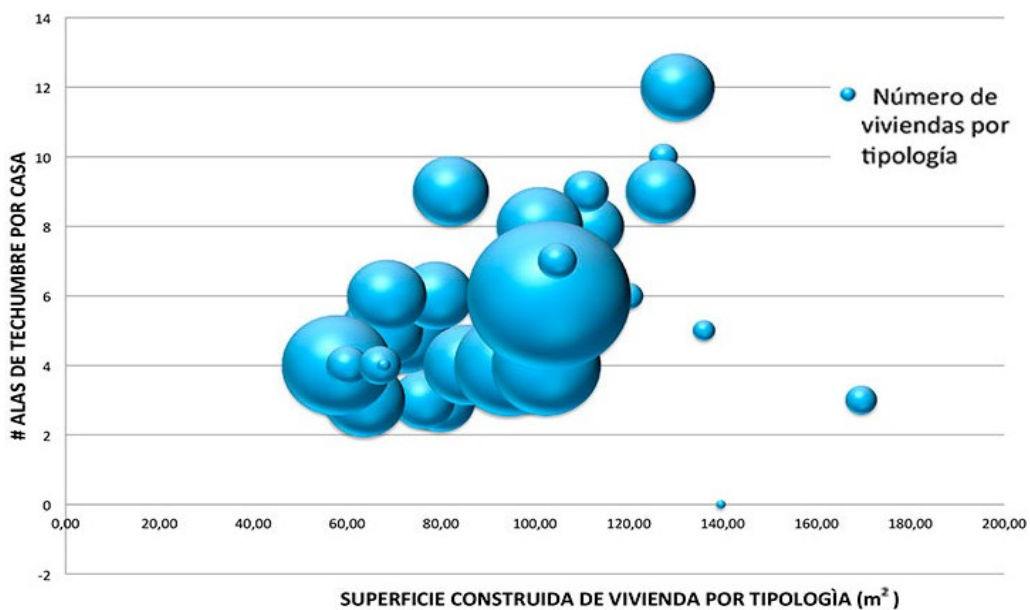
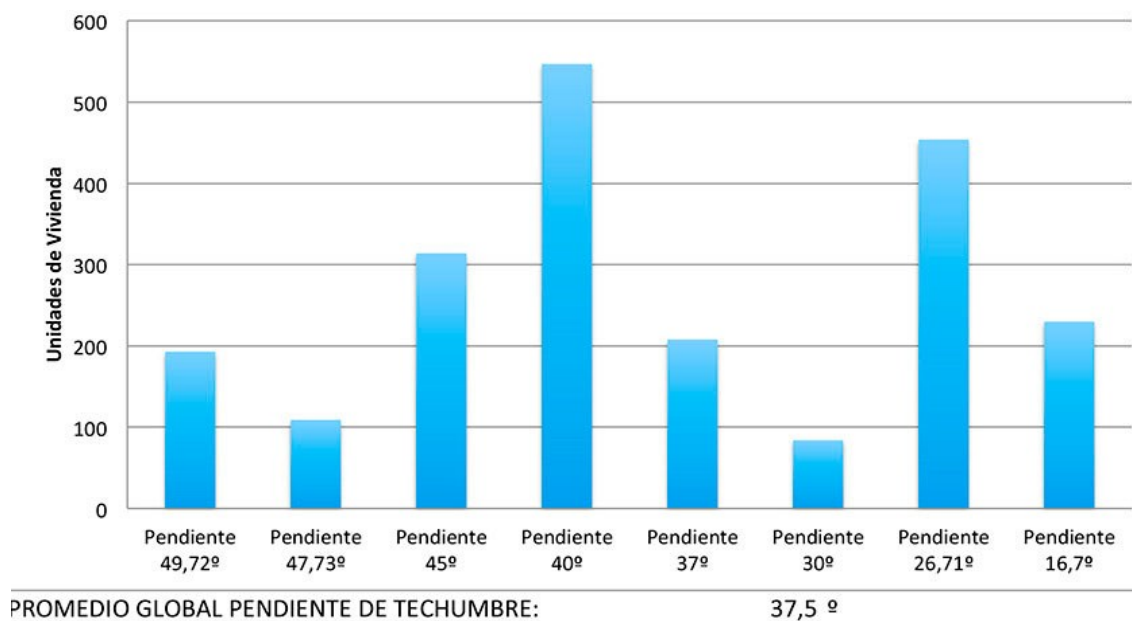


Figura 5.6: Recurrencia de pendientes de techumbres (El Autor)



Las inclinaciones de alas de techumbre muestran dos pendientes moda de 40° y $26,71^\circ$, entre estas dos o muy próximas a estas inclinaciones están prácticamente 1.000 casos (47 % de los analizados). El promedio de pendiente de todos los modelos es $37,5^\circ$. Considerando la latitud de Concepción de $36,5^\circ$ Sur es prácticamente coincidente, en consecuencia es propicio para tecnología fotovoltaica. En análisis de casos extremos, vemos que el rango de inclinaciones está comprendido entre $16,7^\circ$ y $49,7^\circ$. Por lo general cada techo presenta una sola inclinación en todos sus faldones, con pocas excepciones. El 54,7% de casos muestran pendientes superior a la latitud entre 40° y 49° , siendo por lo general casas en que la techumbre es habitada como mansarda, esta inclinación pronunciada es una condición adecuada para la recolección de energía térmica, considerando una orientación favorable (Fig. 5.6).

5.2.1.3 Determinación de indicadores AMD, SAMD y Azimut

Figura 5.7a: Esquema de definición de AMD y SAMD (El Autor)

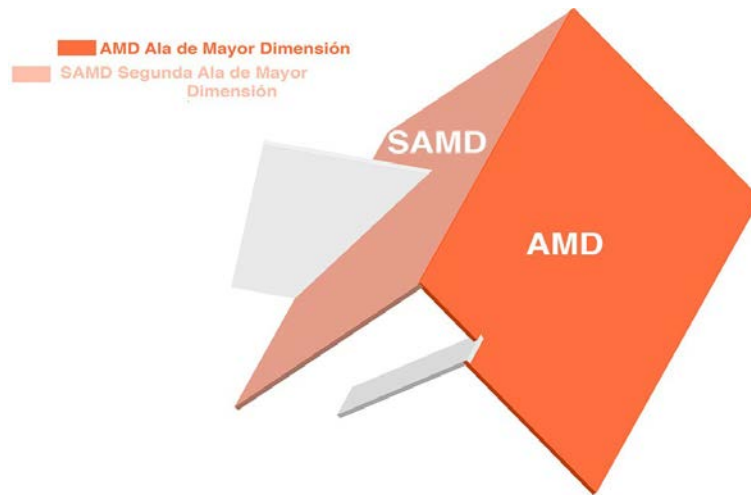
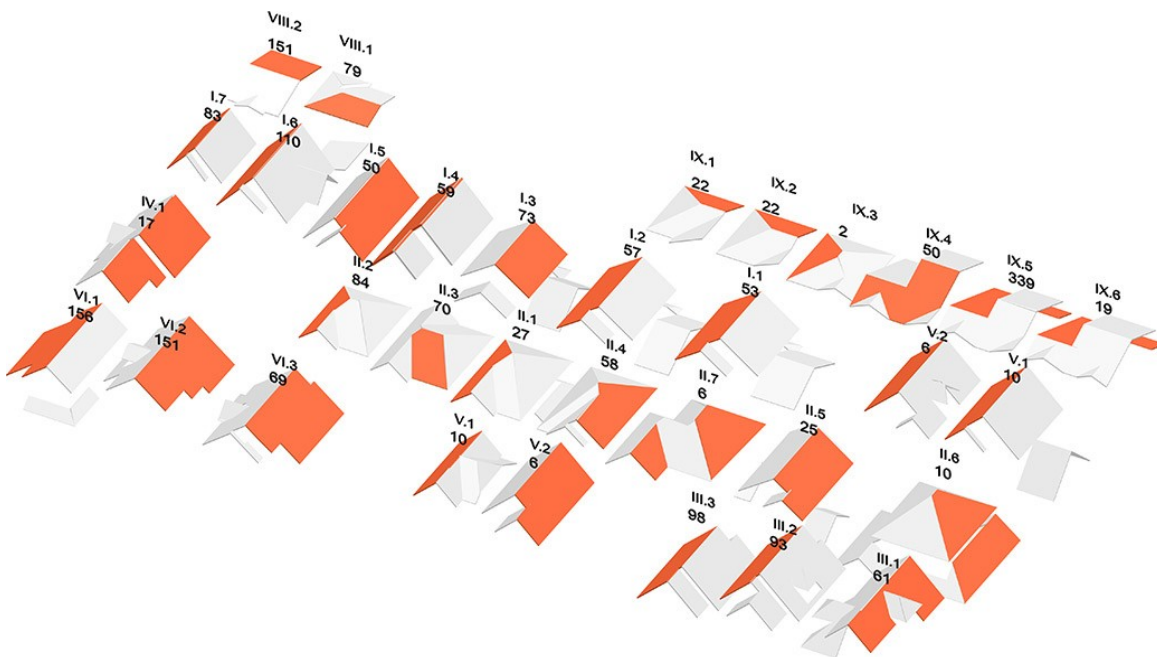
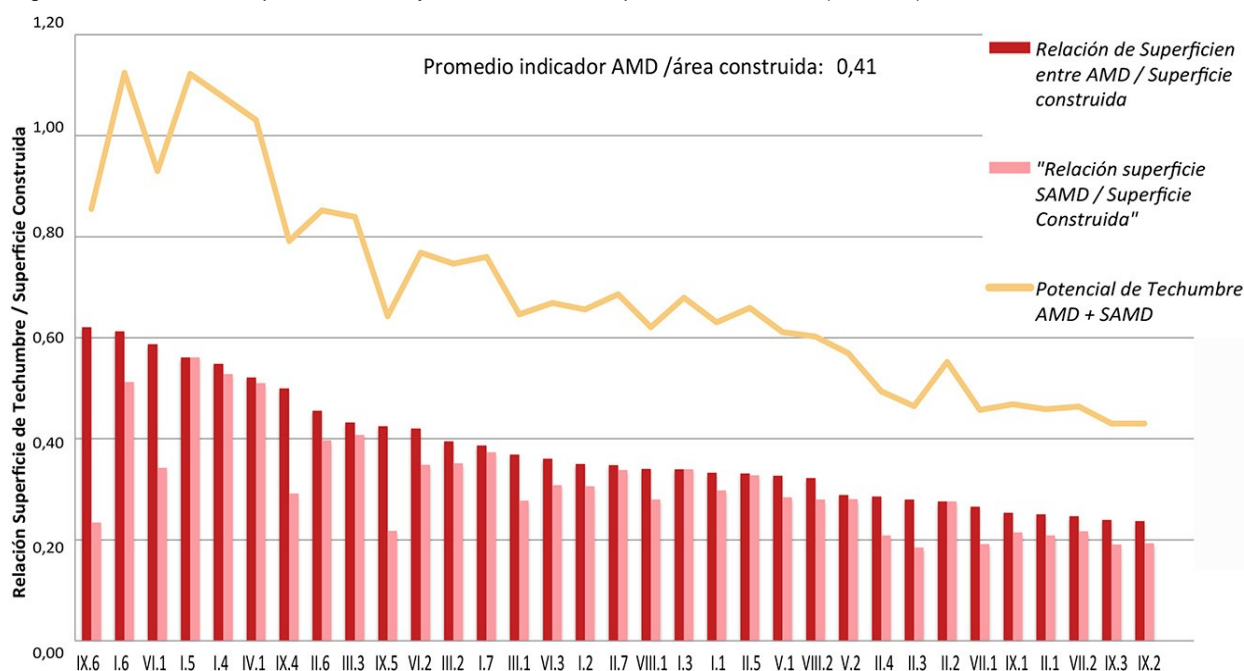


Figura 5.7b: Tipologías de techumbres, determinación de AMD y cantidad de unidades por modelo (El Autor)



El potencial energético solar está en relación directa y lineal con la superficie disponible; a mayor superficie, mayor captación y producción energética. Los emprendimientos de casas desarrollados alrededor del mundo con criterio de aprovechamiento solar-activo presentan dos características: Amplios paños y correcta orientación (en los países del hemisferio norte hacia el sur y los del sur encarando al norte) (IEA 2009; Hachem 2012). Para calificar estas características son descifradas individualmente en cada modelo. Por ello es necesaria la identificación de AMD y SAMD por cada caso de vivienda (*Fig. 5.7a*).

Figura 5.8: Indicador Superficies AMD y SAMD frente a superficie construida (El Autor)

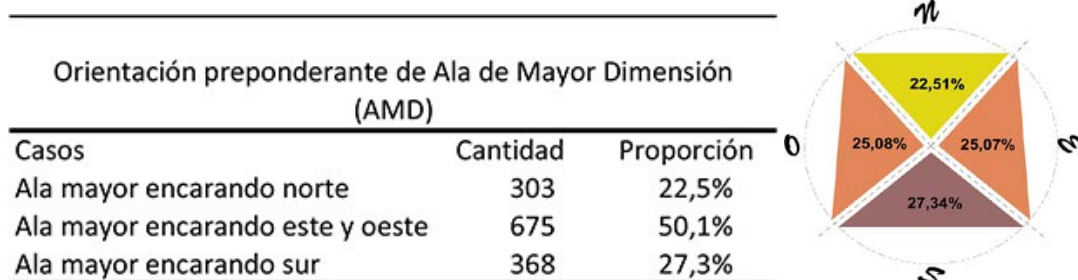


Los diagramas tridimensionales muestran las AMD de todos los casos, este dimensionamiento permite conocer la superficie y superficies disponibles por cada modelo y en conjunto total. Se presentan variadas potencialidades al relacionar superficie captadora / superficie construida, la mayoría de los casos está entre 0,25 y 0,45 de AMD por m² construido. Los casos extremos muestran relaciones de casos extremos entre 0,20 en Modelo I.1, al que en lo posterior denominaremos *Modelo B*, hasta 0,62 en el Modelo I.6, al que denominaremos *Modelo A* (*Fig. 5.7b*). El promedio general es 0,39. La relación total entre AMD frente a superficie de ciudad 0,13 m² / m² urbano. En la *Figura 5.8* se muestra la relación de SAMD respecto de superficie construida siempre inferior a AMD, aunque con paralelismo entre potenciales AMD y SAMD en la mayoría de los casos. La combinación de AMD y SAMD expone un mayor potencial individual.

El determinar y sistematizar las orientaciones de AMD o SAMD de cada caso es un problema mayor, cada vivienda presenta un emplazamiento y disposición propia y particular. Como comprobación, sin embargo, se analiza midiendo en un grupo de las viviendas levantadas la orientación de ADM por caso respecto de los cuatro puntos cardinales: El grupo Norte, las casas con AMD orientada dentro del rango 45 ° nororiente hasta 45 ° noroccidente; luego aquellas unidades cuya AMD orienta al Este u Oeste, entre

45 ° Nororientado – 45 ° Surorientado y 45 ° Suroccidental – 45 Noroccidental. Se cuantifican conjuntamente las casas con faldones AMD que miran al este u oeste, ya que respecto de irradiación disponible es similar. Finalmente las casas cuya AMD encaran al sur (menor potencial), cuando están direccionadas entre sur orientado a sur occidental. La muestra que se llega a registrar corresponde a loteos más relevantes: Valle Noble con 485 casas, Condominio Tierras Coloradas con 252 casas, loteo Camilo Henríquez con 226 casas y Condominio Antilhue con 376 casas. La muestra total es de 1346 casas (43,0 % del universo). Los resultados obtenidos se señalan en *Tabla 5.1* con un margen de error del 2 %.

Tabla 5.1: Proporción de viviendas con ala mayor encarando al norte en emprendimiento Valle Noble (El Autor)



La *Tabla 5.1* refleja una distribución próxima al 25 % de unidades orientadas por cuadrante con leve predominio para aquellas cuya orientación de AMD es al sur. Este leve predominio es el resultado de un desbalance en un conjunto concreto, en el cual existen 94 unidades de un modelo en específico (el Modelo VI.1), el que orienta al sur su AMD frente a únicamente dos unidades de este mismo modelo que encara su AMD al norte. Otro aspecto es que tanto la AMD o la SAMD por caso miran indistintamente hacia fachadas laterales, frontales o posteriores. Como consecuencia se concluye que no existe relación alguna entre techumbres y recorrido solar. Mientras más unidades son analizadas, la tendencia es emparejar la tendencia de proporción de unidades orientadas en todas las direcciones. Bajo este criterio se considera que actualmente las viviendas presentan una disposición anárquica frente al recorrido solar, así también sus faldones.

522 Irradiación solar anual incidente en techumbres inclinadas de viviendas de conjuntos de casas unifamiliares

Para detectar la potencial producción energética del conjunto de viviendas, se dimensiona la irradiación anual por recibir en la faceta de cubierta AMD o SAMD, siendo éstas las opciones captadoras dependiendo de la orientación. Cuando la AMD se orienta desfavorablemente, la SAMD estará en dirección opuesta o perpendicular, mejor dispuesta para captación. Se encuentra el punto promedio cuando el indicador de la SAMD es más favorable respecto de la AMD. Esta correlación finalmente determinada es una proporción de 77,2 % de superficie disponible en SAMD frente a la superficie AMD promedio.

La pendiente promedio de todos los casos de alas potencialmente captadores es 37,5 %; aunque para mejorar la precisión de estimación de irradiación por pendiente, se utilizan dos pendientes moda detectadas de 27,5 % y 43,7 % en los cálculos subsiguientes. Con los indicadores de superficie disponible, las pendientes moda y una vez establecido que los faldones de techumbre poseen una situación anárquica en cuanto a orientación, es factible estimar la irradiación global obtenible de manera estadística. En primera instancia se detecta bajo qué condición de desviación solar de las AMD se debería empezar a considerar la captación con faldones SAMD. Para ello se mide entonces la irradiación en las pendientes moda con distintas orientaciones en los meses de equinoccio y solsticio: Enero (irradiación global máxima), marzo (equinoccio 1), junio (irradiación global mínima) y septiembre (equinoccio 2), hasta detectar con qué desviación (y condición promedio) se debería empezar a considerar el indicador SAMD (*Tabla 5.2*).

Tabla 5.2: Incidencia de radiaciones en inclinaciones más representativas de viviendas de conjuntos habitacionales, según distintas orientaciones (El Autor)

Estadística de radiación mensual por m2 acorde a azimuth de e inclinación de colectores en kWh/m2							disminución de irradiación recibida por menor área disponible de captación (77,24%)
Azimuth(º) de colector	Pendiente (º) de Colector	Enero	Marzo	Junio	septiembre	Promedio	
	27,5	205,9	167,5	69,6	132,2	143,8	111,1
0	43,7	186,6	171,8	81,8	137,6	144,4	111,6
22,5	27,5	202,3	164,5	68,4	129,8	141,2	109,1
	43,7	183,3	144,9	80,3	135,2	135,9	105,0
45,0	27,5	191,3	155,6	64,7	122,8	133,6	103,2
	43,7	173,4	168,7	76,0	127,9	136,5	105,4
60,0	27,5	180,0	146,4	60,8	115,5	125,7	97,1
	43,7	163,1	150,1	71,5	120,3	126,2	97,5
90,0	27,5	147,5	120,0	49,9	94,7	103,0	79,6
	43,7	133,7	123,1	58,6	98,6	103,5	79,9
113,0	27,5	113,9	92,6	38,5	73,1	79,5	
	43,7	103,2	95,0	45,2	76,1	79,9	
135,0	27,5	74,6	60,6	25,2	47,9	52,1	
	43,7	67,6	59,1	29,6	129,3	71,4	

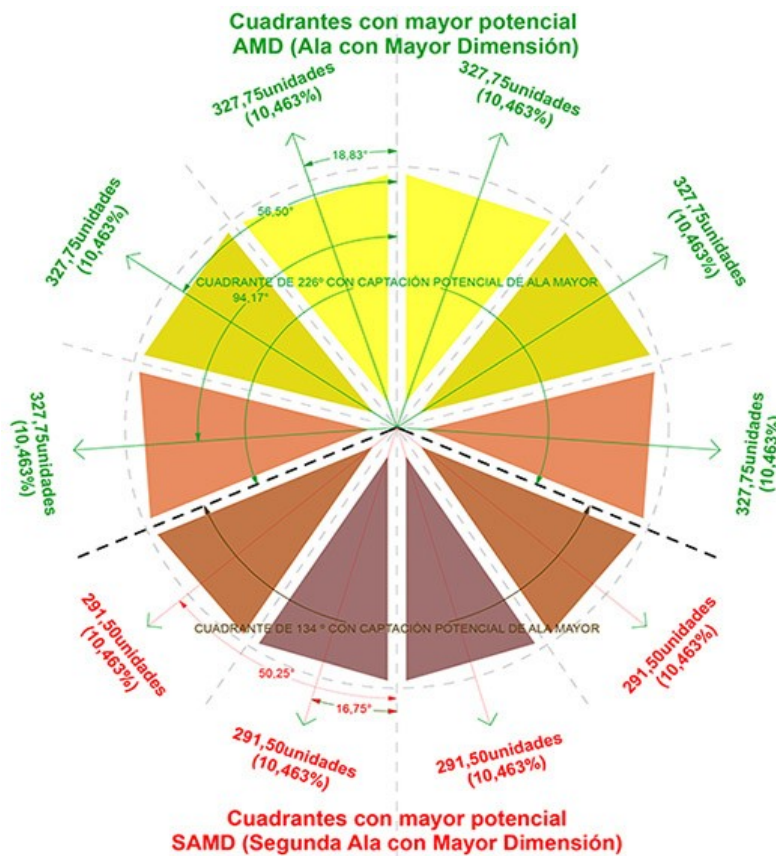
Radación solar global estimada en superficies acorde a variaciones de azimuth e inclinación para el caso de Concepción acorde a expresión de cálculo de Norma Técnica para aplicación de Ley 20345.

La estimación mostrada en la *Tabla 5.1* señala que cuando la AMD promedio muestra una desviación de 113,0 ° respecto del norte, la irradiación captada es similar a la SAMD rotada 90 ° respecto del norte (también considerando la condición promedio). Por lo tanto se adopta como desviación estadística máxima previo a tornarse adecuada la utilización de la SAMD. Se reparte el universo de casas distributivamente con AMD dentro del rango de 226 ° (113 ° desvío al este y oeste), grupo al que corresponden proporcionalmente 1.967 casas; luego, para captación con SAMD encarando dentro de 134 ° Norte las 1166 unidades restantes (*Fig.5.9*).

La *Figura 5.9* muestra entonces la subdivisión resultante de grupos de casa, de acuerdo con la posibilidad de orientación de AMD o SAMD como potenciales captadores. El

cuadrante de 226 ° graficado en zona superior de la distribución, se subdividen subcuadrantes, los cuales representan el volumen de seis grupos de casas cuyos faldones poseen orientaciones AMD adecuadas y distintas desviaciones promedio para estimación de irradiación; el cuadrante inferior representa las casas con potencial captación SAMD de 134 ° está en la parte inferior de la subdivisión y posee solamente cuatro subcuadrantes. Como resultado tanto cuadrantes AMD como SAMD contienen similar cantidad de casas (328 casas para las AMD frente a 291 para las SAMD). Los seis subcuadrantes que representan grupo con captación AMD están contenidos en un ángulo de 37,6 °, las SAMD quedan subdivididas en ángulos de 33,5 °. Respecto de la irradiación solar, la orientación este y oeste se suponen similares en términos de irradiación en la mañana y en la tarde respectivamente, entonces se calculan conjuntamente en producción mensual y anual. Así los subcuadrantes AMD poseen 656 casas con desviación de 18,83 °, 56,5 ° y 94,17 ° respecto del norte, para el grupo SAMD (zona inferior de Figura 49) resulta en 582 casas con desviación de 16,75 ° y 50,25 °. A continuación, aplicando el modelo matemático [1] descrito en la Sección 4.3.2 de esta tesis, se estima la irradiación recibida conjuntamente en techumbres AMD y SAMD mensualmente en la totalidad de casas.

Figura 5.9: Distribución de número de casas de universo construido a partir del 2007 en emprendimientos inmobiliarios masivo, como representación de grupos por orientaciones probables de ala de techumbre captadora (AMD y SAMD) (El Autor)



La *Tabla 5.3* muestra la irradiación total conjunta anual de 164.937,0 MWh; además se aprecian aspectos como variación de irradiación por inclinación de las dos pendientes, por

número de casas y principalmente por mes. El grupo con máxima producción es aquel que capta con AMD con menor desviación de 18,83 ° e inclinación de 43,7 °, el cual recibe 21.945,7 MWh al año; el grupo con menor producción utiliza su SAMD con alta desviación (50,25 °) e inclinación de 26,8 ° con captación anual de 11.552,4 MWh.

Luego se estima la electricidad a través de aplicación de eficiencia fotovoltaica directa. La literatura presenta una eficiencia de $\eta=16$ % como un promedio para fotovoltaicos instalados en centros urbanos conectados a red (aunque se trata de medición realizada entre 1996 y 2002, entonces con eficiencias PV más bajas a las actuales, en consecuencia se trataría de una magnitud más bien conservadora). Este desempeño teórico se ve penalizado por factores como eficiencia en inversores, distribuciones, sombreados, temperatura, factores de conexión, etc, de 25 % (Pelland y Poissant 2006). Se espera entonces una producción útil del 12 % respecto de irradiación recibida, magnitud que también es considerada por otros estudios (Clavadetscher y IEA & PVPs 2004; Hachem, Athienitis y Fazio 2011; Pelland y Poissant 2006).

Tabla 5.3: Irradiación recibida y posible generación eléctrica en conjunto de viviendas de emprendimientos unifamiliares (El Autor)

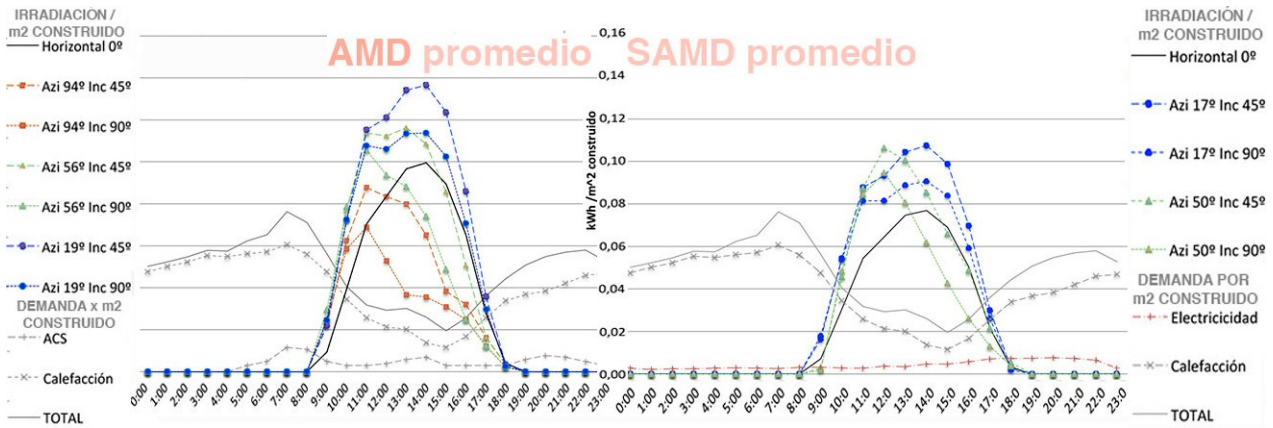
IRRADIACIÓN SOLAR ANUAL (MGWh) EN AMD o SAMD Y POTENCIAL PV ESTADÍSTICAMENTE DETERMINADO																	
Desvío en Azimuth(°) de captación	Inclinación (°)	# de viviendas	AMD o SAMD (m2)	Ene	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aga	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedi o Anual	TOTAL
19,1	26.8 (45.6% de 655 casos)	299,10	37,24	2.263,8	1.852,2	1.841,1	1.399,5	905,8	765,2	813,6	1.134,8	1.453,3	1.870,4	1.983,5	2.135,4	1.534,9	18.418,6
	43.7 (54.4% de 656 casos)	356,41	37,24	2.444,6	2.122,2	2.250,4	1.804,5	1.233,5	1.071,4	1.119,5	1.502,5	1.803,3	2.166,3	2.168,6	2.258,8	1.828,8	21.945,7
57,50	26.8 (45.6% de 655 casos)	299,10	37,24	2.027,9	1.659,2	1.649,3	1.253,6	811,4	685,5	728,8	1.016,6	1.301,8	1.675,5	1.776,9	1.912,9	1.375,0	16.499,4
	43.7 (54.4% de 656 casos)	356,41	37,24	2.189,9	1.901,1	2.015,9	1.616,5	1.105,0	959,8	1.002,9	1.345,9	1.615,4	1.940,5	1.942,7	2.023,5	1.638,3	19.659,0
95,83	26.8 (45.6% de 655 casos)	299,10	37,24	2.004,3	1.640,0	1.630,1	1.239,1	802,0	677,5	720,3	1.004,8	1.286,7	1.656,0	1.756,2	1.890,7	1.359,0	16.307,6
	43.7 (54.4% de 656 casos)	356,41	37,24	2.164,4	1.879,0	1.992,4	1.597,7	1.092,1	948,6	991,2	1.330,3	1.596,6	1.918,0	1.920,1	1.999,9	1.619,2	19.430,4
16,24 con SAMD	26.8 (48.72% of 583 casos)	266,01	28,28	1.534,4	1.255,5	1.247,9	948,6	613,9	518,7	551,4	769,2	985,0	1.267,8	1.344,4	1.447,4	1.040,4	12.484,2
	43.7 (51.28% of 583 cases)	316,98	28,28	1.657,0	1.438,5	1.525,3	1.223,1	836,1	726,2	758,8	1.018,4	1.222,3	1.468,3	1.469,9	1.531,1	1.239,6	14.874,9
48,75 Con SAMD	26.8 (48.72% of 583 cases)	266,01	28,28	1.419,9	1.161,8	1.154,8	877,8	568,1	480,0	510,3	711,8	911,5	1.173,1	1.244,1	1.339,4	962,7	11.552,4
	43.7 (51.28% of 583 cases)	316,98	28,28	1.533,3	1.331,1	1.411,5	1.131,8	773,7	672,0	702,2	942,4	1.131,0	1.358,7	1.360,2	1.416,8	1.147,1	13.764,7
TOTAL		3132,53		19.239,6	16.240,6	16.718,7	13.092,0	8.741,5	7.504,8	7.899,1	10.776,6	13.306,9	16.494,6	16.966,6	17.956,0	13.744,7	164.937,0
Potencial Eléctrico PV (IEA/ PELLAND Y POISSANTE / HACHEM)(EN MWh anual)			12%	2.308,8	1.948,9	2.006,2	1.571,0	1.049,0	900,6	947,9	1.293,2	1.596,8	1.979,4	2.036,0	2.154,7	1.649,4	19.792,4

Entonces con la eficiencia a conversión eléctrica, se desarrolla la *Tabla 5.3* que expresa una producción eléctrica estimada en las 3.132 techumbres de 19.792,4 MWh anualmente, lo que supone 6.319,4 KWh por casa en promedio. Al dividirse por superficie construida por casa promedio de 93,3 m², entonces se puede esperar una producción de 67,73 KWh de electricidad anual por m² habitable. La superficie de techumbre potencialmente productora total sería 106.197,42 m², significa una producción anual de 187,37 KWh por m² de techumbre recolectora (promedio de todos los casos y captación con AMD o SAMD y distintas orientaciones).

523 3 Irradiación horaria y margen de abastecimiento invernal con indicadores AMD y SAMD

Con el objetivo de ofrecer una perspectiva sobre la energía solar en relación con la demanda energética por m² en el mes más crítico, se obtienen curvas representativas horarias de irradiación colectable en indicadores AMD y SAMD promedio; además se encuentran las variaciones y reducción por orientación e inclinación comparativamente para junio. Se busca expresar el margen de irradiación disponible bajo demanda energética máxima característica del mencionado mes. La comparación horaria entre irradiación y demanda se señala en las figuras 5.10a y 5.10b. Denotando, a la vez, la influencia de inclinación y desviación en azimut.

Figura 5.10a y 5.10b: Comparación de irradiación horaria disponible en indicadores promedio SAMD (derecha) y AMD (izquierda) frente a demanda residencial (El Autor)

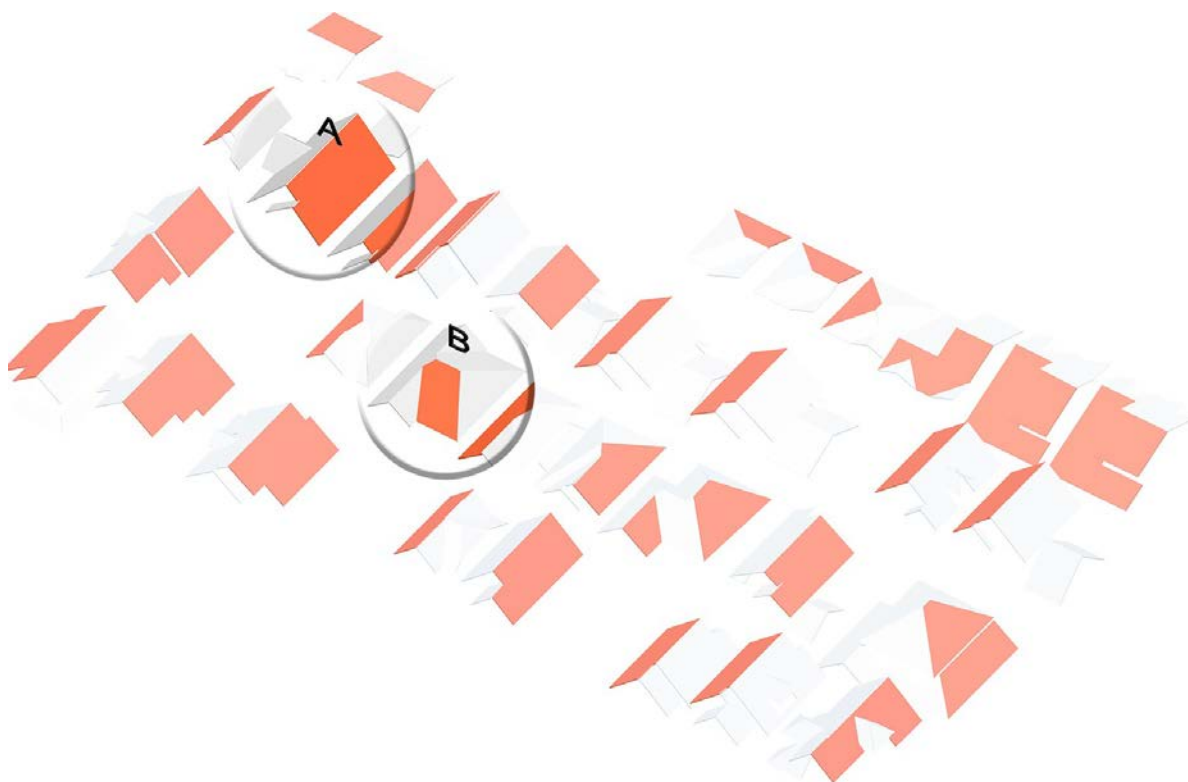


La Figura 5.10b muestra la irradiación disponible en indicador SAMD promedio por m² construido. Considerando que esta ala está dispuesta con desvío mínimo en azimut de 17 ° e inclinación de 45 °, diariamente se espera recibir 0,67 kWh por m² construido. Este mismo indicador, considerado en disposición horizontal, recibe solamente 0,452 kWh por m² construido al día. Estos datos demuestran que una superficie con pendiente pronunciada bien orientada incrementa la irradiación recibida en invierno. Al comparar estos rangos con la demanda diaria doméstica promedio de junio, que se prevé alrededor de 1,16 kWh / m², entonces la irradiación sobre indicador SAMD cubre entre 57,3 % y 38,9 % de la demanda total. Frente a un requerimiento eléctrico estimado de 0,096 kWh por m² al día, se obtiene entre 4 y 5 veces en energía solar durante el mes menos favorable. Esta magnitud implica que con eficiencias de entre el 15 % y 20 % (factible con PV), puede ser cubierta la demanda eléctrica diaria promedio de invierno.

La Figura 5.10a muestra la irradiación disponible en la AMD promedio de 0,39 m² por m² construido. Con pendiente de 100 % y baja desviación (19 °), en junio presenta la más alta recolección. Se estima entonces que se puede recibir un promedio diario de 0,853 kWh por m² construido al día; no obstante con una desviación de 94 ° respecto del norte y pendiente de 45 ° se recibe solo 0,499 kWh por m² construido al día. Este dato refleja un potencial

inferior en un 42 % respecto de la situación con poca desviación e incluso un 17 % inferior a superficie SAMD con poca desviación. Se deduce entonces la conveniencia de adoptar, en promedio, el segundo faldón cuando existe una alta desviación en azimut. En meses de invierno, con irradiación disponible con una trayectoria solar en baja altitud, las pendientes pronunciadas bien orientadas presentan una alta captación, pero son penalizadas en mayor medida por desviaciones en azimut.

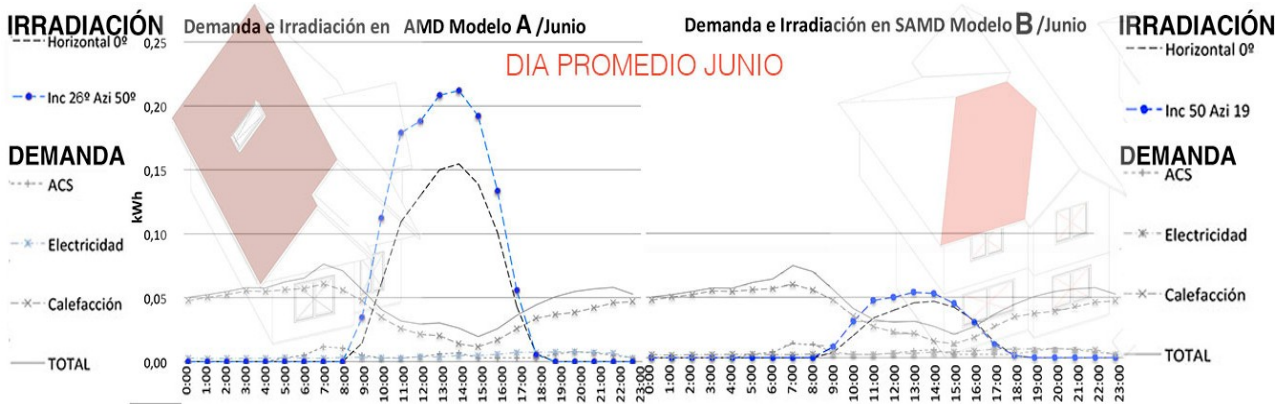
Figura 5.11: Selección de Modelo A y Modelo B entre los 32 casos efectivamente levantados (El Autor)



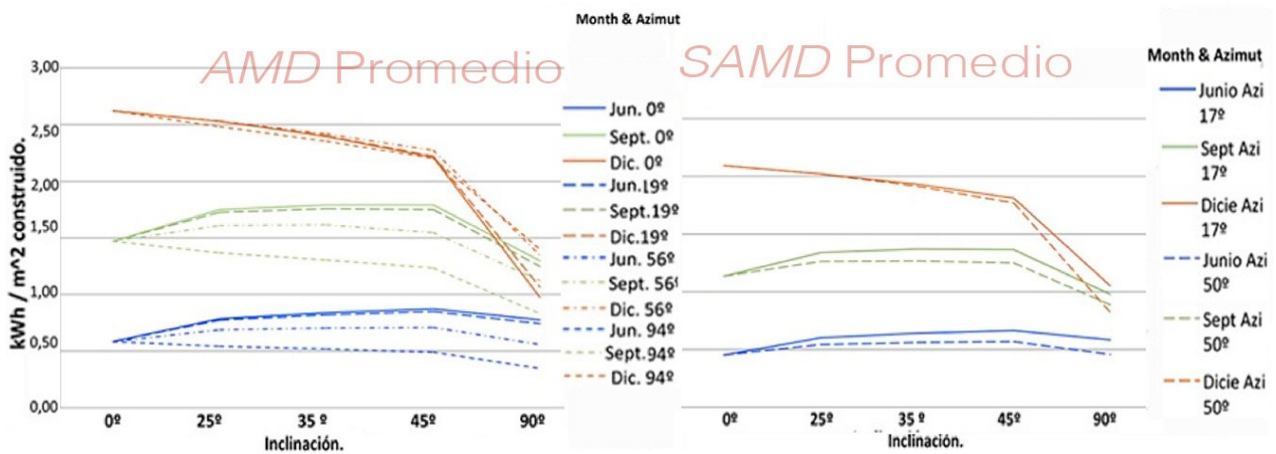
Se toman los casos extremos que poseen la AMD máxima y la SAMD mínima, aquel caso con superior AMD que posee $0,612 \text{ m}^2 / \text{m}^2$ construido y pendiente de 50° (*Modelo A*) y aquel modelo con indicador mínimo (*Modelo B*) que en su SAMD posee solo $0,125 \text{ m}^2 / \text{m}^2$ construidos con una pendiente cercana a 25° . Se dimensiona la capacidad de energizarse los dos casos extremos y se encuentran curvas de potencial irradiación utilizable por m^2 , comparándose a la vez con demandas diarias típicas (*Fig.5.4*). El modelo de inferior potencial con alta desviación (50°) puede obtener entre $0,27$ y $0,34 \text{ kWh}$ por m^2 construido diario (entre 25,5 % y 29,3 % de demanda de invierno). El modelo con superior potencial recibe entre $0,91 \text{ kWh} / \text{m}^2$ y $1,32 \text{ kWh} / \text{m}^2$ construidos (entre 78,3 % y 113,8 % de la demanda diaria de invierno). La opción con superior potencial recibe 1.314,6 % en irradiación respecto a demanda eléctrica. En conclusión, la energía que se obtiene en una de las alas de techumbre de la tipología con mayor aptitud puede abastecer entre 3 y 12 veces la demanda, en mes con mínima irradiancia. El modelo que posee mínimo potencial, la irradiancia neta podría abastecer tres veces la demanda total, no obstante se requiere

de captación directa adecuada o tecnología activa con muy alta eficiencia para suplir la necesidad energética total.

Figura 5.12a y 5.12b: Comparación horaria de irradiación frente a demanda en casos extremos para día promedio de junio: La AMD de Modelo A y desviación baja de 19 ° y la SAMD inferior en Modelo B con alta desviación 50 ° (El Autor)



Figuras 5.13a y 5.13b: Irradiancia recibida en AMD promedio y SAMD promedio durante día promedio de junio, diciembre y septiembre, según orientación e inclinación (El Autor)



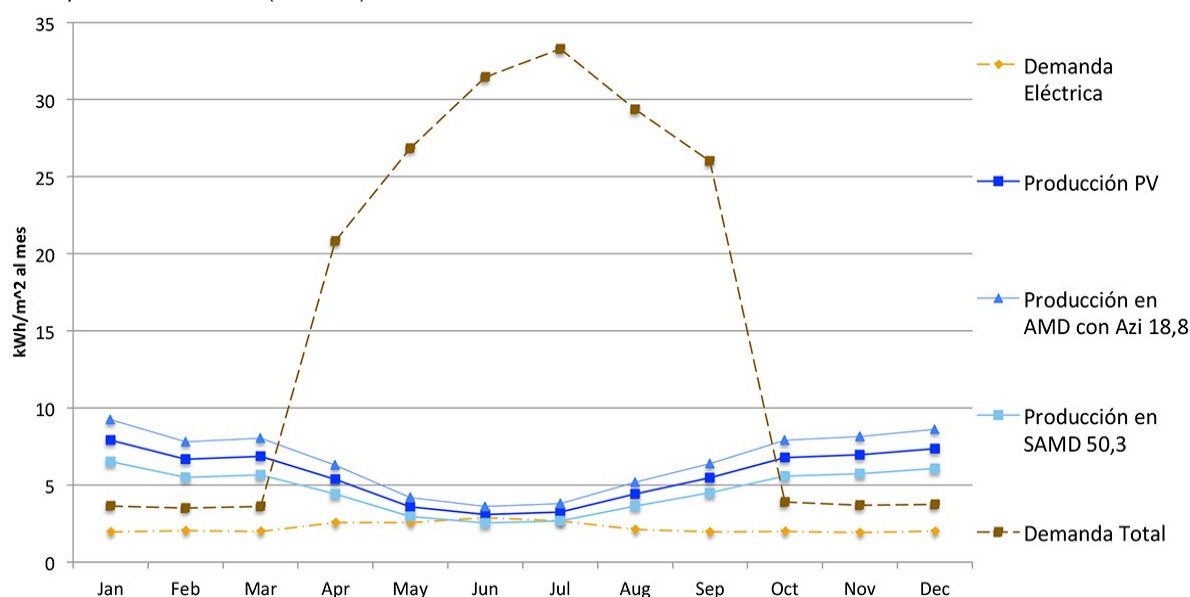
Se grafica además la variación de irradiación en concordancia con la orientación e inclinación. Con captación desviada en 50 ° la irradiación se incrementa en la mañana (en latitud sur), alcanzándose un máximo alrededor de las 11 am y penalizando la incidencia neta diaria solamente en 12,5 % a consecuencia del desvío. Las Figuras 5.13a y 5.13b muestran la irradiancia horaria en relación con variaciones en inclinación y azimut en meses extremos e interestacional sobre AMD y SAMD promedio por m² construido. Esta gráfica señala justamente que a mayores pendientes, la variación en azimut provoca una disminución consistente en la capacidad de recolección frente a las reducciones mostradas con pendientes leves; al alcanzar la disposición horizontal las variaciones en azimut obviamente no implican reducción de irradiación. Por otro lado, existe captación inferior en colector horizontal en época interestacional e invernal frente a implantar colectores verticalmente y con pendientes pronunciadas orientadas adecuadamente. El gráfico muestra mayor irradiancia con captación en colectores inclinados a 45 ° respecto de aquellos dispuestos horizontalmente o inclinados a 25 °, exceptuando en día promedio

de verano cuando la captación cercana a la horizontal predomina. La irradiación en indicador promedio de la AMD supera entre un 10 % y 25 % respecto al promedio alcanzado con la SAMD, denotando sin embargo que la segunda ala posee un potencial también relevante.

5.3 Comparación entre posible producción energética BIPVa solar frente a demanda residencial. Estudio en condición promedio y casos extremos

La electricidad es energía de alta calidad funcional comparada con la energía térmica, de hecho la primera se obtiene a partir de la segunda generalmente. Las condiciones y dificultad de obtención sugieren que no es eficiente el transformar la electricidad en calor. Así la alternativa es recolectar energía térmica solar y adaptarla para su uso como tal (Chow 2010). El abastecimiento fotovoltaico debería destinarse para cubrir demandas eléctricas en lo posible. En consecuencia esta investigación aborda la posible producción fotovoltaica y fotovoltaica-térmica con colectores híbridos como alternativas de abastecimiento frente a demandas residenciales estadísticamente determinadas.

Figura 5.14: Curvas promedio de demanda eléctrica y energética global frente a producción promedio por m² de superficie construida (El Autor)

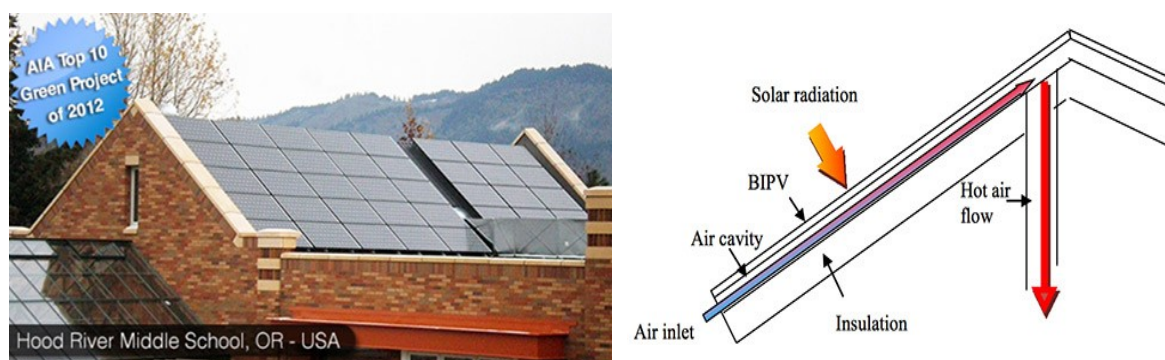


A continuación se calcula un posible volumen de producción eléctrico en período mensual estadísticamente determinado para Concepción, a partir de irradiación colectable en indicadores promedio AMD y SAMD, frente a la demanda promedio residencial (Fig. 5.14). Se observa un elevado requerimiento en meses de invierno, frente a la reducida producción resultante de la mínima irradiación existente. Complementariamente se sugiere una alta dispersión al comparar abastecimiento y demanda al sobreponer también las curvas de producción de la AMD promedio con baja desviación (18,83 °) y la curva de producción con indicador promedio SAMD con una pronunciada desviación (50,25°

respecto del norte). No obstante el resultado refleja que se alcanzaría a superar la demanda eléctrica durante el año entero, inclusive con un pronunciado superávit en época estival en el mejor caso, únicamente se aprecia un leve déficit eléctrico en los meses más críticos en captación con el indicador promedio SAMD. En ambos casos durante el verano existe una importante fracción de energía exportable, útil para abastecer otras demandas en la ciudad. Frente a la alta demanda en meses fríos, la literatura sugiere medidas para reducir demandas residenciales a través de consideración de medidas de eficiencia energética pasiva. Luego, la captación de energía térmica solar de forma activa es una opción que puede contribuir efectivamente en disminuir el marcado desbalance estacional (Charron y Athienitis 2006; Gajbert 2008; Suter, Letz y Weiss 2003).

Los resultados de posible producción eléctrica en los indicadores AMD y SAMD, entregan una producción factible por m² construido entre 78,9 kWh y 55,3 kWh al año.

Figura 5.15: Instalación de colectores híbridos BIPVTa por SolarWall de Canadá (Solarwall 2015)

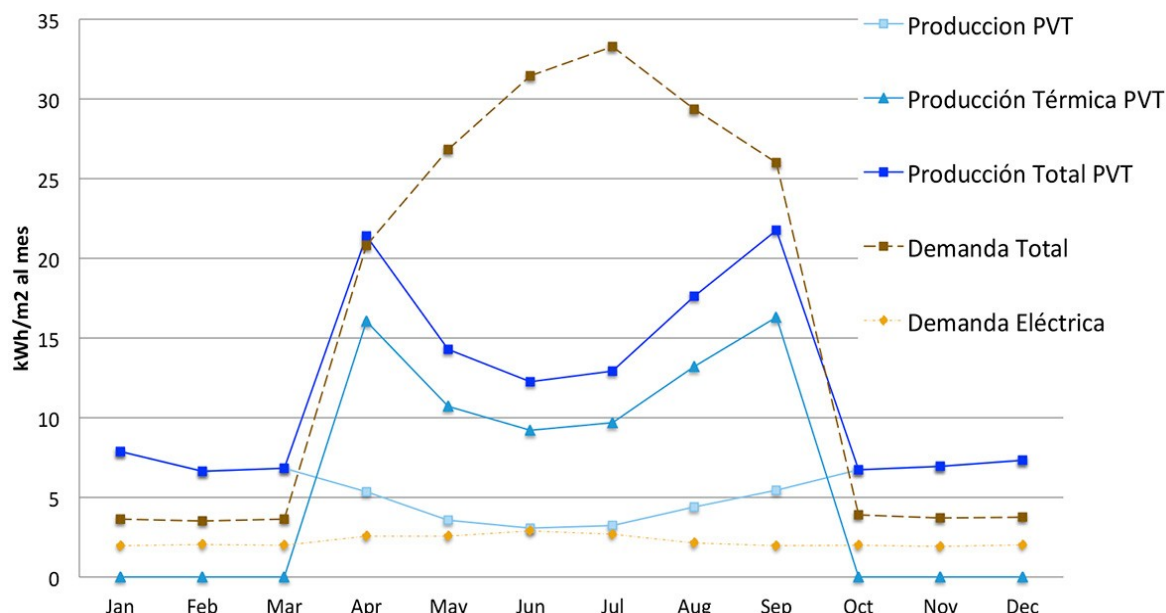


A continuación se refleja la capacidad de alternativa de abastecimiento térmico-eléctrico a través de recuperación de temperatura al refrigerar celdas PV con aire (Colectores BIPVTa). Se trata de una alternativa tecnológica que presenta una oportunidad relevante, especialmente en locaciones con condicionantes de alta demanda térmica y una irradiación significativa. Este tipo de colectores ha sido experimentado y están en evolución desde 1970, actualmente se comercializan en Canadá (Solarwall 2015) (Fig.5.15).

Estudios previos han demostrado que la tecnología BIPVTa logra un incremento de obtención de energía útil, acelerando la amortización de costos respecto a la tecnología fotovoltaica; además supone un ahorro de superficie de captación respecto a colocar captadores térmicos y fotovoltaicos por separado (Athienitis et al. 2011; Li y Karava 2012; Solarwall 2015). Constructivamente la instalación propuesta puede materializarse reemplazando el material de recubrimiento de techumbre por placa metálica sellante de agua sobre aislamiento, para conformar la cámara de aire refrigerante. La placa metálica ondulada puede contemplar micro-perforaciones, para mejorar así la introducción y flujo de aire. Los ductos pueden ser conformados por la placa base plegada y consecuente incremento en rigidez. La integración arquitectónica por lo demás permite ahorro en material de recubrimiento (en este caso el revestimiento de techumbre, placa metálica o fibrocemento o material impermeable), respecto de la simple superposición de colectores.

Como se señaló y justificó en *Sección 4.3.2* se establece una producción posible a través de una aplicación de eficiencia directa de tecnología PV de 12 % y de tecnología PVTa ($Q_u/Q_e = 3,0$) de 36 %. Bajo esta posibilidad la comparación de demanda con producción mensual resultantes se muestra en *Figura 5.16*.

Figura 5.16: Comparación de producción promedio con colectores BIPVTa de energía térmica y eléctrica frente a demanda total eléctrica térmica de vivienda (El Autor).

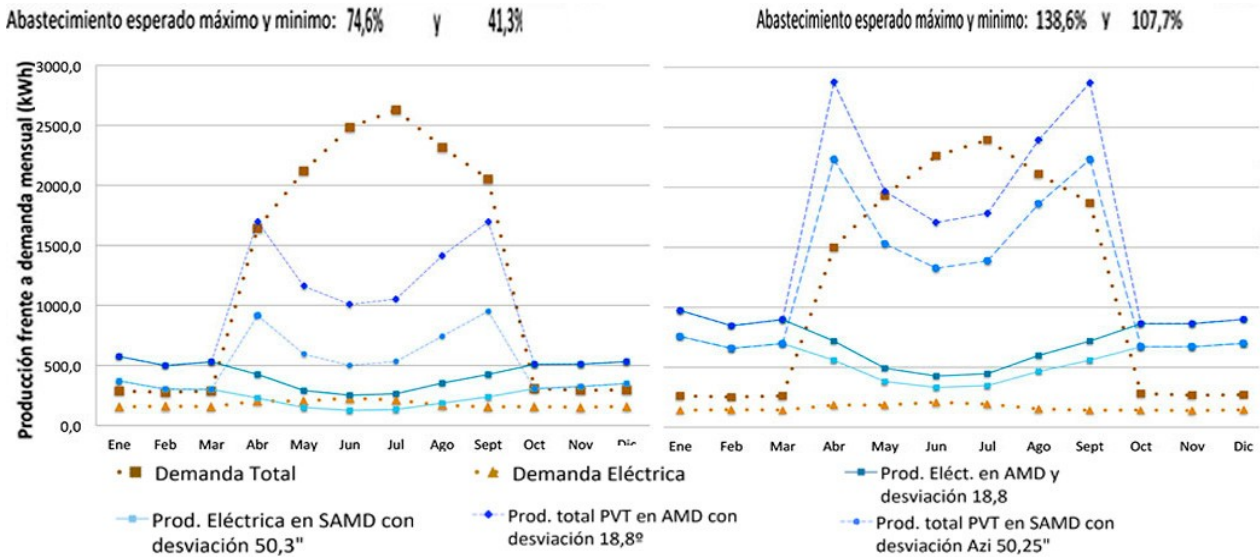


En la *Figura 5.16* se aprecia un importante autoabastecimiento en los meses próximos al equinoccio, (marzo-mayo y agosto-octubre), incluso una contribución importante para el invierno. El balance final muestra una producción promedio de 142,6 kWh por m² de energía útil al año (incluyendo electricidad exportable). Respecto a demanda promedio de 189,9 kWh / m², el margen de autoabastecimiento es 75 % en vivienda promedio de 93,3 m², con superficie captadora entre 36,8 y 28,4 de AMD y SAMD respectivamente. El mismo gráfico muestra adicionalmente que la causa principal del desbalance de demandas frente a producción es definitivamente el excesivo requerimiento térmica durante los meses invernales.

La misma tecnología híbrida y su producción en superficies procedentes de indicadores representativos en casos extremos individuales es analizado. Entonces el modelo con superior proporción de AMD por superficie construida y bien orientada (*Modelo A* con AMD desviado 18,83°) se compara con el caso con inferiores condiciones que posee un indicador SAMD bajo y con alta desviación (*Modelo B* con desvío 50,25°). El resultado muestra que la producción del modelo superior, abastece entre 139 % y 108 % de la demanda total, aunque el gráfico denota que parte de la producción está sobre la curva en abril y septiembre, por lo tanto puede esperarse una fracción de entre 90 % a 120 % asumiendo que parte de la energía se desecha incluso en meses inter-estacionales. Frente a ello, el modelo con inferior condición abastece solamente el 41% de la demanda total. En cuanto a abastecimiento eléctrico solamente, se prevé que el *Modelo A* logra una

producción del 455,0 % anual, frente al *Modelo B* que se abastece en 143 % (Figs. 17a y 17b). Por último la mejora en eficiencia resultado de refrigerar las celdas PV y la mejora de producción eléctrica, corresponde aproximadamente al consumo exigido por el ventilador de conducción de aire, implemento necesario en los colectores híbridos para controlar el volumen de refrigeración (Athienitis et al. 2011).

Figuras 5.17a y 5.17b: Producción energética estimada en vivienda con mayor potencial productivo y bien orientada frente a aquella con mínimo potencial e inferior orientación (El Autor)



Es necesario señalar que estos son datos generales, que reflejan demandas promedio esperadas frente a rendimientos teóricamente factibles. Se demuestra el alto potencial existente de la tipología y de las tecnologías aplicadas, resultado de la alta relación de techumbre frente a superficie construida. Pero a futuro como trabajo pendiente, es necesario un análisis detallado de desempeño alcanzable a través de simulaciones dinámicas de casos concretos y aplicación real.

5.4 Potencial energético residencial en casos extremos con aplicación de tecnologías BIPV, BIPVTa, BISTw y BIPVTw en margen horario

541 1 Estimación de abastecimiento residencial con tecnología BIPVT a en casos puntuales extremos, en margen horario y días representativos

Previamente se ha llevado a cabo la medición de un posible abastecimiento anual aplicándose la tecnología BIPVTa en indicadores de superficie de techumbre promedio global, AMD y SAMD; también se encontró la capacidad de abastecimiento en casos extremos en margen anual. A continuación se determina cual es el abastecimiento posible en días representativos en meses extremos con mínima y máxima irradiación y en temporada interestacional. Para este caso se adoptan las mismas eficiencias que anteriormente (eléctrica 12 % y eficiencia térmica 36 %).

La energía térmica se contabiliza como útil en día de invierno y día característico de mes interestacional. En verano se desestima considerándose no útil, asumiéndose que los excedentes se desechan; no obstante puede contribuir a precalentar ACS (Athienitis et al. 2011; Hachem 2012; Solarwall 2015). No se puede establecer una contribución específica de esta última alternativa, ya que depende de varios factores muy variables dependientes de intercambiador de calor por utilizarse, aunque es una opción a ser investigada.

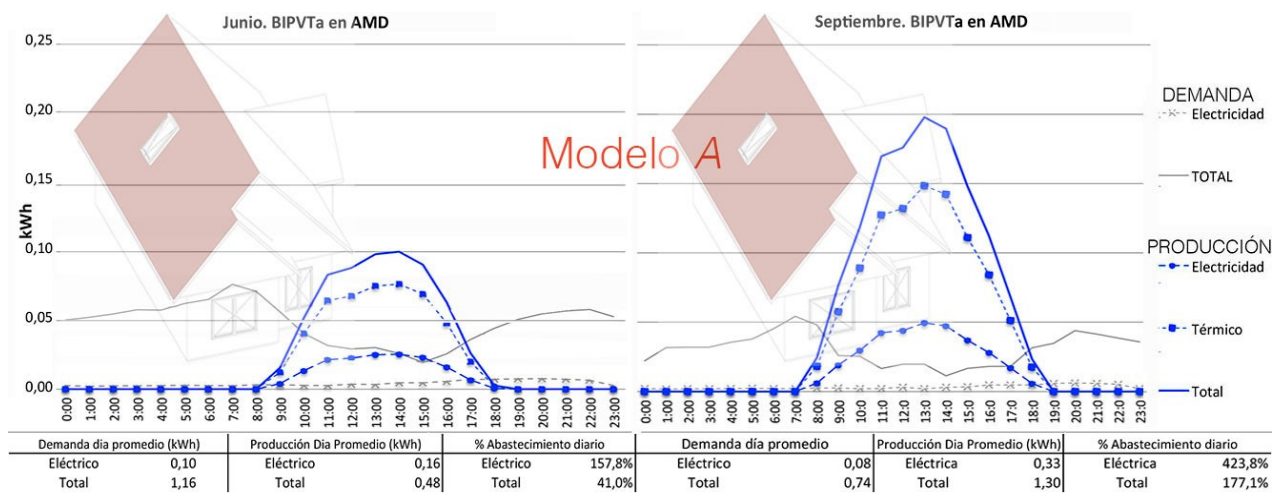
Se miden y seleccionan para ello los casos con máximo y mínimo potencial *A* y *B*, con lo cual se encuentran los extremos de acuerdo a indicadores AMD y SAMD entre los modelos existentes. Con ello se muestra una comparación de implicancias de adoptar un tipo de diseño de techumbre frente a otro en términos de energía aprovechable. La metodología aplicada se describe a detalle en *Sección 4.3.3*.

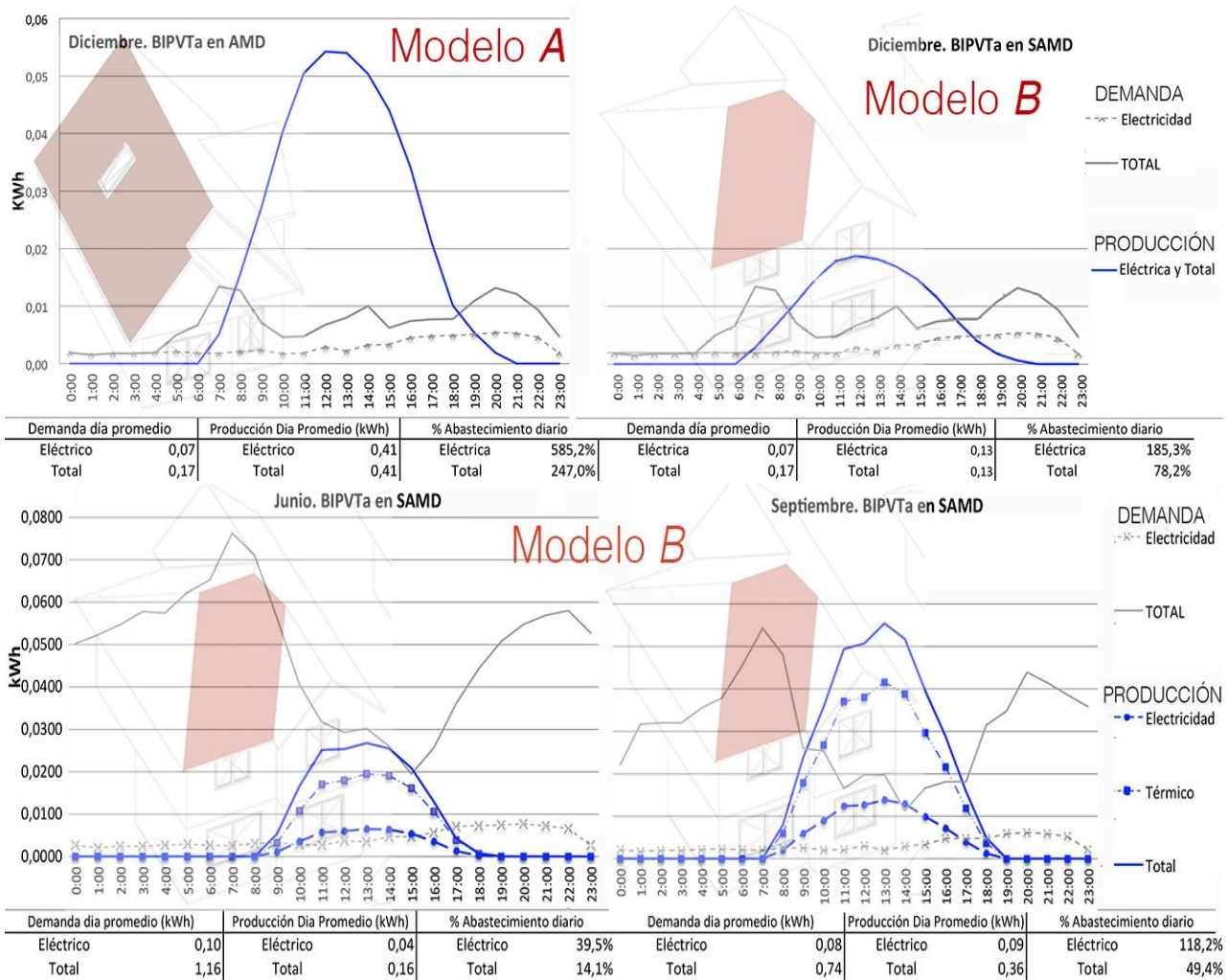
5.4.1.1 Casos de estudio

Los modelos extremos *A* y *B* son presentados en *Figura 4.1*. En *Tabla 5.4* de este capítulo se comparan aspectos geométricos relevantes de ellos. La AMD de *Modelo A* posee tres veces más superficie que la SAMD de *Modelo B* y la primera posee 10 % menos de superficie habitable. Ambas poseen similar número de faldones, no obstante las dimensiones de los faldones de *Modelo B* son más homogéneos, mientras en *Modelo A* posee dos alas mayores y tres complementarias significativamente más pequeños. Ambas casas presentan similares condiciones constructivas y similares características programáticas.

5.4.1.2 Comparación entre producción y demanda al integrar colectores solares en techumbres de vivienda BIPVTa

Figura 5.18: Comparación de producción-demanda con recolección BIPVTa en techumbre con máximo y mínimo potencial en AMD y SAMD en días promedio de invierno, verano e interestacional. (El Autor)





Se analiza el hipotético desempeño de colectores híbridos con fluido de aire en casos A y B. Se considera el modelo con AMD con superior capacidad desplegado con baja desviación de 19 ° respecto del norte (condición con buena orientación) y su contraparte modelo con captación SAMD inferior y alta desviación respecto del norte solar de 50 ° (situación con mínimo potencial). La producción se calcula horariamente en ambos modelos. Se analizan días promedio de invierno, verano e interestacional. Los márgenes horarios encontrados se describen en *Figura 5.18*.

La *Figura 5.18* muestra también que el caso con mejor desempeño (Captación con indicador superior AMD) posee una capacidad de aprovisionamiento entre tres veces (diciembre) y cuatro veces (junio) superior respecto del modelo con captación mínima (SAMD). A pesar de ello en el *Modelo B* se observa un abastecimiento total al medio día en junio. Aunque la demanda térmica nocturna supone que en el balance diario apenas se abastece en un 10 % respecto del consumo probable total. La producción PV abastece prácticamente un 40 % de la demanda eléctrica. En día de verano promedio, por el contrario, se obtiene un 185 % de la demanda eléctrica y un 78 % respecto de la demanda total. En el *Modelo A* con captación AMD se permite una producción eléctrica con excedentes, incluso durante el invierno en las horas cercanas al medio día. Este mismo caso en verano, la potencial producción eléctrica suple en cerca de seis veces la

demanda, con un importante volumen energético para exportación a la red pública. La producción térmica estival se muestra tres veces superior a la eléctrica, pero, como se mencionó, por condiciones de utilidad real no es contabilizada.

Al compararse las geometrías de viviendas estudiadas, sus techos y capacidad de aprovisionamiento, se observan relaciones similares entre dimensión, número de faldones o alas e incluso superficie total de las techumbres. No obstante, como consecuencia del diseño, la partición de faldones y la orientación de los mismos implica que la superficie de captación sea en la AMD del *Modelo A* prácticamente tres veces superior a la SAMD del *Modelo B*. Ello sumado a factores de inclinación y orientación, conlleva a una producción casi cinco veces superior en septiembre y tres veces superior en verano (*Tabla 5.4*).

Tabla 5.4: Relaciones de geometría de vivienda, techumbre y abastecimiento (El Autor)

Modelo	Superficie Construida (m ²)	# Alas de Techumbre	Superficie de techumbre (m ²)	Superficie Captadora utilizada AMD o SAMD (m2)	Longitud de muro soporte de AMD SAMD	% Abastecimiento Día Promedio junio.	% Abastecimiento Día Promedio septiembre.	% Abastecimiento Día Promedio diciembre. (Electricidad)
A	71,9	5,0	94,6	45,0	9,3	41,0%	177,1%	585,2%
B	79,0	6,0	82,4	15,2	3,4	10,2%	37,0%	185,3%
Indicador (A/B)	0,9	0,8	1,1	3,0	2,7	4,0	4,8	3,2

Al comparar aspectos funcionales, existe similitud entre superficie construida, superficie de techumbre, incluso número de faldones, no obstante el diseño formal de la techumbre y sus faldones implica que como consecuencia de sus parámetros geométricos como superficie, pendientes y orientación, exista una producción superior de entre 3,2 y 4,8 veces, dependiendo de la época. También se observa una correlación entre muros longitudinales largos que tienden a promover faldones extensos, los cuales, de estar dispuestos al costado hacia el recorrido solar, contribuyen a lograr viviendas con relevante potencial de captación. Aunque esto también puede ser provocado en plantas irregulares, al regularizarse planimétricamente la base de gestación de faldones, por ejemplo con el uso de soportales.

No obstante, este estudio representa una comparación entre irradiaciones promedio frente a demandas características a partir de consumos probables simulados. Con la adopción de medidas pasivas, los márgenes aquí determinados pueden mejorar significativamente logrando viviendas *Net-Zero* e incluso con balance positivo la mayor parte del año y en balance anual y reduciendo además los fuertes desbalances existentes en invierno,

situación que se analizará en el siguiente capítulo. La tecnología BIPVTa muestra un potencial relevante de lograr desarrollarse con las eficiencias publicadas.

5.4.2 Relación entre geometría de techumbre de sus faldones y la capacidad de despliegue de colectores BIST w , BIPV y BIPVT w con formato comercial

Previamente se dimensionó la recolección de irradiación en *Modelo A* en Ala de Mayor Dimensión (AMD) en *Modelo B* de Segunda Ala de Mayor Dimensión (SAMD). El estudio fue posible bajo el supuesto de recolección eléctrica-térmica con fluido aire y células de sílice amorfo, tecnología con aptitud de adaptarse a forma no regular de soporte, sin embargo las adecuaciones particulares distintas para cada caso y formas no modulares de faldones, implica ser una barrera para una potencial prefabricación, que es una de las ventajas principales que posee el desarrollo de conjuntos de casas inmobiliarios.

Consecuentemente esta etapa dimensiona la capacidad de acoplar colectores con formato comercial, con tecnologías BIPV, BIPVT w y BIST w y de acuerdo con ello, la capacidad de autoabastecer las demandas residenciales y generar excedentes útiles. Para ello se utiliza la metodología descrita en *Sección 4.3.3.3*.

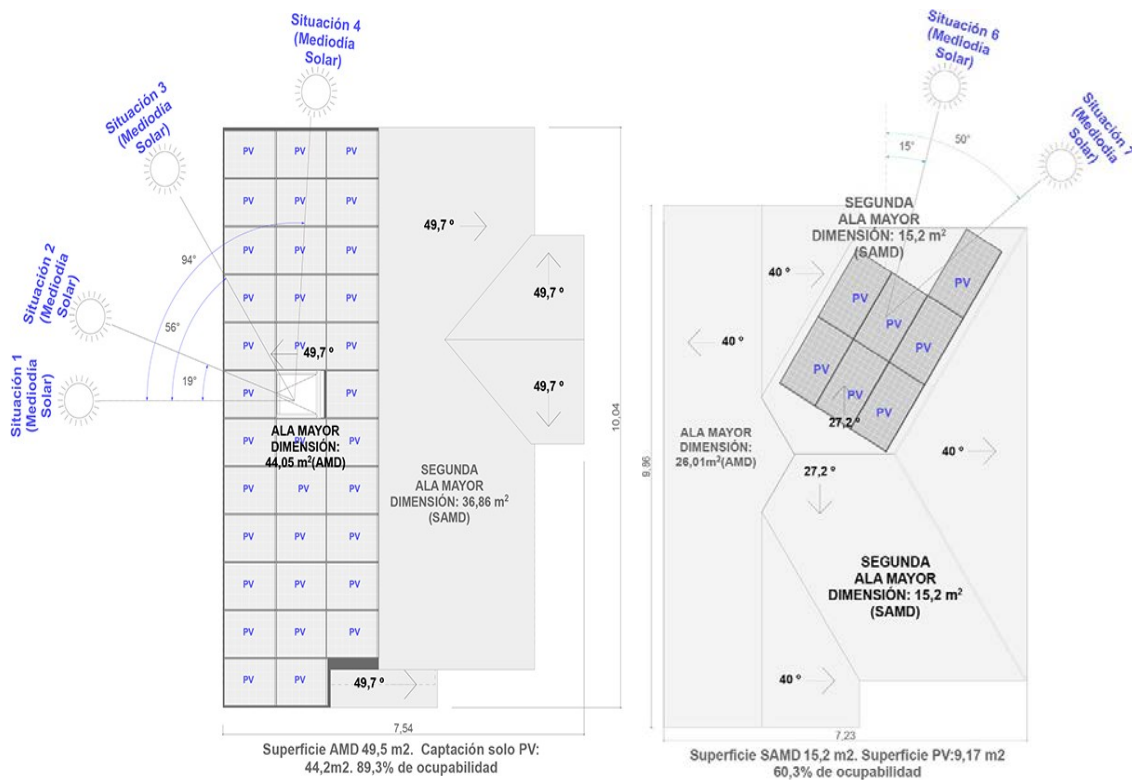
5.4.2.1 *Adaptabilidad de colectores rectangulares según características de forma de techumbre y posible capacidad de abastecimiento*

El módulo básico para implementar la integración de placas entre si en un formato de faldón de techumbre es adoptado desde el colector híbrido por ser el menos común del mercado. Por ahora no son habituales el desarrollo de colectores de distintas tecnologías (PV, ST w y PVT) creados con el criterio de acoplamiento entre ellos en integración arquitectónica, normalmente las industrias solares se dedican a una tecnología y cuando una firma posee varias, éstas no se ajustan para acoplarse entre ellas. Así se adopta bajo hipótesis una dimensión modular del colector híbrido al igual que del colector ST w es (830mm x1660mm x105mm). Las placas PV poseen normalmente un menor espesor, entonces se considera su despliegue con una sección de 830 mm x 1660 mm x 45 mm. Tanto la acometida como la salida de tuberías se supone son coincidentes para colectores ST w e híbrido por el costado de mayor longitud, se prevé necesaria una franja entre placas híbridas y térmicas para conexiones de tuberías, las cuales no son requeridas para colectores PV. La apertura de captación resultante para cada placa PV es 1,3 m² y de térmicos e híbridos de 1,23 m². A continuación se presenta el posible despliegue de opciones tecnológicas a ser desplegados por aptitud de los faldones y con capacidad de enfrentar demandas.

- *Integración de placas BIPV*

Al integrar solamente placas BIPV en *Modelo A* tienen cabida 34 placas dejando un lugar para lucernario; el *Modelo B* admite siete. El índice de ocupación resultante es 89,3 % frente al 60,3 % en porcentaje de relación de superficie neta de absorción frente a superficie de faldón completo. Los indicadores de superficie de recolección resultante frente a superficie construida es en el mejor caso de 0,61 m² frente a 0,12 m² en el caso inferior (*Fig.5.19a y 5.19b*).

Figuras 5.19a Figura 5.19b: Plantas de Techumbre de modelos A (integración en AMD) y B (integración en SAMD) con integración de colectores PV solamente (El Autor)

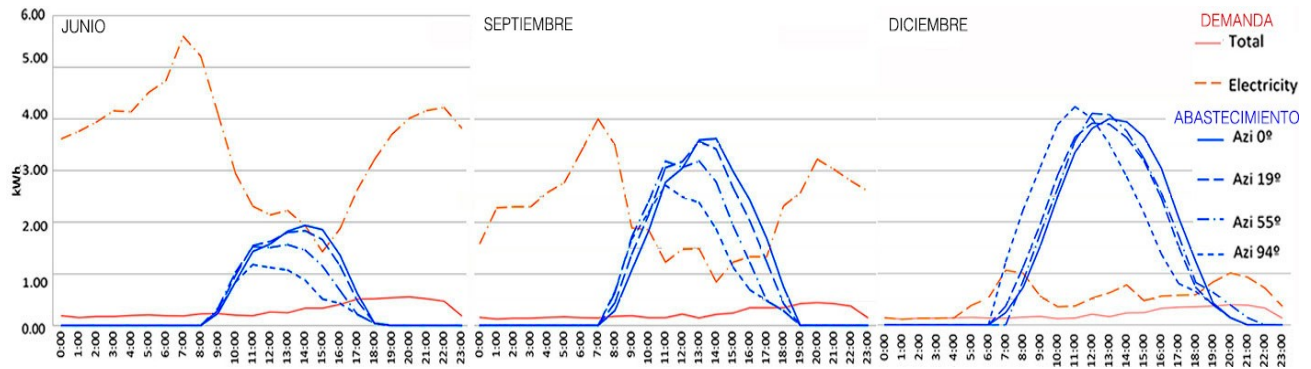


Luego al simular el desempeño de los colectores frente a demanda típica de días promedio característicos por estación, los márgenes de abastecimiento y porcentaje de demanda satisfecha se expresan en Figuras 5.20a, 5.20b, 5.20c y *Tabla 5.6*. Se analiza el desempeño suponiendo desviaciones en orientación de faldones recolectores respecto del norte en ángulos de 0 °, 19 °, 56 ° y 94 °.

Para el *Modelo A* en día de invierno se obtiene en electricidad entre un 92 % y 163 % de la demanda; no obstante, frente a requerimiento total el margen alcanzado es solo de entre un 7,9 % a 14,0 %, considerando un sistema de calefacción eléctrica con un coeficiente de rendimiento (Coefficient of Performance) COP = 1. No obstante con bomba de calor con rendimiento superior a cuatro COP > 4, resultaría una alternativa adecuada que permite efectivamente reducir emanaciones (considerando o no la implementación de tecnología

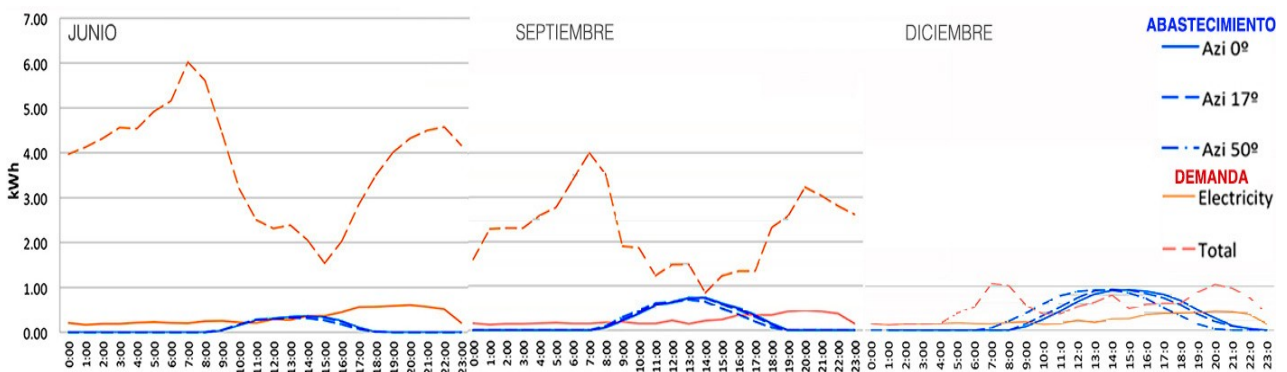
PV). No obstante, con electricidad PV no se alcanza a cubrir completamente la demanda por el alto requerimiento invernal y la alta demanda promedio existente frente a la baja irradiación. En verano se produce tentativamente 6 veces la demanda eléctrica y 2,4 veces la demanda total. En producción neta anual se estima se puede alcanzar 8.907,96 kWh, 8.830,19 kWh y 8.464,42 kWh, con desviaciones de 0 °, 19 ° y 55 ° en azimut respectivamente; es decir, una reducción por desviaciones en orientación de máximo un 5 % de producción; no obstante con un desvío más importante de 94 ° implica una producción de 7.624,66 kWh / año, lo cual significa ya una reducción importante del 14 % anual frente a la mejor orientación.

Figura 5.20a, Figura 5.20b y 5.20c: Demanda frente a producción PV eléctrica en *Modelo A* con captación AMD en días promedio de junio, septiembre y diciembre (El Autor)



En cuanto a la capacidad de la SAMD del *Modelo B*, las curvas representativas de margen de abastecimiento PV frente a demandas diarias características se muestran en *Figuras 5.21a, 5.21b y 5.21c*:

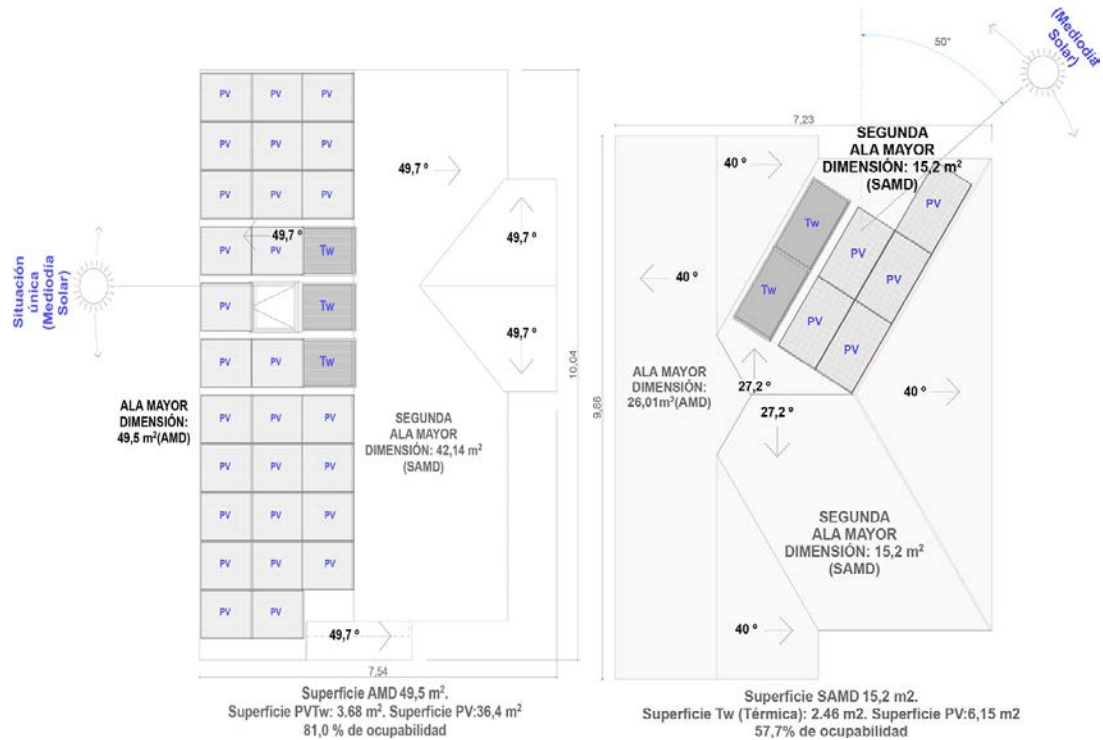
Figura 5.21a, Figura 5.21b y 5.21c: Comparación horaria de demanda energética total y eléctrica frente a producción PV eléctrica en *Modelo B* con desviación respecto del norte solar de 0 °, 17 ° y 50 ° (El Autor)



En el *Modelo B* se despliegan 9,17 m² de captación PV, con ello se produce respecto de la demanda eléctrica entre un 143 % para día promedio de verano y 24,8 % en día promedio de invierno. También es notable la mínima variación en producción por desvío en azimut en día de verano, época en que se cubre un margen importante de las demandas, mientras en invierno no se esperan remanentes eléctricos aunque se alcance a producir lo suficiente para cubrir la demanda eléctrica en horas cercanas al medio día. Con un azimut de 0 ° la

producción esperada es de 1.848,10 kWh / año; con azimut de 17 ° la producción anual es de 1.838,54 kWh / año y con azimut 50 ° se reduce en un 5 % a 1.760,64 kWh / año.

- *Integración de Colectores BIPV y BISTw conjuntamente.*
- Figura 5.22a y Figura 5.22b: Plantas de techumbre de modelos A (AMD) y B (SAMD) y adaptabilidad de colectores BIPV y BISTw (El Autor)



Se analiza el posible despliegue de colectores BISTw complementado con colectores BIPV. El margen de ocupación de las placas y área de absorción solar en el Modelo A disminuye a 83,2 % con 31 placas: 28 BIPV y 3 BISTw. En *Modelo B* dos placas BIPV son reemplazadas por colectores BISTw sin resultar en una disminución en número total de captadores. La cantidad de colectores BISTw varía para una misma demanda por distinta inclinación en ambos modelos, porque cuando los colectores se despliegan con mayor verticalidad se observa que se reduce el potencial exceso de producción en verano, situación descrita en detalle por Gajbert (2008). Con la eficiencia específica de modelo Wunder CLS 1808 de Solimpeks® y demanda de 240 l de ACS o de 2.959 kWh / año, tres colectores cubren un 77,8 % de la demanda total; en tanto que el *Modelo B* con dos colectores se abastece un 59,6 % de la demanda. Las Figuras 5.22a y 5.22b muestran el despliegue de los colectores en ambos casos.

En tanto que el balance horario en *Modelo B* se expresa en Figuras 5.23a, 5.23b y 5.23c. Anualmente se produce térmicamente 2.322 kWh o 78,4 % respecto de la demanda de ACS, a ello hay que sumar 7.336 kWh / año de producción eléctrica. En comparación con la demanda anual de 17.200 kWh (calefacción incluida), el abastecimiento supone lograr el 56,2 % del total y un alto margen de exportación eléctrica en verano de 25,29 kWh / día producidos frente 5,54 kWh / día de demanda (Tabla 5.5).

Posteriormente se considera el *Modelo B* recolectando irradiación con desviación respecto del norte de 50° en su faldón SAMD. A través de herramientas F-Chart se determina que no es conveniente superar dos placas colectoras térmicas. La energía térmica obtenida alcanza a 1.645 kWh / año. En electricidad se genera 1.181 kWh / año, magnitud correspondiente al 55 % de la demanda. En balance neto se genera un 16,4 % de la demanda anual residencial incluida calefacción. La comparación de abastecimiento y demanda horaria se muestran en *Figuras 5.24a, 5.24b y 5.24c* y margen total energético y exergía para día característico en *Tabla 5.5*.

Figura 5.23a, Figura 5.23b y 5.23c: Demanda horaria eléctrica y energética total frente a producción PV y STw conjunta, con captación AMD en *Modelo A*, para junio, septiembre y diciembre (El Autor)

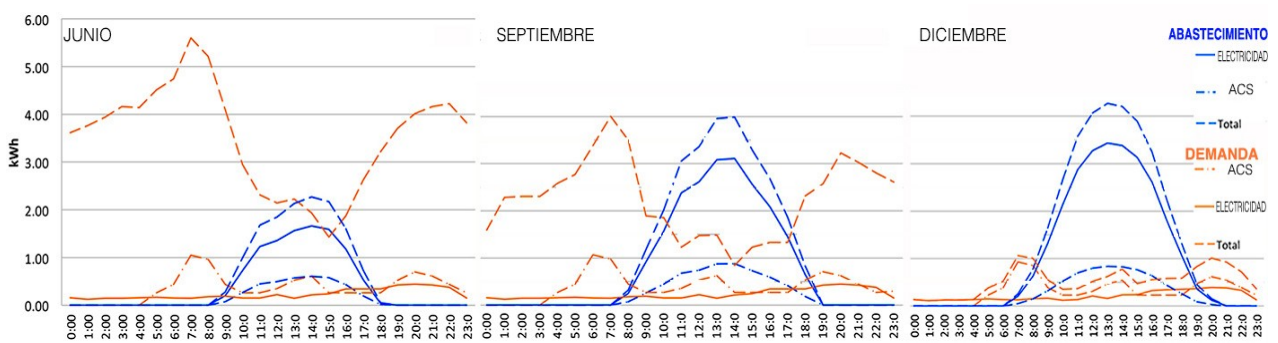
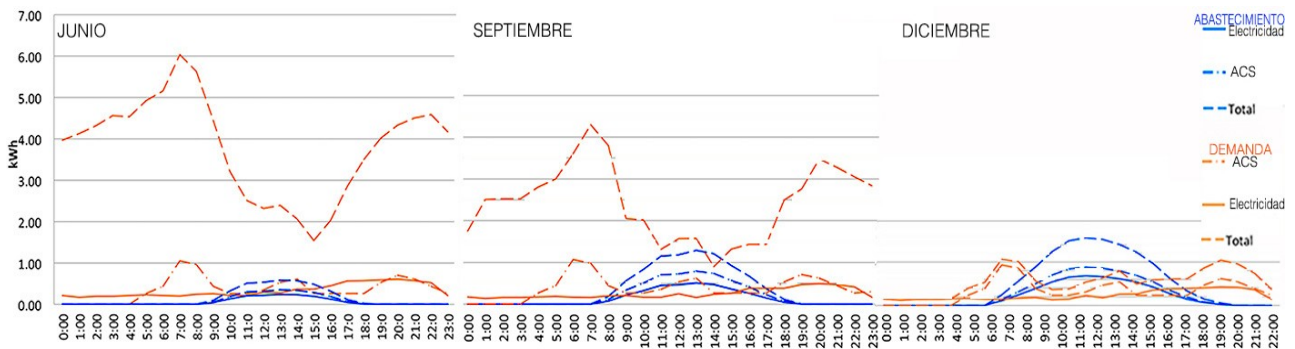


Figura 5.24a, Figura 5.24b y 5.24c: Demanda energética total y solamente eléctrica frente a producción PV y Térmica conjunta con captación SAMD en *Modelo B*, en junio, diciembre y septiembre (El Autor)



- *Integración de Colectores BIPVTw conjuntamente con BIPV*

Se prevé a continuación cubrir la demanda de ACS con placas BIPVTw evitando excedentes y complementado con unidades BIPV en superficie de faldón remanente para lograr una máxima producción eléctrica. A partir de eficiencias de colector *Power Therm®* de *Solimpeks®* obtenida desde simulación efectuada en clima de Concepción por Campos (2015), con cinco colectores híbridos se optimiza el almacenamiento en 250 l, se trataría de volumen prácticamente concordante con requerimiento diario para cuatro personas. Así en verano no se espera sobreproducción, alcanzando un 77% de la demanda, como consecuencia de una inclinación pronunciada de 50° que reduce la sobreproducción en esta época. Se prevé abastecer el 82 % de la demanda con inclinación de 27° de *Modelo*

B, justamente por la inferior pendiente que resulta en incremento de producción estival (Figs. 5.25a y 5.25b).

Figura 5.25a y Figura 5.25b: Plantas de Techumbre de modelos A (AMD máximo) y B (SAMD mínimo) y adaptabilidad de colectores BIPVT (Híbridos Térmicos-Eléctricos) complementados con colectores BIPV (El Autor)

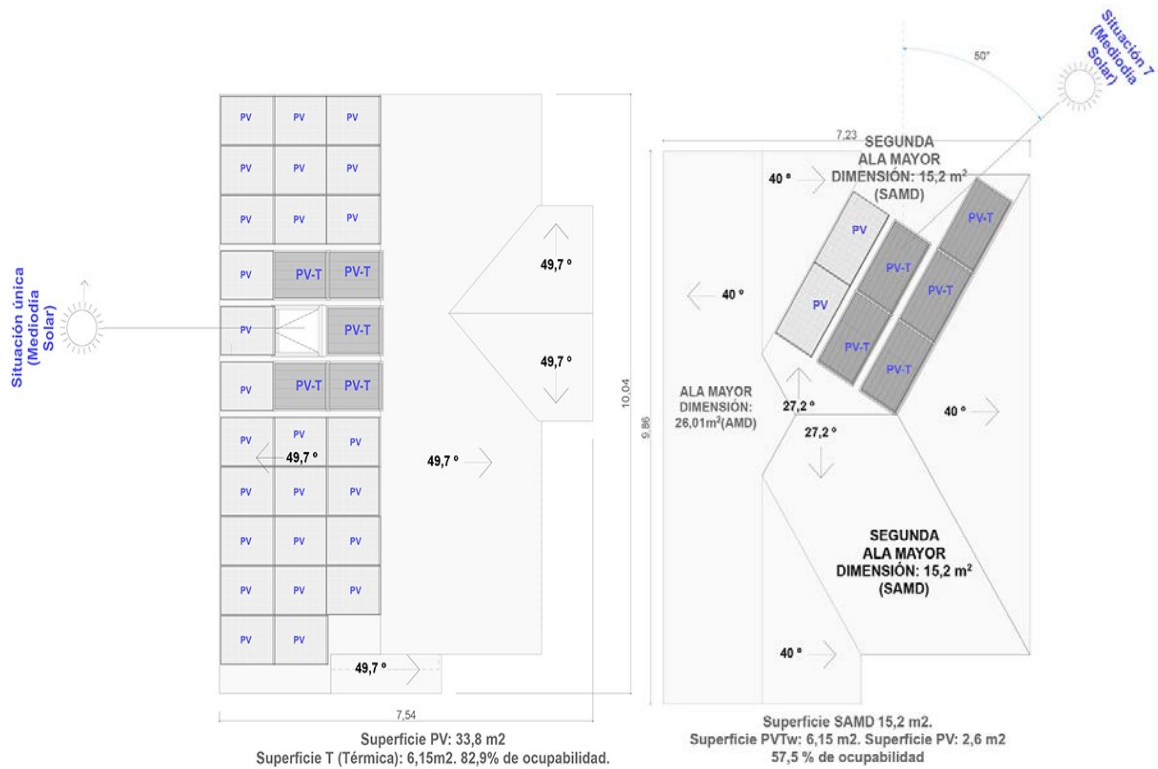
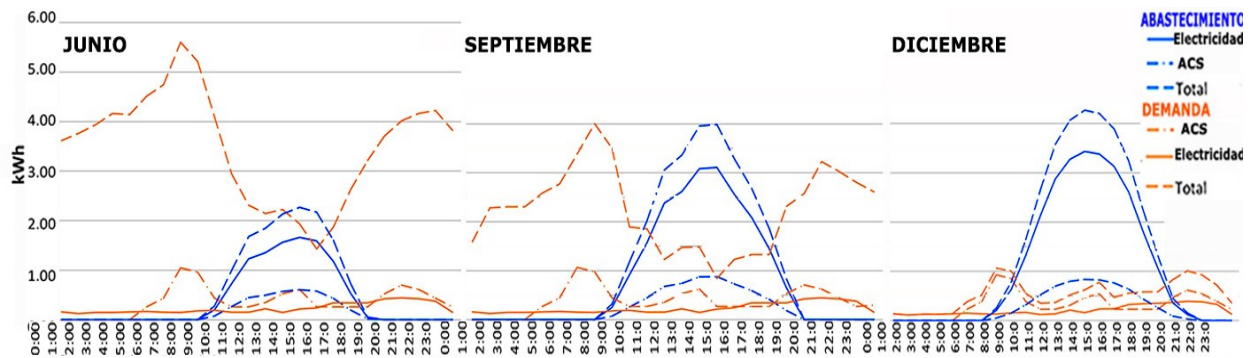


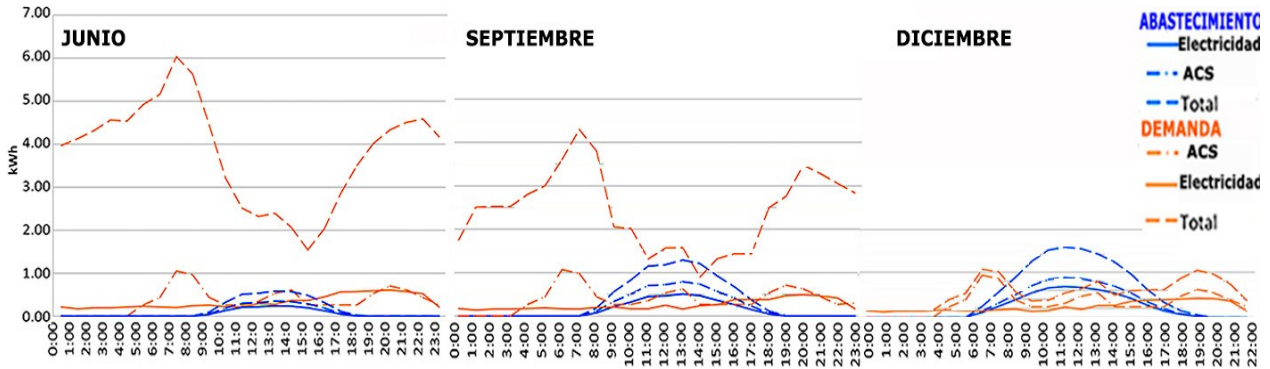
Figura 5.26a, Figura 5.26b y Figura 5.26c: Demanda energética y abastecimiento térmico-eléctrico con instalación BIPVT + BIPV integradas en AMD en Modelo A, en día promedio de junio, diciembre y septiembre (El Autor).



En el Modelo A se generan 1.885 kWh térmicos que corresponde al 64,0 % de la demanda de ACS anual, eléctricamente se producen 7.394 kWh / año que corresponde al 300,1 % de demanda anual eléctrica. Respecto a la demanda total se lograría abastecer un 53,9 %; es decir apenas 2,7 % menos que la alternativa que integra conjuntamente colectores BIPV y BISTw en el mismo modelo. No obstante el balance en exergía es levemente superior en este modelo de integración (Tabla 5.5). La comparación de demanda diaria en días extremos e interestacional se expone en las Figuras 5.26a, 5.26b y 5.26c.

Al integrar colectores BIPVT complementado con BIPV en *Modelo B* con desviación de 50 °, la producción total estimada es de 1.260 Kwh / año en electricidad y de 1.817 kWh / año en energía térmica, lo que entrega un abastecimiento esperado del 17,9 % de la demanda anual incluida calefacción. Las Figuras 5.27a, 5.27b y 5.27c muestran una comparación entre demanda y producción diaria para este caso:

Figura 5.27a, Figura 5.27b y 5.27c: Abastecimiento térmico-eléctrico con instalación BIPVT más BIPV integradas en SAMD en *Modelo B*, en meses extremos e interestacional (El Autor)



- *Integración de Colectores BIPVTw*

Se analiza la instalación de colectores BIPVTw ocupando la totalidad de superficie de los faldones. Se establece el potencial de esta tecnología, pero a diferencia de los casos anteriores se analiza un margen de contribución térmica a calefacción ambiental complementario a ACS con Tecnología Combi (IEA SHC Task 26 2000). Los excedentes provocados en verano son cuantificados para uso en piscina o eventual almacenamiento estacional con colaboración geotérmica en red de calefacción distrital (*District Heating*) (Wang et al. 2010). Las placas híbridas requieren una separación entre ellas; en consecuencia, en el *Modelo A* la ocupación de superficie es 75,1 % de faldón, inferior al 89,3 % resultante de la integración solamente de colectores BIPV. En tanto que para el *Modelo B* resulta en una ocupación del 56,6 % de superficie de captación frente a 60,3 % alcanzado por la integración de solamente placas BIPV (Fig. 5.28a, 5.28b).

Al comparar la producción BIPVTw con demandas térmica y eléctrica en *Modelo A*, se observa que en junio se espera cubrir completamente la demanda de ACS, pero considerando en conjunto con las demandas de calefacción se cumple con solo el 9,1 % de la demanda total. A pesar de la amplitud de la superficie colectora térmica, la irradiación es baja y el rendimiento de estos colectores es inferior respecto de los colectores BISTw convencionales. Anualmente la producción térmica está en el orden 14.833 kWh / año y en electricidad 4.474 kWh / año. Frente a demanda total se lograría abastecer el 112 % de la demanda global anual, pero existe un 285 % de sobreabastecimiento térmico en día de diciembre, un amplio margen no utilizable para suplir demanda doméstica típica, aunque útil para usos alternativos.

Figura 5.28a y Figura 5.28b: Plantas de techumbre de modelos A (AMD máximo) y B (SAMD mínimo) y adaptabilidad de colectores híbridos Térmicos-Fotovoltaicos BIPVTw. (El Autor)

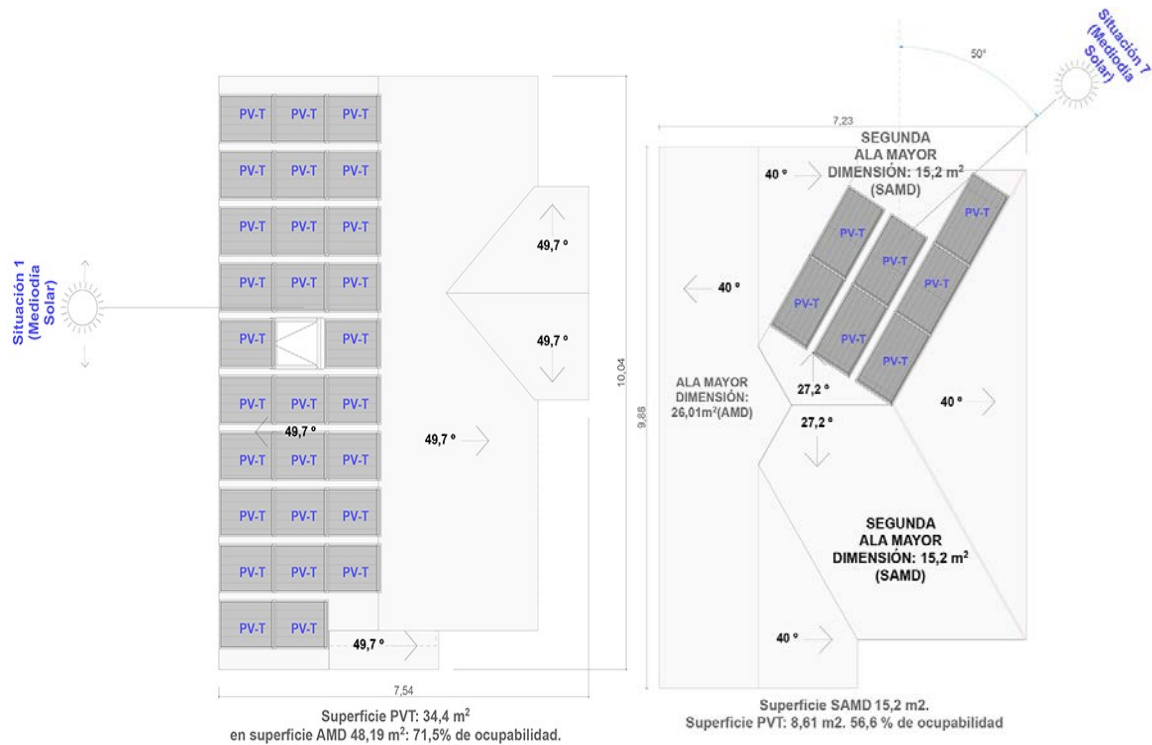
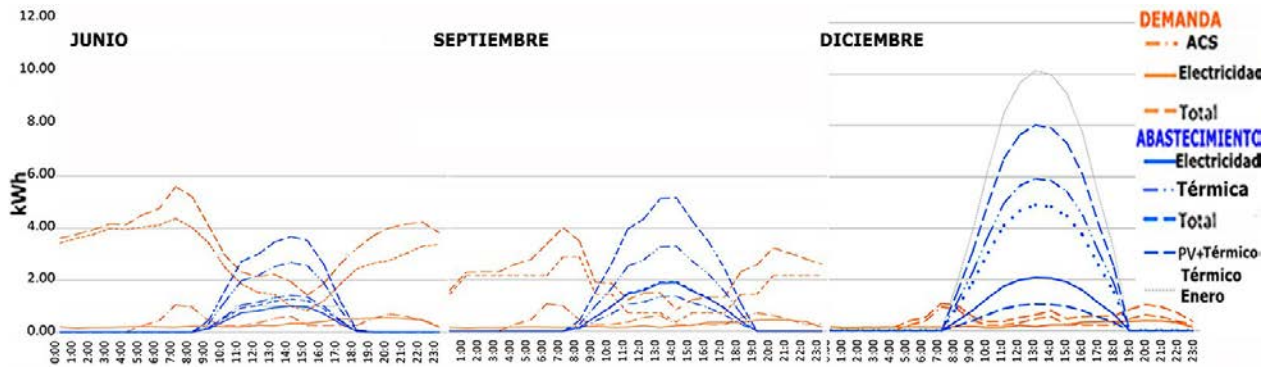


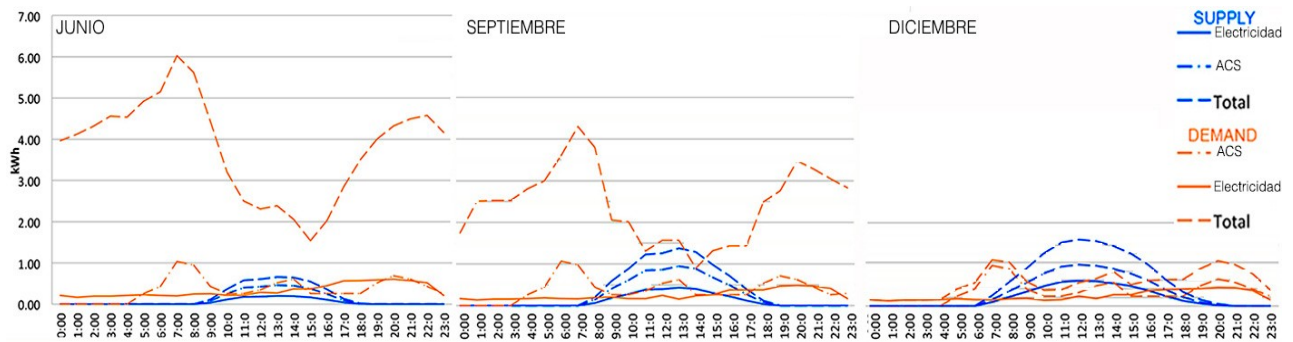
Figura 5.29a, Figura 5.29b y 5.29c: Demanda frente a abastecimiento térmico-eléctrico con instalación de solamente placas híbridas Térmicas-Fotovoltaicas BIPVTw integradas en AMD de *Modelo A*, en meses de junio, septiembre y diciembre (El Autor)



En el *Modelo A*, en Diciembre la demanda de ACS queda cubierta y existe un remanente de 39 kWh térmicos diarios en promedio mensual; además existe un excedente eléctrico de más de 10 kWh al día solo por generación PV. Al considerar la posibilidad de calentar una piscina con excedentes térmicos, se estima el posible incremento de 1 ° C diario de 43 m³ de agua. No obstante al extender este análisis a mes de enero en F-Chart, se encuentra que como consecuencia del incremento de temperatura de aire ambiental y agua en la red, la producción térmica se incrementa en un 71 % respecto de diciembre y márgenes similares se aprecian hasta marzo inclusive. En *Figuras 5.29a, 5.29b y 5.29c* se compara la demanda, producción y excedentes para diciembre, adicionalmente se grafica el incremento de producción previsto para enero.

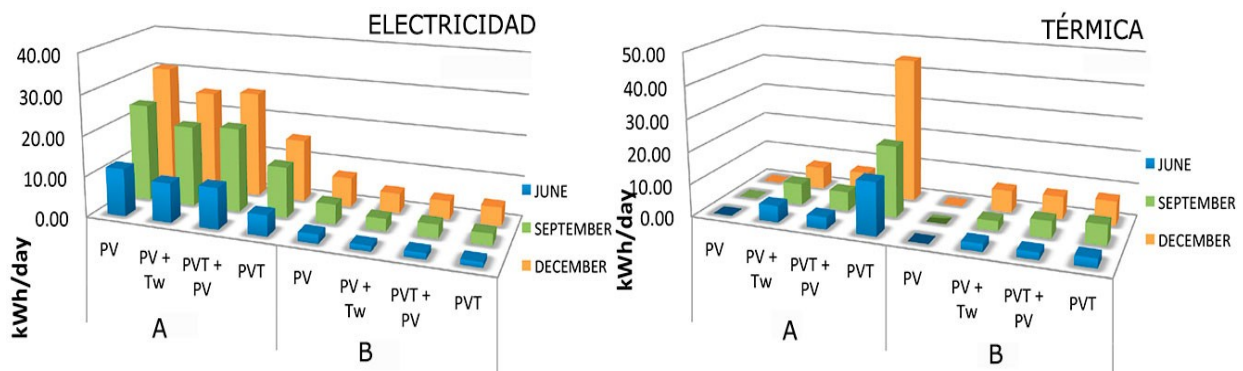
Al incorporar solamente placas BIPVTw en el faldón SAMD del *Modelo B*, tienen cabida 7 unidades. Para ello se observa la necesidad de 400 l de almacenamiento o se pierde eficiencia en el sistema, el cual es un volumen excesivo para abastecer a cuatro personas con ACS, aunque necesario si se requiere contribuir a calefacción con tecnología Combi. No obstante siete colectores implican excedentes térmicos mínimos que podrían colaborar en solamente un 4 % de demanda en calefacción anual según resultados en F-Chart, lo cual hace a esta opción poco adecuada. Anualmente se produciría alrededor de 2.106 kWh térmicamente, eléctricamente se genera 1.102 kWh. Frente a demanda doméstica total, el margen de abastecimiento esperado es 18,7 % y el margen de abastecimiento eléctrico es 44,2 %. La comparación de producción frente a demanda se muestra en *Figuras 5.30a, 5.30b y 5.30c*.

Figuras 5.30a, 5.30b y 5.30c: Comparación horaria de demanda energética total y abastecimiento térmico-eléctrico con tecnología híbrida BIPVTw integradas en AMD de *Modelo B* en diciembre, septiembre y junio (El Autor)



5.4.3 Comparación entre capacidades de abastecimiento entre distintos despliegues tecnológicos

Figura 5.31a y 5.31b: Abastecimiento eléctrico (5.31a) y (5.31b) térmico en modelos A y B según tecnologías desplegadas en techumbres (El Autor)

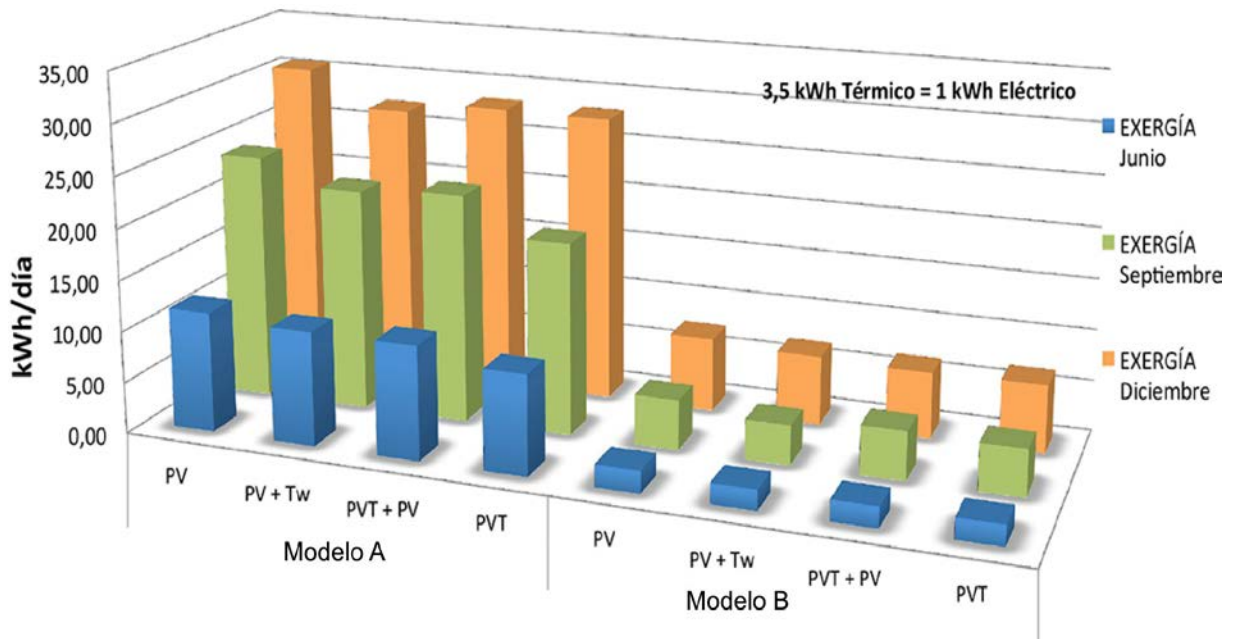


Al compararse los distintos despliegues tecnológicos descritos, para abastecimiento eléctrico sólo la instalación BIPV muestra mayor solvencia, en contraparte la instalación con ocupación completa BIPVTw muestra una producción 20 % inferior a las otras alternativas, en gran medida por la menor superficie absorbente (en buena medida por las franjas necesarias para instalaciones de tuberías entre placas) y menor eficiencia eléctrica y térmica. Otro aspecto que considerar es la superioridad de producción de *Modelo A* frente

al *Modelo B*, duplicando por lo menos y hasta sextuplicando la capacidad generadora, dependiendo de la tecnología o tecnologías aplicadas y época del año (*Fig.5.31a*). En tanto que el abastecimiento térmico es marcadamente superior a la producción con sólo instalación BIPVTw, aunque es necesario recalcar que parte de la energía sobreaabastece la demanda doméstica típica (*Fig. 5.31b*).

En comparación de exergía alcanzada es apreciable un emparejamiento entre los despliegues tecnológicos. El desempeño es levemente superior con instalación completamente con colectores BIPV y levemente inferior con instalación de placas BIPV complementado con placas BISTw conjuntamente. Las otras dos alternativas, la captación BIPV en conjunto con captación BIPVTw y captación BIPVTw solamente poseen un rendimiento intermedio. Pero al comparar los rendimientos entre los dos modelos se observa una importante diferencia, siendo el *Modelo A* superior en promedio cinco veces al *Modelo B* en producción de exergía (*Figura 5.32 y Tabla 5.5*).

Figura 5.32: Comparación de producción en exergía bajo distintas disposiciones de captadores analizados (El Autor)



En análisis de porcentaje de capacidad de autoabastecimiento entre las distintas combinaciones tecnológicas respecto de la demanda residencial, es apreciable una gran variabilidad, incluyendo situaciones en que el superávit, especialmente eléctrico, puede llegar a ser hasta seis veces la demanda durante el mes de diciembre. Inclusive para junio en el *Modelo A* se aprecia que existen excedentes eléctricos aunque menores, lo que sugiere que se produce un remanente de electricidad durante todo el año excepto cuando se utiliza la instalación de colectores BIPVTw solamente. La demanda térmica por lo general es abastecida parcialmente, incluso mínimamente en días promedio de septiembre y junio. En cuanto a la proporción de abastecimiento total, la alta demanda térmica como consecuencia de requerimiento para calefacción, determina un abastecimiento mínimo en día de junio en ambos casos, de hecho en el *Modelo B* se trata de una magnitud casi

despreciable (entre 2 % y 3 %). Se evidencia una superioridad en la AMD del *Modelo A* respecto de *SAMD* del *Modelo B* en capacidad de abastecimiento neto en todas las configuraciones (*Figura 5.33*).

Figura 5.33: Porcentaje de demanda cubierta por energía solar activa, de acuerdo a tipo de tecnología integrada (El Autor)

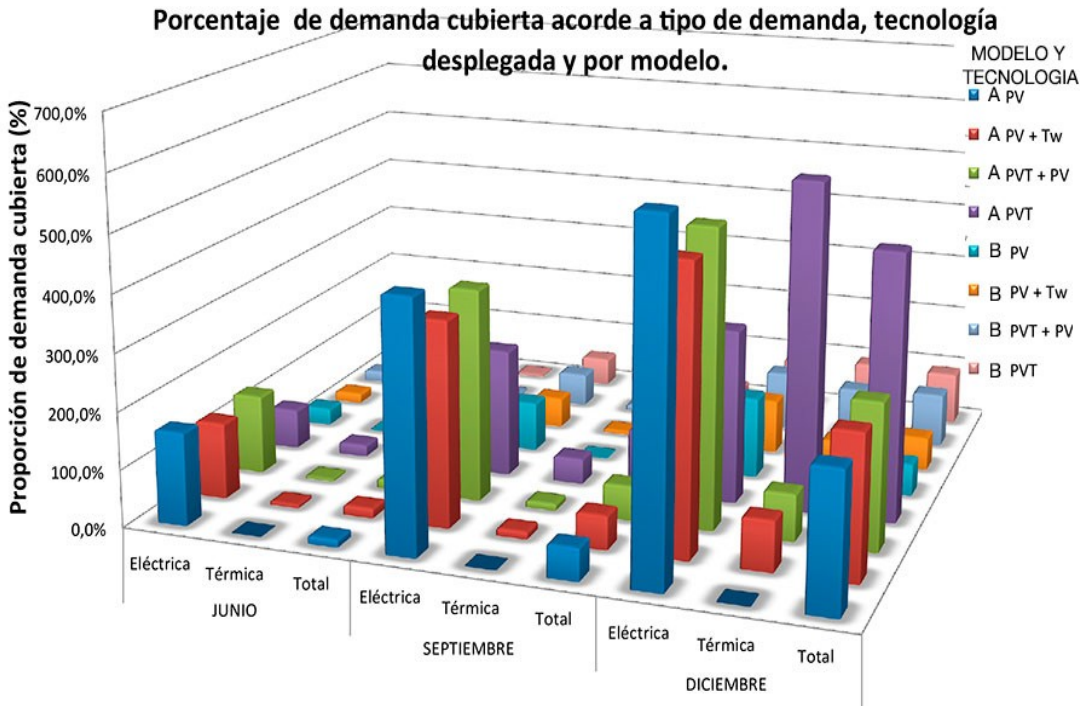


Tabla 5.5. Comparación entre geometría de vivienda, de techumbre y capacidad de integrar placas solares y consecuente margen de abastecimiento (El Autor)

Modelo	Parámetros Geométricos						# de colectores admisibles por faldón por superficie y forma				% de demanda cubierta			
	Superficie Construida	# de Faldones	Superficie Colectora (m ²)	Superficie total de faldones de techumbre (m ²)	# De costados de generación de techumbre	Longitud de muro bajo faldón colector (m)	BIPV	BISTw+BIPV	BIPVT + BIPV	BIPVTw	BIPV	BISTw + BIPV	BIPVTw+ BIPV	BIPVTw
A	71,9	5,0	45,0	94,6	5,0	9,3	34,0	3+ 28	5 + 26	28,0	99,2%	105,5%	106,8%	185,0%
B	79,0	6,0	15,2	82,4	9,0	3,4	7,0	2 + 5	5 + 2	7,0	21,8%	34,9%	36,7%	36,7%
Indíce (A/B)	0,9	0,8	3,0	1,1	0,6	2,7	4,9	4,4	4,4	4,0	4,5	3,0	2,9	5,0

* Sobreproducción térmica para uso alternativo

En la *Tabla 5.5* se aprecian los principales indicadores geométricos tanto de configuración de vivienda como de techumbre. Como se mencionó previamente, ambos casos poseen superficie habitable similar. No obstante la dimensión de los faldones considerados como captadores son tres veces superior en *Modelo A* respecto al *Modelo B*. Así también el muro de sustento bajo al faldón captador posee una longitud 2,7 veces superior, lo cual muestra que existe una relación cercana entre este elemento perimetral con la superficie de faldón que sustentan, una relación lógica ya que esta característica rige normalmente la

dimensión base de faldón. Adicionalmente al tamaño superior, la regularidad formal del faldón conduce a que la superficie efectivamente recolectora se incremente entre 4,0 y 4,9 veces y el porcentaje energético frente a demanda pueda ser hasta cinco veces superior en *Modelo A* frente al *B*, dependiendo de la tecnología desplegada.

Tabla 5.6: Producción, demandas, márgenes de abastecimiento en energía y exergía según distintas tecnologías integradas en Modelos A y B (El Autor)

Modelo B Captación SAMD .						Modelo A Captación AMD								Tecnología		
PVT	PVT + PV	PV + Tw	PV	PV	PV	PVT	PVT + PV	PV + Tw	PV	PV	PV	PV	PV			
Azi 0º	Azi 0º	Azi 0º	Azi 0º	Azi 17º	Azi 50º	Azi 0º	Azi 0º	Azi 0º	Azi 0º	Azi 19º	Azi 55º	Azi 94º				
1,23	1,44	1,32	2,20	2,18	1,97	5,12	10,08	9,68	11,75	11,44	9,53	6,60	Junio	PV Electricidad	PRODUCCIÓN PROMEDIO DIARIO (kWh/day)	
2,82	3,31	3,03	4,88	4,84	4,51	12,51	20,67	19,85	24,10	23,55	20,91	16,59	Septiembre			
4,56	5,34	4,89	7,29	7,30	7,29	15,52	26,34	25,29	30,71	29,89	30,33	30,63	Diciembre			
2,80	2,11	2,35	0,00	0,00	0,00	16,20	3,68	5,07	0,00	0,00	0,00	0,00	Junio	Térmica	PRODUCCIÓN PROMEDIO DIARIO (kWh/day)	
6,21	5,17	4,89	0,00	0,00	0,00	21,89	5,87	6,54	0,00	0,00	0,00	0,00	Septiembre			
7,45	6,88	6,73	0,00	0,00	0,00	44,32	6,41	6,84	0,00	0,00	0,00	0,00	Diciembre	TOTAL	PRODUCCIÓN PROMEDIO DIARIO (kWh/day)	
4,03	3,55	3,67	2,20	2,18	1,97	21,32	13,76	14,75	11,75	11,44	9,53	6,60	Junio			
9,04	8,48	7,92	4,88	4,84	4,51	34,39	26,54	26,39	24,10	23,55	20,91	16,59	Septiembre			
12,02	12,23	11,62	7,29	7,30	7,29	59,84	32,75	32,13	30,71	29,89	30,33	30,63	Diciembre	Exergía	PRODUCCIÓN PROMEDIO DIARIO (kWh/day)	
2,03	2,04	1,99	2,20	2,18	1,97	9,75	11,13	11,13	11,75	11,44	9,53	6,60	Junio			
4,60	4,78	4,42	4,88	4,84	4,51	18,76	22,35	21,72	24,10	23,55	20,91	16,59	Septiembre			
6,69	7,31	6,81	7,29	7,30	7,29	28,18	28,17	27,24	30,71	29,89	30,33	30,63	Diciembre	DEMANDA PROMEDIO (kWh/day)	DEMANDA CON DIFERENTES TECNOLOGÍAS	
		7,93							7,23				Electricity			Junio
		82,98							77,19				Thermal			
		6,08							5,54				Electricity			Septiembre
		52,21							48,43				Thermal			
		5,59							5,09				Electricity			Diciembre
		7,75							7,75				Thermal			
15,5%	18,2%	16,6%	27,7%	27,5%	24,8%	70,8%	139,3%	133,8%	162,5%	158,2%	131,8%	91,2%	Electricity	ABASTECIMIENTO PROMEDIO %	JUNIO	
3,4%	2,5%	2,8%	0,0%	0,0%	0,0%	21,0%	4,8%	6,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	Thermal			
4,4%	3,9%	4,0%	2,4%	2,4%	2,2%	25,3%	16,3%	17,5%	13,9%	13,6%	11,3%	7,8%	Total			
46,5%	54,4%	49,8%	80,3%	79,7%	74,2%	225,7%	372,9%	358,2%	434,9%	424,9%	377,3%	299,4%	Eléctrica	SEPTIEMBRE		
11,9%	9,9%	9,4%	0,0%	0,0%	0,0%	45,2%	12,1%	13,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	Thermal			
15,5%	14,5%	13,6%	8,4%	8,3%	7,7%	63,7%	49,2%	48,9%	44,7%	43,6%	38,7%	30,7%	Total			
81,7%	95,6%	87,6%	143,3%	143,4%	143,2%	304,7%	517,0%	496,5%	602,9%	586,8%	595,4%	601,3%	Electricity	DICIEMBRE		
96,2%	88,9%	86,9%	0,0%	0,0%	0,0%	572,1%	82,7%	88,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	Thermal			
90,1%	91,7%	87,2%	54,7%	56,9%	56,8%	466,0%	255,0%	250,2%	239,2%	232,8%	236,2%	238,5%	Total			

Se evidencia la superior capacidad de producción de *Modelo A* sobre *Modelo B* por lo menos en 4 veces en energía y cinco veces en exergía. La distribución y adaptabilidad de los colectores en integración arquitectónica se muestra más uniforme y lógica en *Modelo A*, mientras en techumbre con faldones de forma no ortogonal quedan remanentes de faldón triangulares a completarse con material de recubrimiento, en 43,4 % de superficie no colectora “remanente”.

Los resultados señalan la importancia de la superficie disponible en cuanto a dimensión como en regularidad formal de faldones. La producción energética se multiplica hasta por seis o por lo menos se cuadriplica al analizar la producción total. Adicionalmente la integración es mucho más lógica en un faldón con lados ortogonales y denota mejor adaptabilidad en el ámbito constructivo y visual, guardando mejor relación la disposición de los colectores. El requerimiento de una modulación colector-faldón se hace evidente al igual que la importancia de definir y/o conocer el módulo de colector para ser considerado durante el diseño de techumbre y de faldón potencialmente recolector.

5.5 Abastecimiento energético e integración Arquitectónica al integrarse tecnología solar *Combisystem* en Vivienda de tipología MINVU

Se realiza la simulación y análisis de desempeño energético de un modelo de casa procedente de viviendas aprobadas para subsidio por el Ministerio de Vivienda como vivienda de interés social excepcionalmente. Se trata de casa de un piso y planta prácticamente rectangular, con superficie construida total de 72 m². Se modela con paramentos exteriores de albañilería y techumbre de estructura de madera. Se eligió un modelo simple para establecer modificaciones paramétricas evidentes, obteniendo resultados fácilmente descifrables. La proporción largo-ancho del modelo fue 2:1, correspondiente a una situación media, en relación con las sugerencias de eficiencia térmica por forma para este clima (MINVU 2012).

551 1 Demanda y aporte energético solar térmico en vivienda social MINVU

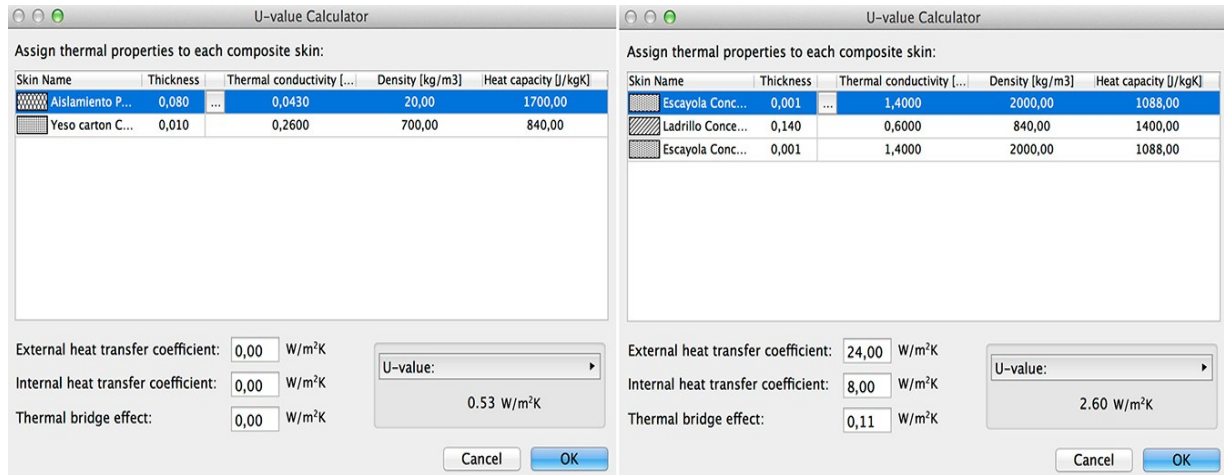
El modelo posee una altura piso-techo de 2,40 m, dimensión usual para la tipología de casa, además posee techumbre de dos aguas, estructurada en cerchas dispuestas longitudinalmente e integradas por correas desplegadas también en dirección longitudinal. Fueron dispuestas ventanas en las cuatro fachadas, las que ocupan proporcionalmente el 30 % de la superficie de muros con vanos, proporción consecuente con estadísticas locales de relación vanos lleno (Celis et al. 2012). En el módulo *Ecodesigner*[®] fueron programados aspectos funcionales de la vivienda, con ello el software entrega requerimientos energéticos residenciales automáticamente. Adicionalmente fue necesario

especificar secciones y parámetros de materiales de pared, suelo y cielo-techumbre de la envolvente. Los valores seleccionados son especificados en *Tabla 5.7* y *Figura 5.34*.

Tabla 5.7: Determinaciones de materiales constructivos y aislamiento en Ecodesigner® (El Autor).

Elemento constructivo	Material	Espesor (cm)	Valor U (W/m ² K)
Piso radier sin aislamiento	Hormigón armado.	10	4,34
Muro exterior, albañilería estucada ambas caras.	Ladrillo.	14	2,6
Cielo falso más aislamiento.	Yeso +Poliestireno.	1 + 9	0,53
Techumbre.	Placa metálica ondulada	0,4	7,1
Ventana.	Vidrio doble.	3,5	2,6
Puerta.	Madera sólida.	6	3,17

Figura 5.34: Determinaciones de materiales constructivos y aislamiento en Ecodesigner® (El Autor)



La materialidad adoptada refleja lo especificado por el catálogo de venta y es usual en viviendas de la zona: Piso en radier de concreto apoyado directamente sobre suelo compactado, muros de albañilería enlucida a dos caras, cielo-falso de yeso con aislamiento. Con estos datos el software entrega valores de transmitancia en muros inferiores a los sugeridos por la normativa vigente, sin embargo son el resultado de propiedades de materiales regularmente utilizados (U=2,6 frente a U=1,7 especificado en la norma). Asimismo se contempla excepcionalmente vidriado doble en ventanas, tecnología que está siendo incorporada masivamente en la construcción local, con mayor recurrencia que incrementar el aislamiento en muros; el resultado es una envolvente con valores de transmitancia homogéneos (vanos y muro con U=2,6), situación que se considera apropiada de todas formas. Para el entorno inmediato de la casa se considera espacio abierto, sin obstrucción solar y sin protección contra vientos. El suelo circundante fue modelado de grava granular para representar un jardín en el contorno de la vivienda. El índice de infiltración tanto en muros como carpinterías resultante es 1,10; en consecuencia

el software estimó que el índice de renovación de aire ACH es 3,78. Como fuentes de alimentación energética tradicional se especificó calefacción a partir de leña, agua caliente proveniente de combustión de gas y la electricidad de red general, todos ellos considerando precios locales y la realidad de consumo zonal (CDT 2010a). La temperatura mínima de confort considerada es 17 ° C. A partir del modelo programado, el software estipula que las ganancias internas están en el orden de los 200 kWh por mes aproximadamente, lo cual se traduce en nuestro modelo en un índice de 92 kWh / m².

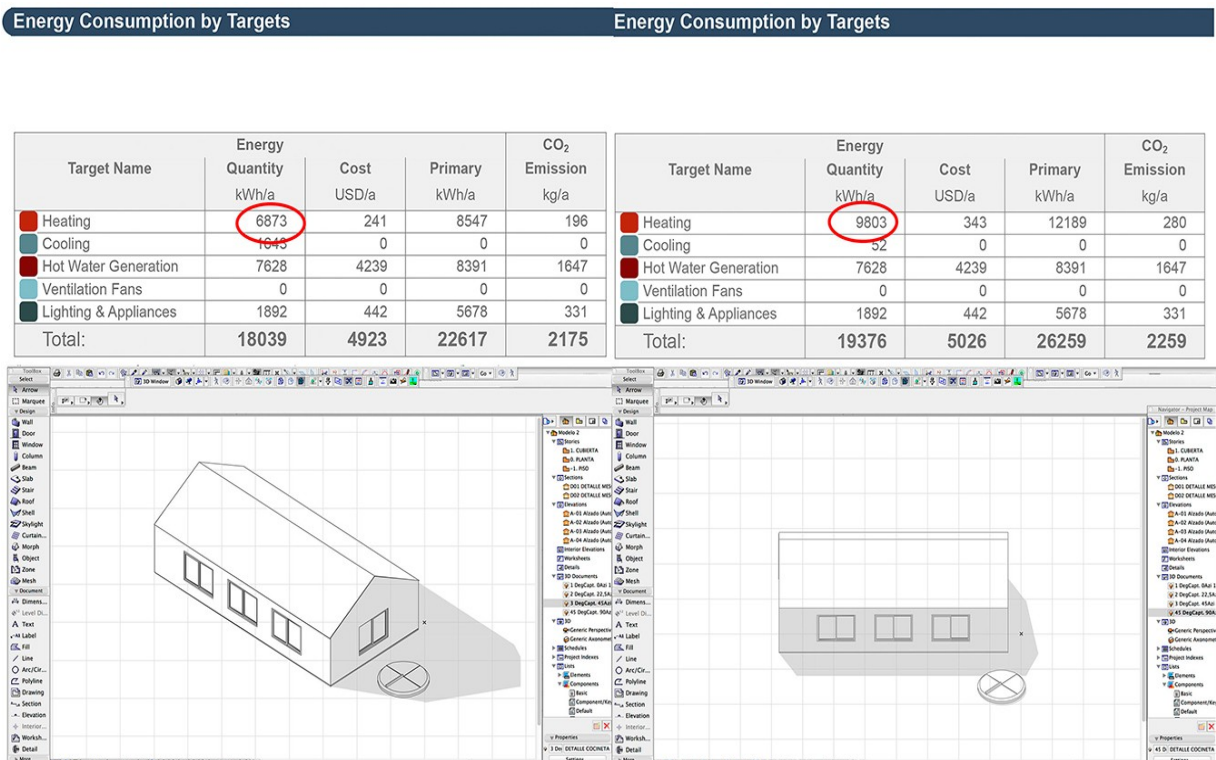
De la comparación realizada se detecta que la vivienda simulada en Ecodesigner® presenta una demanda para calefacción de 95,45 kWh / m² a 136,15 kWh / m² por año, con variaciones según soleamiento y viento predominantes en Concepción y la relación de demandas resultantes por orientación. Los resultados del BIM se aproximan a otros resultados de investigaciones previas de mediciones y otras simulaciones (Bustamante et al. 2009; Donoso 2009); respecto de Celis et al. (2012) está cercano a su valor máximo y en relación con Ambiente Consultores, PRIEN y MINVU (2007), nuestro modelo presenta un desempeño sustancialmente superior, diferencia atribuible a las mejores carpinterías de ventanas (*Tabla 3.1*). Se comprueba que la herramienta de simulación BIM muestra resultados semejantes a los obtenidos en software especializado y estudios anteriores, aunque con alta dispersión, atribuible a que todos los casos provienen de los supuestos de base.

Con el propósito de revisar el simulador de captadores térmicos, se analizan diferentes modelos de Ecodesigner® para ser comparados con otras investigaciones. En el modelo de vivienda que se elabora en Archicad®, con uno de los costados de la techumbre orientada exactamente perpendicular al norte e inclinada 36 °, con un colector de 2 m² en Concepción la producción resultante simulada es 2.553 kWh / año. El modelo con la misma orientación y techumbre inclinada 51 ° indica una producción de 2.384 kWh al año, lo que implica una disminución de 6,6 % en rendimiento anual. Una variación similar se advierte en el estudio de Hachem (2012), quien al incrementar la inclinación desde 45 ° a 60 °, ve disminuir la producción en un 7,5 %. Al revisar la orientación, cuando el modelo se rota 30 ° respecto a enfrenar directamente al norte, con pendiente de 36°, la producción disminuye a 2.195 kWh / año o 14 %; cuando Hachem (2012) realizó la misma modificación redujo solo un 5 % respecto a máxima producción. Estos resultados reflejaron una concordancia en variación por inclinación y algo de diferencia en la variación por orientación, que puede ser originado por distinta latitud de ambas ciudades analizadas (Concepción y Montreal) y el tipo de captación: Térmica con fluido líquido vs. aire sin dispositivo de almacenamiento. En ningún caso las variaciones comparadas provocaron una disminución que afecte más de un 15 % de rendimiento y las pérdidas por orientación mostraron ser superiores a las generadas por pendiente. Las variaciones en inclinación y orientación muestran ser factores de potencial aprovechamiento en otras investigaciones, cuando intencionalmente se mejora la producción en distintas temporadas u horas (Hachem 2012; Gajbert 2008; Wall et al. 2012), a pesar de una disminución de producción anual mínima, se puede lograr

una mejor concordancia entre los momentos de producción con los de demanda y con el precio de la energía generada (En algunos países o regiones el precio de la energía es variable de acuerdo con la demanda y/u hora del día). En cuanto a eficiencia del colector más factores de pérdida por almacenamiento, distribución, etc.; teniendo en cuenta que para Concepción, un plano inclinado en 37 ° recibe 1.602 kWh / año (CDT 2007), para obtener 2.553 kWh / año de energía útil (resultado de Ecodesigner®), el nivel de rendimiento o eficiencia utilizado por el software está en el orden de 0,75, indicador en el rango alto para eficiencia de colectores térmicos.

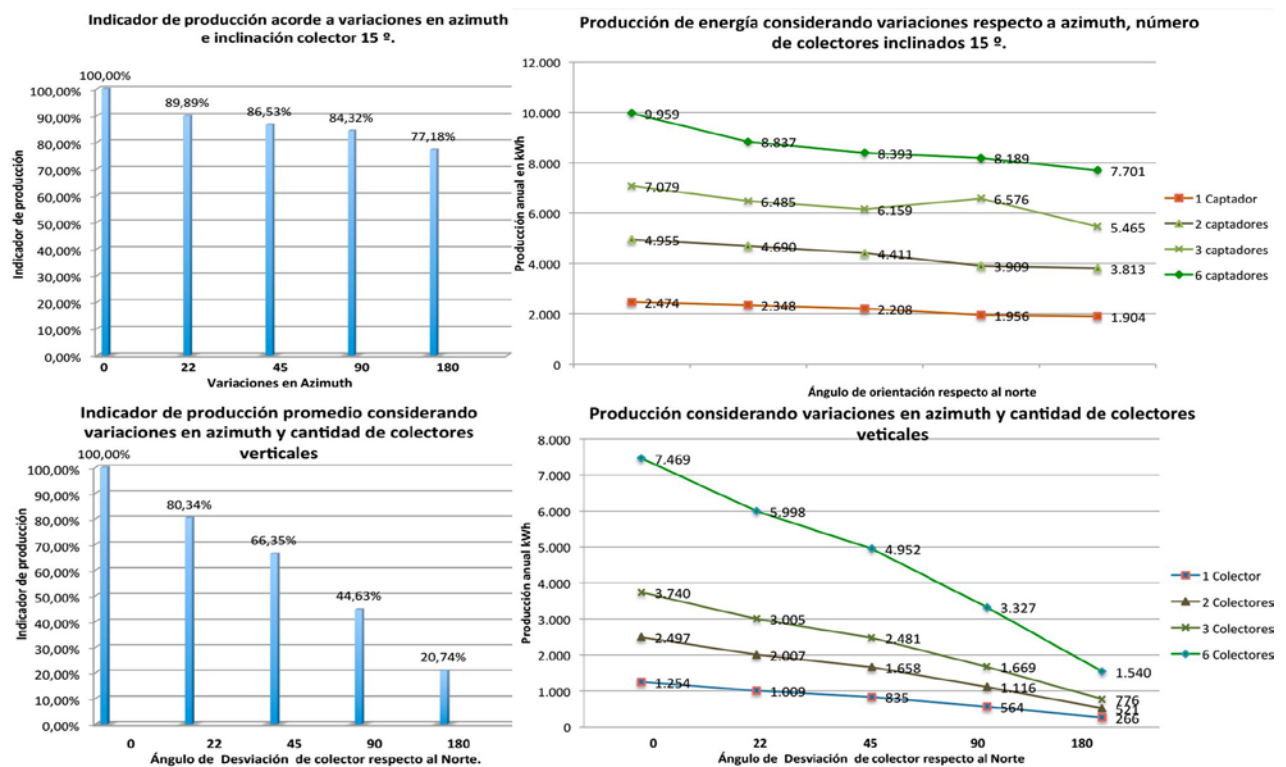
Al sumarse demandas y ganancias internas se observa que puntualmente para demanda de calefacción, el requerimiento oscila entre 6.800 kWh / año a 9.500 kWh / año. En gasto monetario, el software estima desde US\$ 1.000 hasta más de US\$ 5.000 anuales en los casos extremos y estos requerimientos en dependencia directa con el número de captadores; las emisiones de CO₂ calculadas oscilan entre 700 Kg hasta 2.200 Kg de CO₂ por año (también en consecuencia fundamentalmente al número de captadores). Se evidenció así que los parámetros revisados poseen incidencias sustanciales en la eventual recolección de energías renovables, consumo de combustibles e impacto a la atmósfera. Los resultados de los informes mostrados por Ecodesigner® son descritos en lenguaje sencillo para profesionales en Arquitectura. Los resultados comparativos de la simulación paramétrica se reflejan en la *Tabla 5.8*.

Figura 5.35: Resultados de demanda energética para calefacción según orientación (EL Autor)



significa 96 kWh / m² por año. La disposición con mayor requerimiento fue con la casa orientada norte/sur, sus costados más extensos, con 9.803 kWh por año, lo que implica 136,5 kWh / m² por año. Este resultado contradice las recomendaciones de disposición con el costado más extenso al soleamiento, por una mayor contribución solar desde el norte. Sin embargo la mayor incidencia en la mañana y tarde, además el modelo se simula emplazado en lugar abierto descampado, con vientos predominantes según la previsión climática para Concepción provenientes desde SW y S (de acuerdo a datos entregados por archivo climático) implica incremento en las demandas. El requerimiento energético global promedio para calefacción considerando todas las orientaciones según resultados de Ecodesigner® fue de 119,34 kWh / m² por año, volumen energético similar a los publicados en otros estudios (Tabla 3.1).

Figura 5.36: Comparación desempeño de colectores dispuestos verticalmente respecto a colocados prácticamente horizontal (El Autor)



Cuando se adopta la hipótesis de disponer captadores BISTw casi verticalmente (89 °), se observa que de todas las orientaciones estudiadas, la producción máxima obtenida fue 7.469 kWh con una orientación exacta al norte. Cuando se gira 22,5 ° la producción anual disminuye al 80 % respecto a la mejor; con 45 ° de desviación en orientación, la disminución de producción fue a 66 % del máximo y con rotación de 90 °, la producción alcanzó únicamente el 45 %; finalmente con los captadores orientados completamente al sur, se generó solamente un 21 % respecto a la mejor producción. Este dato muestra otra vez una fuerte incidencia de la orientación con colectores verticales, obteniéndose una quinta parte respecto de la máxima posible. En contraparte cuando la cubierta y captadores fueron dispuestos casi o cerca de la horizontal (15 ° de pendiente), la

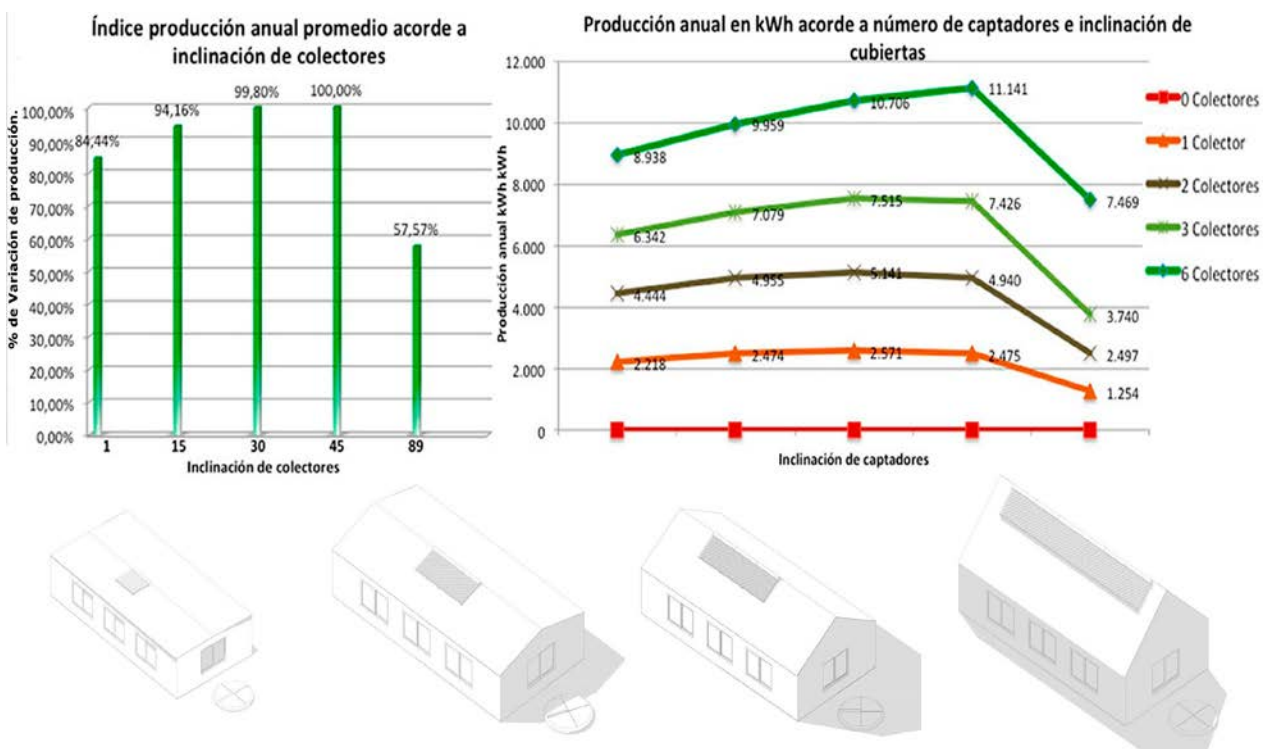
producción máxima mejora a 9.959 kWh / año y disminuye únicamente a un 77 % en condiciones más desfavorables (encarando al sur), hecho explicable porque recibe mayor irradiación incluso directa gran parte del año, a pesar de estar orientado en dirección completamente desfavorable (Fig. 5.36).

Figura 5.37: Distintas variaciones visuales generadas conjuntamente con simulaciones energéticas (El Autor)



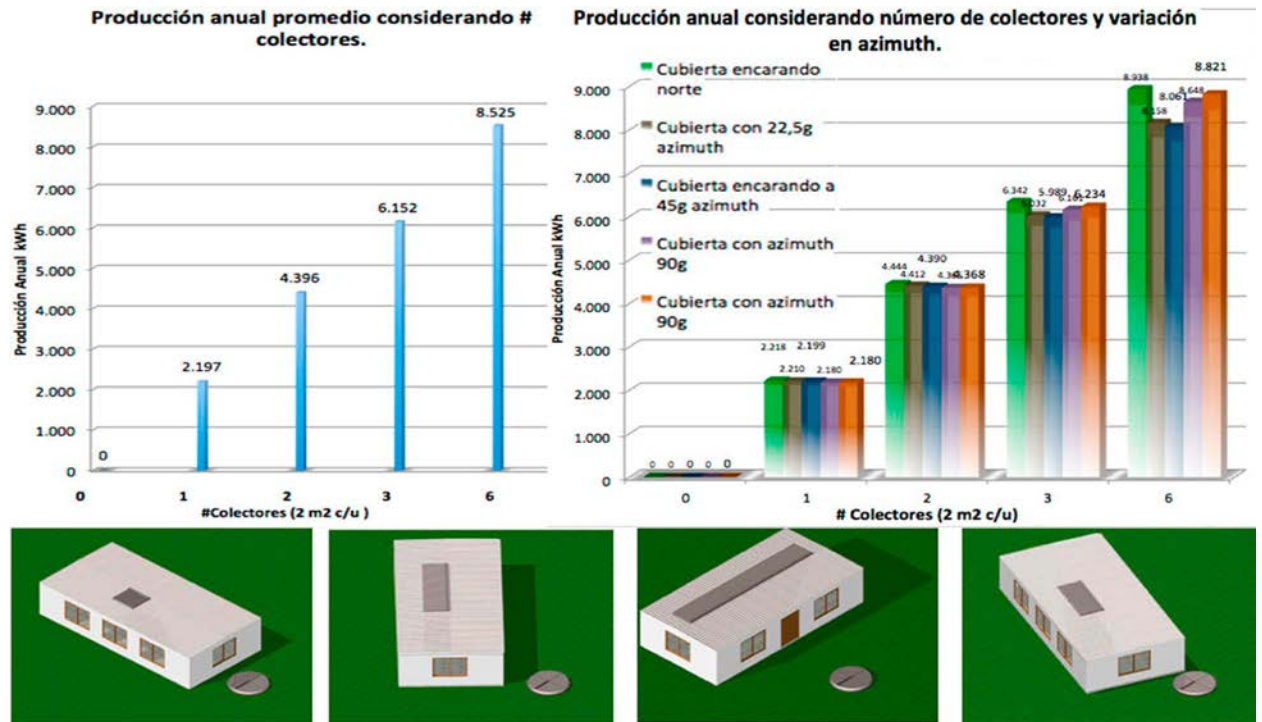
Según variaciones en el parámetro de pendientes de cubierta, se observa una producción máxima con 45 ° de inclinación; en esta circunstancia con seis captadores se alcanza un aporte de 11.141 kWh / año. Con los colectores inclinados en 30 °, la producción disminuye mínimamente. Se confirmó que una variación cercana a 10 ° respecto a la pendiente óptima no representa una pérdida apreciable, coincidiendo con publicación de CDT (2007) y Hachem (2012). Con 15 ° de inclinación también se aprecia una pérdida leve. Una reducción sustancial se produce con los colectores dispuestos en vertical, presentando una producción de 57,57 % respecto del máximo. Además, esta disposición es más proclive a una afectación por agentes externos como sombreados, especialmente con colectores dispuestos en fachada a baja altura (Fig.5.38).

Figura 5.38: Producción según variación en pendiente y cantidad de colectores (El Autor)



De acuerdo con la superficie de captación, se advierte que el incremento de producción es casi lineal hasta disponer seis metros cuadrados de captación (tres colectores). Luego, al haberse completado la demanda de ACS y no requerirse calefacción en verano, el aporte disminuye por m² de colector. Colectores adicionales producen menos energía por m², conforme se incrementa la superficie de captación mostrando así una ineficiencia creciente. Se concluye entonces que para el requerimiento global del prototipo analizado, no debería instalarse más de tres colectores de 2 m² (Fig. 5.39).

Figura 5.39: Desempeño según número de captadores (El Autor)

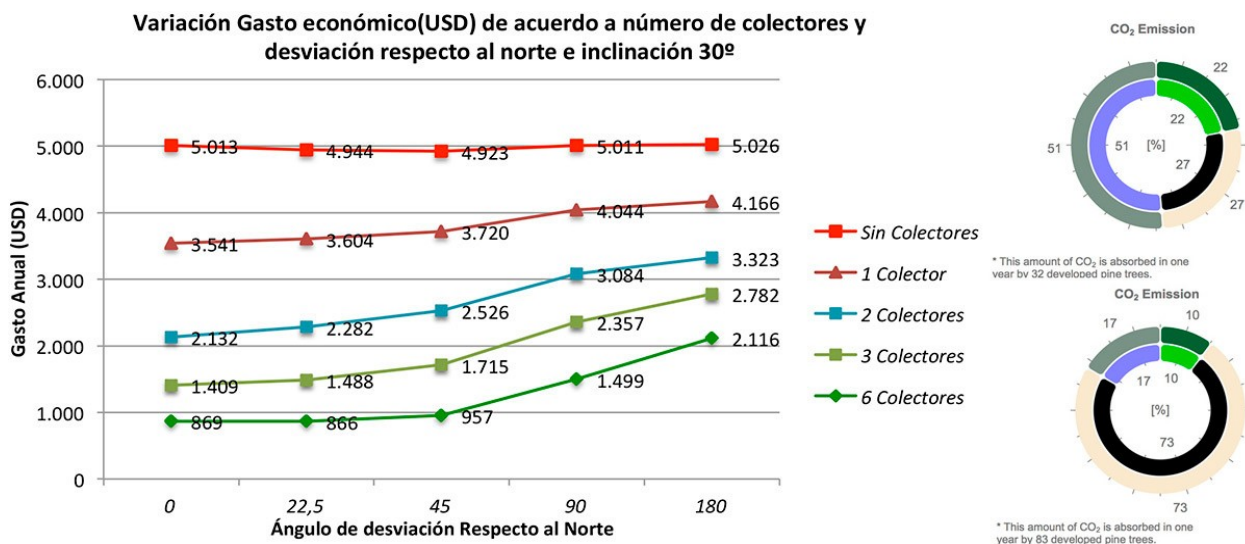


Finalmente, para determinar el volumen requerido de almacenamiento y en consecuencia respecto de volumen del tanque, se adopta la fórmula indicada en CDT (2007), la cual expresa: $50 l > (V/A) < 180 l$ (V: Volumen de agua de almacenamiento; A: Área de captadores), relación que entonces determina un volumen máximo de 1080 l para los 6 m² de captación. Otra alternativa de dimensionamiento es según el uso de ACS por persona para encontrar el volumen mínimo, en este caso Ecodesigner[®] se rige por la normativa sueca que establece 100 l / persona (superior a la indicada en CDT (2007) de 60 l / persona en Chile), otra relación utilizada es optar entre 75 l y 100 l / m² de captación (Ercan Ataer 2006), en nuestro modelo esto representa entre 420 l a 600 l al considerar cuatro habitantes. Hay que considerar almacenamiento en el rango mayor, por la contribución propuesta y conexión a calefacción con tecnología Combi, para lo cual Gajbert (2008) sugiere que con 50 m² de captación es necesario un almacenamiento de 4 m³. Bajo este precepto para el sistema planteado de 6 m³, el volumen de almacenamiento deberá estar alrededor de 480 l de adoptarse el dato de Gajbert proporcionalmente. En cualquier caso, es necesario ubicar el almacenamiento a nivel de suelo, idealmente al interior de la vivienda por aislamiento y por peso de fluido (por lo menos media tonelada de agua,

volumen complejo de mantener elevado en zona sísmica). No obstante el espacio interior necesario para mantener el almacenamiento es sin duda inferior al actual utilizado en la mayoría de viviendas para almacenar leña. Otra consideración importante expuesta por Gajbert es no superar con producción el 95 % de demanda de ACS en ningún mes, antes de tornar en ineficiente el sistema por sobreproducción. Ante esto, los resultados de Ecodesigner® muestran que con tres captadores se generan 6.427 kWh para una demanda de ACS de 7.628 kWh, cubriendo el abastecimiento en un 84 %. Con 4 captadores (8 m²), se rebasa el requerimiento mencionado para ACS, coincidente con pérdida de eficiencia por m² de colector. Se demuestra entonces que el software permite al arquitecto detectar sobredimensionamiento con el proceso descrito. Aunque la herramienta debería idealmente alertar que el sistema entra en ineficiencia, lo cual no sucede. Se descifra entonces que tres colectores representan un área apropiada de captadores STw para nuestro modelo, con tecnología Combi para ACS y Calefacción.

Para resolver la limitación por sobreproducción y almacenamiento e incrementar al máximo la capacidad de recolección térmica, existe la posibilidad de almacenar energía térmica en el subsuelo, generalmente como apoyo de la red urbana de calefacción o *District Heating*, con ello y sumado a la colaboración con tecnología geotérmica y bomba de calor, puede aprovecharse como almacenamiento térmico conjunto comunal y estacional (varias casas unifamiliares con grandes superficies de captación y almacenamiento integrado). Esta alternativa puede cubrir demandas conservando temperatura por meses (Gajbert 2008; IEA SHC Task 26 2000).

Figura 5.40: Gasto en energía de uso doméstico anual dependiente de número de colectores y orientación (El Autor)

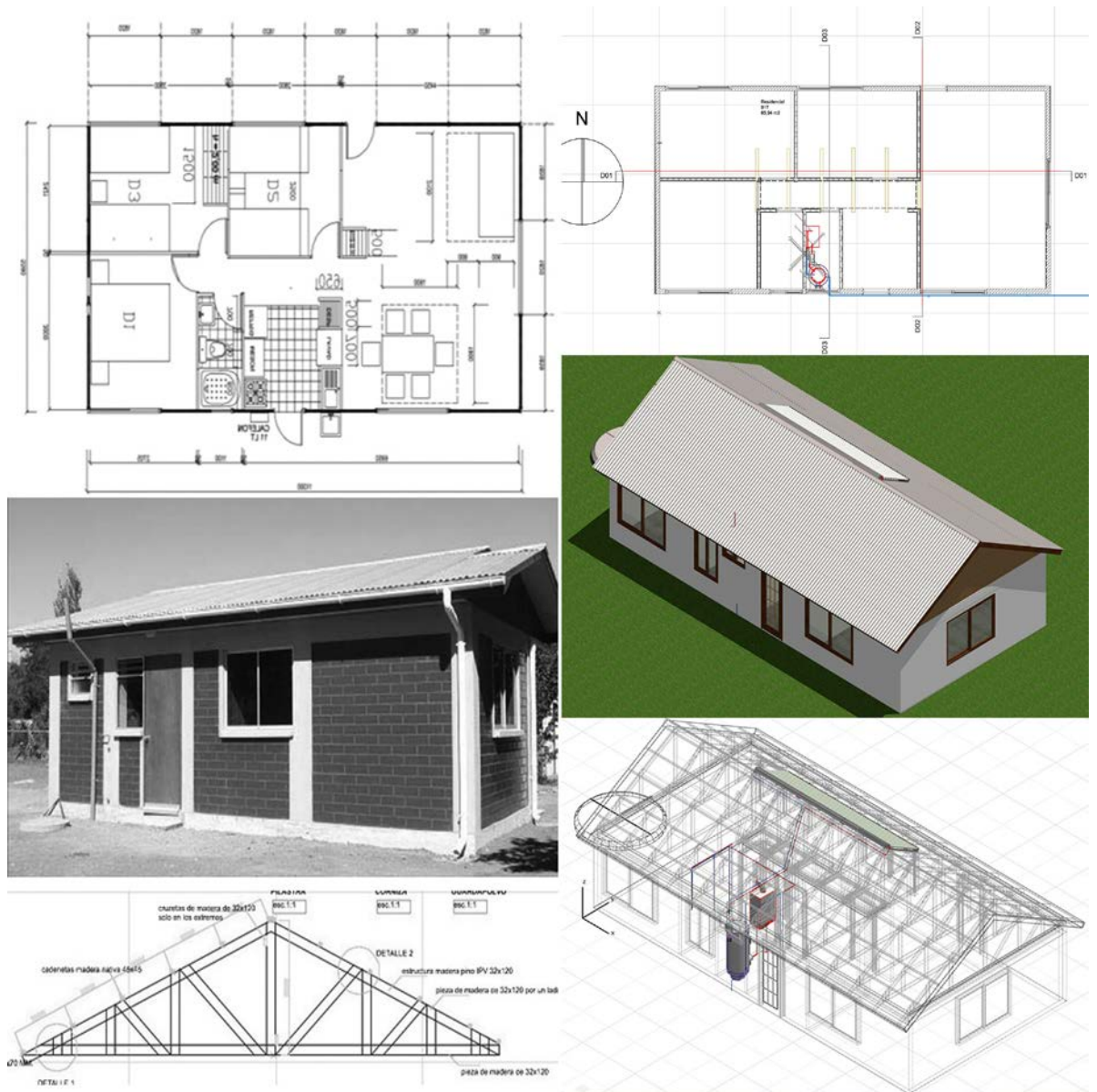


Financieramente, al tener en cuenta los precios energéticos de septiembre de 2013 para electricidad, leña y gas natural, el ahorro económico estimado se muestra en *Figura 5.40*. En ésta se observa una disminución de gasto correlativo y lineal cuando se instalan entre 1 y 3 colectores alcanzándose un 71,8 % de ahorro; con seis colectores el ahorro llega solamente al 82,7 %, por ineficiencia ya descrita. También se muestra incremento de gasto

por deficiente orientación. El software declara que la vivienda sin colectores térmicos emite el CO₂ equivalente al absorbido en un año por 83 pinos desarrollados, mientras en el caso de la utilización de 3 colectores, las emisiones se reducen a la absorbida por 32 pinos desarrollados. El tiempo de amortización del sistema, teniendo como precio referencial de instalación incluyendo piso radiante de 11.700 USD según precios publicados por CYPE Ingenieros Chile (CYPE Ingenieros 2014), la instalación se pagaría en menos de 5 años.

5.5.1.1 Desarrollo arquitectónico-técnico detallado del Sistema Solar Térmico Integrado

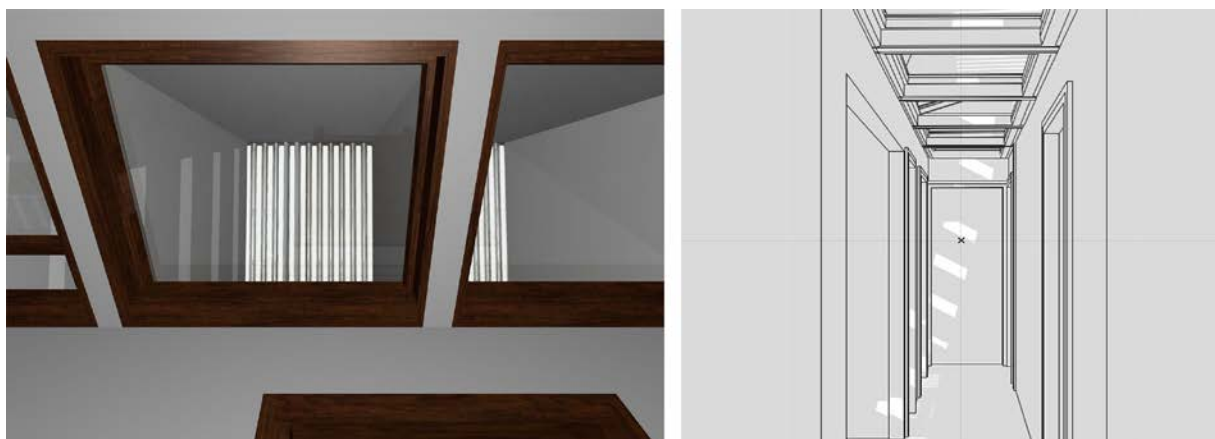
Figura 5.41: Planta, fotografía y detalle de techumbre de vivienda MINVU de referencia de la zona Centro- Sur de Chile (izq.)(MINVU 2012). Sistema en Archicad con sistema Combi (der.)(El Autor)



Se elabora finalmente el modelo técnico-constructivo completo a partir del anteproyecto esquemático incluyendo almacenamiento y circulación de fluido térmico en la plataforma computacional BIM Archicad®. Se considera la tipología y dimensión de instalación solar térmica determinada como máxima en la evaluación paramétrica y con las capacidades de examen geométrico más la visualización gráfica que posibilita el software BIM. Se adopta una solución de captación solar incorporada en la configuración arquitectónica de la vivienda de forma integral y constructiva.

La definición material del modelo se basa en la normalización oficial del Ministerio de la Vivienda (MINVU), considerándose una casa habitacional popular, basándonos en el “Catálogo de Viviendas Aprobadas 2012” (MINVU 2012). Se adoptó la distribución funcional de la tipología N° DITEC-059-MUS-01-61 que posee una altura y proporción similar (adaptando la superficie total de 61 m² a 72 m²), con sistema estructural según la tipología N° VIII-031-ELIANA-01-45, que corresponde a la materialidad planteada. La estructura de techumbre se adopta del modelo “Coyahue”, aprobada por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (Fig.5.41). El complejo de techumbre contempla estructuras reticuladas de madera y planchas acanaladas de cubierta. El dispositivo de captación solar considerado está compuesto de colectores de tubo de vacío integrado a la cubierta. Con ello se adopta la capacidad de filtración solar que posee este tipo de colector, lo cual permite otorgar y controlar iluminación natural al interior de la vivienda. El tanque de almacenamiento se localiza en recintos de servicios internos, por lo demás se mantiene la distribución interna y configuración volumétrica del modelo MINVU original. En cuanto al esquema de redes, se adopta “Sistema Indirecto con Circulación Forzada” (CDT 2007), con fluido calo-transportador circulando desde el colector, llevando energía térmica al tanque de almacenamiento, en donde se precalienta el agua a través de intercambiador de calor.

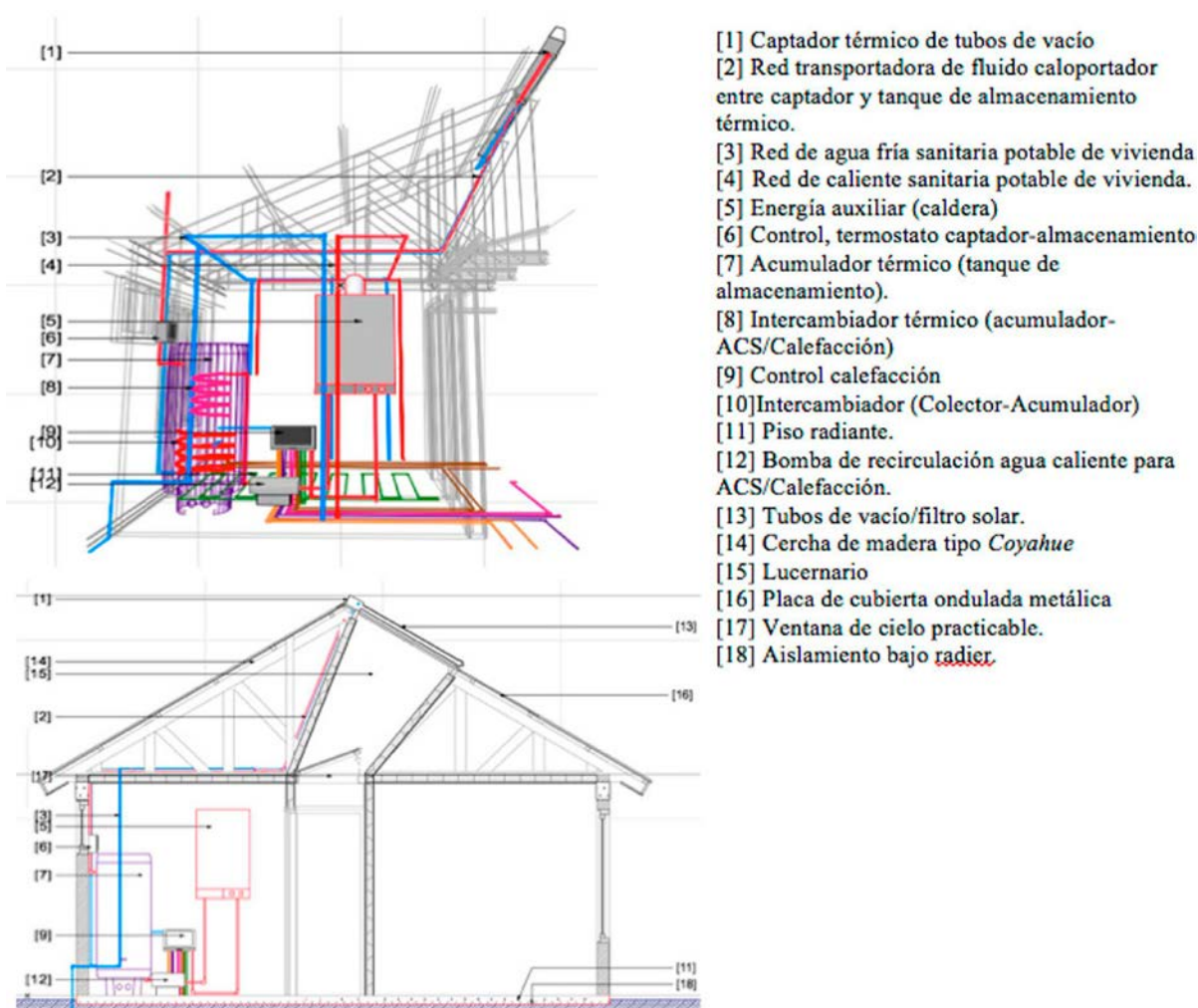
Figura 5.42: Vistas interiores de integración arquitectónica de colectores con lucernario (El Autor)



Con las condiciones manifiestas, se detalla el modelo tridimensional en BIM, considerando la inclusión de tres colectores de tubos al vacío en ala de cubierta orientada al norte, aspecto que se determina como área de captación adecuada en la etapa previa. Se consideran fijaciones a la estructura de cerchas y sellos de aguas lluvias con las restantes planchas metálicas de cubierta. Se conforma un lucernario en pasillo central para

aprovechamiento de radiación y luz entre los tubos de vacío, lo cual posibilita una captación solar pasiva filtrada. El lucernario conforma “cañones de luz” con terminación reflectante y esclusa acristalada en el cielo para evitar fugas térmicas excesivas, a la vez practicable para ventilar en verano (Fig. 5.42). Similar aplicación y aspecto logrado ya ha sido experimentada en edificios corporativos (Viessmann 2007). El software permite entender el resultado al generar vistas interiores y revisar la espacialidad lograda en las representaciones generadas.

Figura 5.43: Detalle en Archicad® integrado Combi System para captación de energía solar adaptado en vivienda de la zona Centro-Sur de Chile (El Autor)



A continuación se modela la totalidad de las redes, instalación y equipos necesarios según disposición de Sistema Indirecto con Circulación Forzada (CDT 2007). Se prevé un local de 4 m² junto a recintos húmedos de la vivienda, espacio suficiente para alojar el tanque de almacenamiento, termostato, controles y medidores de funcionamiento además de la bomba de recirculación. La distribución de calefacción es por losa radiante, red ideal para optimización de sistema Combi por eficiencia, ya que se requiere fluido a menor temperatura (menos de 40 ° C), lo cual implica ahorro energético respecto de distribución térmica por radiadores (Requieren entre 70 ° C y 90 ° C). Además se trata de un sistema de

calefacción definida como más confortable, el cual se ajusta en mayor concordancia con el perfil de temperatura de confort del cuerpo humano (pies calefaccionados y cabeza fría) (Relaño Peña 2010). De este modo, se completa el modelo constructivo, técnico y visual con menos posibilidad de error (Fig. 5.43). Se comprueba entonces la adecuación de la tecnología a los recintos y posibilidad cierta de ejecución.

Con las adecuaciones señaladas se ejecuta una nueva simulación de desempeño energético con el modelo completo, se compara así el desempeño ambiental y de consumo respecto de los modelos esquemáticos iniciales. Para esta comparación se recoge la simulación correspondiente a las mismas condiciones como pendiente de cubierta, orientación y número de captadores. Se observa entonces una disminución de requerimiento energético puntualmente para calefacción, resultado de la ganancia solar y térmica obtenida en el lucernario. Esta reducción en demanda de leña es de 7.820 kWh / año a 5.896 kWh / año, es decir un 25 % menor. Con esto se refleja la importancia de la captación solar pasiva. Mientras tanto la cantidad absorbida por los captadores STw y las emisiones de CO₂ se mantienen cercanas en ambos casos. Según la simulación se lograría además una reducción en la emanación de gases de invernadero, con una demanda energética general equivalente a un tercio de la usual en el país, tomando como referencia viviendas de similar configuración (Tabla 5.9).

Tabla 5.9: Comparación de demanda energética en modelo de análisis paramétrico respecto a simulación de modelo de vivienda con CombiSystem desarrollado por completo e inclusión de lucernario (El Autor)

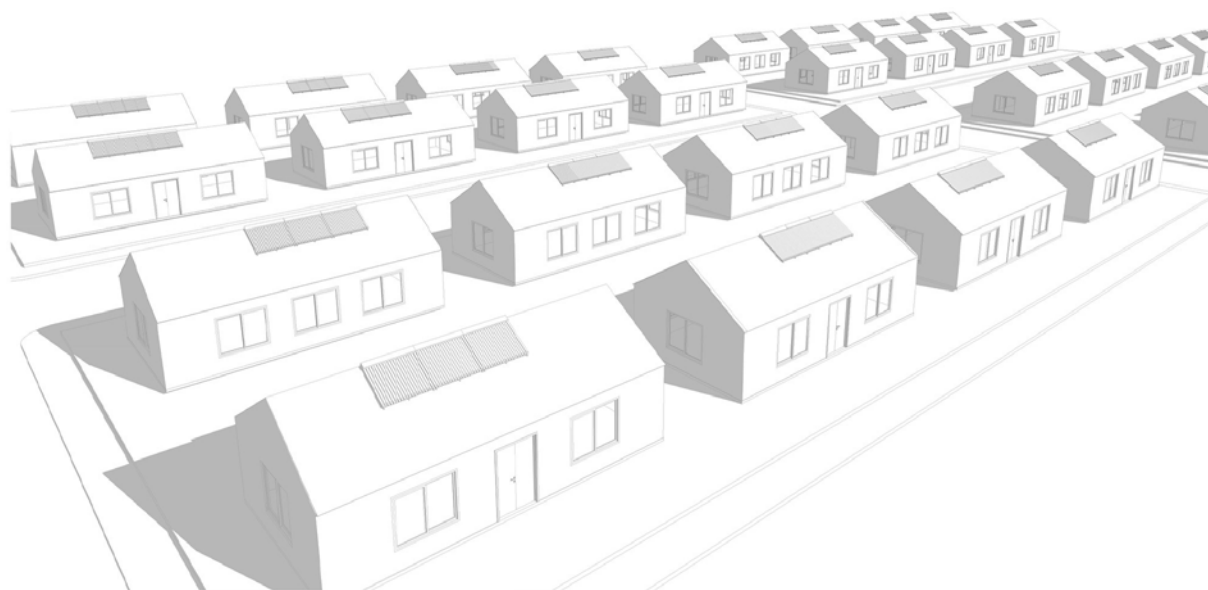
	Consumo total kW/año	Consumo Calefacción kW/año	Cantidad kWh/año en sistemas captación	gasto USD/año	CO2 (kg/año)
Modelo de simulación original 3 captadores, Pendiente 30°, Orientación norte	18726	9150	7426	1333	832
Modelo simulación con 3 captadores, Pendiente Cubierta 30° y Orientación norte + alteración por referentes funcionales y constructivos MINVU + Integración arquitectónica de lucernarios-captadores	16807	7290	7290	1333	804

Además, es evidente la necesidad de considerar el trazado urbano de lotes, ello es significativo no solo respecto a la captación solar activa, sino frente a eficiencia energética en general. Sin duda merece una investigación aparte solamente este aspecto, analizándose el balance de implantaciones frente a consecuencias positivas y negativas de priorizar la captación solar. En el caso planteado, si desplegásemos las viviendas probetas MINVU en un conjunto, las proporciones resultantes y la disposición de los colectores provocan que la implantación lógica resulte en lotes con proporciones con un frente superior a la profundidad, situación que potencia a la vez una adecuada recolección

pasiva, no obstante este aspecto a veces no se compagina por el alto valor que presentan los frentes de lote. Asimismo, este análisis también refleja que si bien el faldón de cubierta y los colectores necesariamente deben desplegarse al recorrido solar, no necesariamente tiene que ser regida y directamente al norte, existiendo una tolerancia importante; así, con un desvío de 45° respecto al norte existe una reducción del rendimiento de los colectores térmicos del 11 % solamente (Fig. 5.44).

El caso analizado insinúa posibilidades relevantes para mejorar el desempeño ambiental de las viviendas de la zona con tecnología *Combi* y el proceso de diseño descrito, con la instalación de sistemas apropiados de captación solar térmica, demostrando una reducción relevante en el gasto monetario y energético. Se promueven disposiciones de las viviendas por orientación e inclinación de techumbre que permitirían lograr estructuras urbanas en zonas residenciales con bajos consumos energéticos. Adaptando los modelos habitacionales para un crecimiento urbano más sustentable. Ciertamente se deben revisar las implicancias económicas y urbanas de las configuraciones sugeridas, como también verificar su ejecución y comportamiento efectivo en modelos reales y monitoreados.

Figura 5.44: Conjunto de viviendas con sistema de colectores integrados en *Archicad*® y simulados en *Ecodesigner*® (El Autor)



6. Capítulo VI. INTEGRACIÓN CONJUNTA DE CAPTACIÓN ACTIVA Y PASIVA EN VIVIENDA DE EMPRENDIMIENTOS INMOBILIARIOS

6.1 Introducción

Este capítulo muestra el desarrollo de un modelo de vivienda adoptado de la tipología repetitiva en conjunto inmobiliario en Concepción, adaptado para alcanzar un mínimo consumo energético como prototipo de una *Net Zero Energy House* (NZE) e incluso alcanzar demandas negativas en período anual (*Plus-Energy House*). Para ello se integran medidas pasivas conjuntamente con captación solar activa, que en congruencia permiten desarrollar residencias con alto desempeño (Kazanci et al. 2014). Con este objetivo se propone una adecuación de diseño de un modelo existente en el conjunto de viviendas unifamiliares estudiadas. A continuación se presentan simulaciones de la capacidad energética y se expresa la producción factible frente a consumo, mostrándose a la vez el resultado de ocupación en faldón al integrarse placas solares, teniendo en cuenta a la vez un análisis de soleamiento y resultado expresivo. Se despliegan tecnologías BIPV, BISTw, BIPVTa y BIPVTw y combinaciones entre ellas, buscando maximizar la capacidad de producción tanto para autoconsumo como para lograr excedentes, los cuales se expresan a la vez en posible alimentación para un automóvil eléctrico.

6.2 Complementación de captación solar activa y pasiva

Al reducirse las demandas residenciales a través de estrategias pasivas, el abastecimiento con tecnologías de recolección solar activa incrementa significativamente la proporción de abastecimiento. En el capítulo anterior se ha determinado que en Concepción, en un clima estacional no extremo, para lograr viviendas *Net-Zero* contrarrestando las demandas típicas existentes, se requiere importantes superficies colectoras de más de 0,6 m² de superficie colectoras por m² construido. Lo sensato (y generalmente más económico) es entonces considerar medidas de eficiencia energética en principio; luego, con demandas reducidas, es factible abastecer el remanente con captación solar pasiva y activa (Athienitis, Bambara, O'Neill, & Faille, 2011; Charron & Athienitis, 2006; Gajbert, 2008; Hachem, 2012; Hastings & Wall, 2007).

Los modelos *A* y *B* previamente analizados con geometrías con superior e inferior capacidad para integrar captación solar, no muestran condiciones de diseño que denoten aptitud para ser emplazados para alcanzar simultáneamente una relevante recolección pasiva conjuntamente con activa. Así para el *Modelo A* el cual posee un faldón con importante capacidad en uno de los costados, si es dispuesto adecuadamente para recibir irradiación en el faldón, tanto las fachadas frontal como posterior en donde están presentes los vanos no muestran una accesibilidad solar adecuada. Se hace necesario entonces encontrar una alternativa que implique una incidencia solar relevante tanto en techumbre como en vanos simultáneamente.

6.3 Caso de estudio.

Figura 6.1: *Modelo C* en su configuración original, plantas y 3D (El Autor)

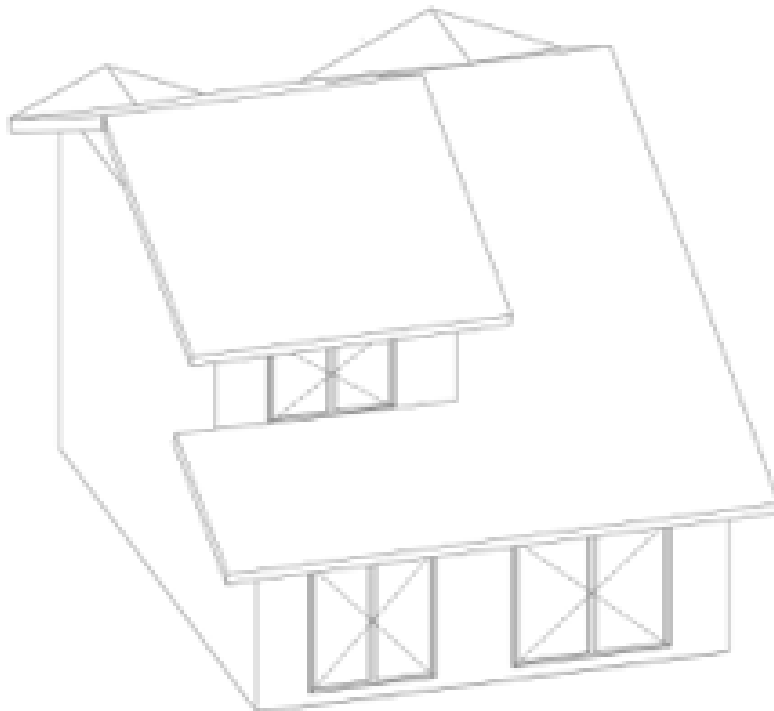
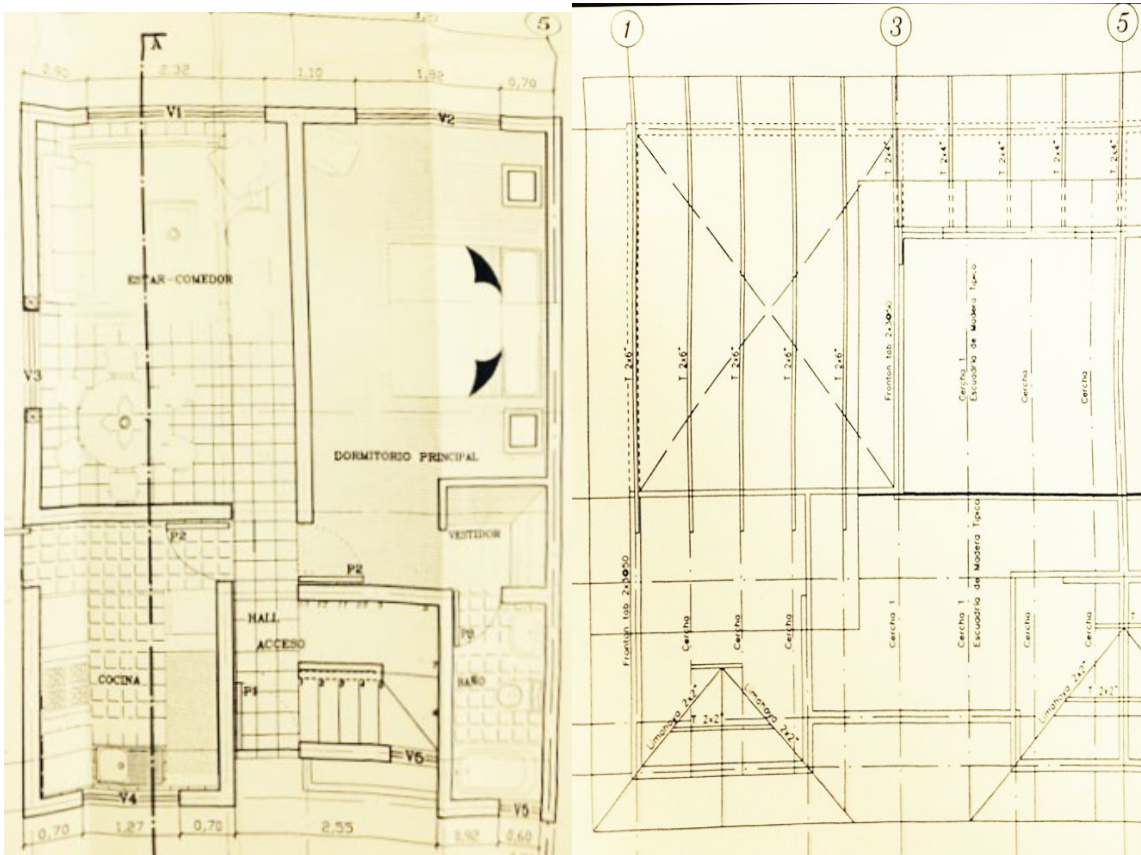


Figura 6.2: Vivienda *Modelo C* modificada (El autor)



En el *Capítulo 4* se describe el método de selección de caso, detectando un modelo que muestra relevantes posibilidades tanto para captación activa y pasiva conjuntamente, el *Modelo C*. Se ha considerado aspecto importante que la selección de caso provenga de uno existente en el conjunto de casas analizadas, para ser representativo de ellos,

entonces sea reflejo de las particularidades funcionales-arquitectónicas que actualmente funcionan en el mercado. Las características principales del modelo se señalaron en *Sección 4.3.4.1 (Fig. 4.7 y 4.8)*. Esta unidad en su diseño original posee en su costado posterior faldones con importante potencialidad de captación solar e importante incidencia de irradiación al interior en ambientes prioritarios. El modelo muestra alternativas de agrupamiento aislado, pareado o continuo (*Fig. 6.1*). Se estudia solamente esta unidad porque se considera que dentro de la tipología analizada, cumple las características adecuadas para una relevante capacidad de captación activa y pasiva conjuntamente, el estudio busca revelar la alta capacidad de desempeño teórico y la comparación de diversas alternativas tecnológicas.

No obstante se observa la necesidad de editar la volumetría general y la forma de techumbre concretamente, ya que originalmente existen dos segmentos de alas orientados coincidentemente y que sumados poseen una relevante superficie captadora, pero no están dispuestos en un solo nivel; en consecuencia se producen entre ellos inter-sombreados. Por esta razón se edita el modelo para lograr una configuración de casa y su techumbre para, con cambios menores, lograr una vivienda con un importante potencial solar pasivo y activo conjunto. Al editar el modelo con la creación de una habitación adicional, se logra un modelo con elevada incidencia de irradiación tanto en faldones potencialmente colectores como también al interior. Adicionalmente al dimensionar los aleros se regula el ingreso solar en invierno y se bloquea durante el verano. La distribución longitudinal de los espacios y vanos frontal-posterior en las dos plantas hace factible la ventilación cruzada. En consecuencia se logra una vivienda en dos plantas, con tres habitaciones, living y comedor con abundante soleamiento en temporada fría. El modelo de vivienda resultante se presenta en la *Figura 6.2*. Se configura además un modelo que ha pesar de la relevante superficie colectora posee una volumetría compacta, con baja relación de superficie envolvente frente a superficie construida que implica una reducción de demandas por factor forma (García Álvarado y González 2014).

El indicador de superficie de faldones captadores en relación con la superficie construida resultante es 0,81. Otros indicadores geométricos de la readaptación se señalan en la *Tabla 6.1*; también se realiza una comparación con los casos extremos según el potencial de captación activa máxima y mínima de las casa inmobiliarias recientes de Concepción.

Tabla 6.1: Producción versus demandas, márgenes de abastecimiento en energía y exergía según distintas tecnologías integradas en modelos A y B (El Autor).

Modelo	Unidades	m2 Construido	m2 Planta Baja	m2 Cubierta	m2 Ala mayor	Pendienteº	Superficie 2da ala mayor	Número de Alas	Ala Mayor m2/ construido	2da Ala Mayor m2/ construido
A	110	71,94	45,32	94,59	44,05	49,72 º	36,86	5	0,6123	0,51
B	70	78,95	35,32	82,44	26,01	AMD 40º; SAMD 27,2º	15,2	6	0,329	0,19
C	50*	98,9	60,6	98,9	79,2	AMD 24º; SAMD 62º	15,5	7**	0,801	0,16

* Cantidad de viviendas del modelo original. ** Este modelo posee dos faldones separados pero con una misma orientación y pendiente

631 1 Integración de medidas de eficiencia energética y recolección solar pasiva

Se procede a revisar la envolvente típica para proponer una alternativa con condiciones energéticas mejoradas. Para ello se establece un aislamiento equilibrado en cada una de las superficies componentes. En este sentido se despliega aislamiento con poli-estireno expandido en cada uno de los muros exteriores; se disponen, además, carpinterías de ventanas con vidrio cámara, aislamiento con poli-estireno de alta densidad bajo la placa de piso y lana de vidrio en el cielo del piso superior. En las tablas 6.2 y 6.3 se señala la materialidad, espesor y los parámetros de conductividad así como Valores U⁷ resultantes de las especificaciones de acuerdo con el criterio mencionado, determinados por software *Trnsys*[®] - *Trnbuild*[®] y *Ecodesigner*[®].

Tabla 6.2 : Especificaciones constructivas y valores de trasmittancia aproximados de *Modelo C* original (El Autor).

Elemento	Materialidad Espeso		Conductividad Kj/(hmK)	Calor Específico Kj/(Kgk)	Densidad Aparente Kg/(m ³)	Valor U W/m ² K
		(mm)				
MUROS Exteriores	Estucado de Yeso	3	5,0	1,01	2000,0	2,8
	Ladrillo Hueco	140	0,22	1,4	1400,0	
	Mortero de Cemento	3	5,0	1,01	2000,0	
PISO Planta Baja	Duela de Madera	20	0,47	2,5	650	1,0
	Losa de Concreto	100	5,86	0,92	1400	
ENTREPISO	Duela Madera	20	0,47	2,5	650	0,92
	Losa de Concreto	80	5,87	,92	2400	
	Yeso- Cartón	12	0,94	,84	700	
CIELO	Poliestireno Expandido	80	0,155		20	,53
	Yeso Cartón	12	0,94	,84	700	
TECHUMBRE	Zinc	,5	208	0,390	700	5,8

⁷ Transmittancia térmica que indica la capacidad de aislamiento de los materiales.

CAPÍTULO VI. INTEGRACIÓN CONJUNTA CAPTACIÓN PASIVA Y ACTIVA

CARPINTERIAS	Aluminio y vidrio simple					4,8
--------------	--------------------------	--	--	--	--	-----

Tabla 6.3: Especificaciones Constructivas y Valores de Trasmittancia de la Vivienda con medidas de eficiencia pasiva de aislamiento en envolvente (El Autor)

Elemento	Materialidad	Espesor	Conductividad	Calor Específico	Densidad Aparente	Valor U W/m²K
		(mm)	Kj/(hmK)	Kj/(Kgk)	Kg/(m3)	
MUROS Exteriores	Mortero de Cemento	15	5,0	1,0	2000,0	0,57
	Poliestireno Expansivo)	50	0,1	1,3	25,0	
	Ladrillo Hueco	140	2,6	1,0	1400,0	
	Mortero de Cemento	15	5,0	1,0	2000,0	
PISO Planta Baja	Duela de Madera	25	0,5	1,2	650	0,31
	Losa de Concreto	80	4,1	1	1400	
	Filtro aislamiento	1,2	0,61	1	1000	
	Poliestileno Alta Densidad	100	0,13	1,25	25	
ENTREPISO	Madera	25	0,5	1,2	650	1,6
	Losa de Concreto	80	4,1	1	1400	
	Yeso- Cartón	12	0,58	0,84	950	
CIELO	Fibra de Vidrio	112	0,14	0,84	12	0,31
	Filtro	1,2	0,61	1	1400	
	Yeso Cartón	12	0,58	0,84	950	
TECHUMBRE	PV	20	3,6	1	2000	2,92
	Terciado	39	0,51	1,2	650	
CARPINTERIAS	PVC y vidrio doble claro	14				3,21

En concordancia con precios referentes locales (CYPE Ingenieros 2015; MINVU-DITEC 2015), se puede establecer el costo aproximado de la implementación de mejoramiento en

la envolvente, se trata esencialmente a los rubros adicionales no considerados en la normativa: Poliestireno expandido en muros, carpinterías de ventanas en doble vidrio y poliestireno de alta densidad bajo radier de piso de vivienda, cuyos análisis se muestran en los siguientes análisis de precios unitarios desarrollados en la *Tabla 6.4*. Los bienes inmobiliarios en Chile se valorizan comercialmente en UF (Unidades de Fomento), se trata de una unidad financiera reajutable con la inflación y poder adquisitivo (Ministerio de Hacienda de Chile 1967). En esta unidad de precio, viviendas de similar dimensión y en la misma zona señalan un valor comercial de una casa con similares condiciones a la vivienda probeta, estando este en el orden de las 4.000 UF. Frente al costo de los aislamientos considerados, representa alrededor de 3,5 % del costo total de implementarse el aislamiento requerido.

Tabla 6.4: Estimación de costos de adopción de medidas de aislamientos a implementarse en la envolvente (El Autor)

Elemento envolvente	Cantidad	Unidad	Precio Unitario (Pesos)	Precio Total Pesos	Total UF a 14/10/2015	Total USD a 14/10/2015
Poliestireno Expandido en muro (CYPE Ingenieros, S.A.2015)	141,73	m2	\$ 9.276,27	\$ 1.314.725,75	51,72	\$ 1.933,96
Poliestireno de alta densidad bajo radier de piso (CYPE Ingenieros, S.A.2015)	62,32	m2	\$ 11.213,41	\$ 698.819,71	27,49	\$ 1.027,96
Carpinterías de ventanas en vidrio cámara (DITEC-MINVU, 2011)	22,38	m2	\$ 68.634,43	\$ 1.536.038,59	60,43	\$ 2.259,51
TOTAL MEDIDAS PASIVAS EN AISLAMIENTOS				\$ 3.549.584,05	139,64	\$ 5.221,44

6.3.1.1 Simulación de demandas térmicas para calefacción

El modelo de vivienda optimizado, se somete a simulación ambiental, para ello se utiliza parámetros climáticos locales de Meteonorm®. El simulador considera condiciones climáticas, térmicas, de irradiación solar (directa, difusa y albedo), vientos y condiciones locales al modelo analizado. Con base en ello las simulaciones muestran el desempeño energético interior, entregando demandas horarias en cada uno de los ambientes en los que se especifica abastecimiento para calefacción. Los espacios interiores que se consideran calefaccionados son: living-comedor, cocina y dormitorios. Las simulaciones de demandas para calefacción muestran un crecimiento en concordancia con el incremento en el desvío respecto del norte de la fachada apta para incidencia solar. Con la vivienda perfectamente orientada para captación pasiva, la demanda por m² es de 34,45 kWh en promedio al año. La máxima demanda se observa cuando la orientación de la vivienda posee un desvío máximo de 94 ° con un requerimiento de 41,91 kWh / m², en condiciones intermedias con desvíos de 19 ° y 55 ° se observa una demanda de 35,83 kWh / m² y 35,90 kWh / m² en promedio anual. En consecuencia, es apreciable una reducción de irradiación considerable cuando el desvío respecto del norte es importante, incrementándose la demanda térmica en un 21,7 %; no obstante con desvíos intermedios el incremento de esta

es relativamente menor (4,0 % y 4,2 %). Con estrategias pasivas se mide una reducción de demandas térmicas entre un 74 % para día promedio de junio y un 70 % en día promedio de mes interestacional, respecto de las demandas típicas consideradas previamente.

En cuanto a la demanda total por m², se considera una reducción de consumo eléctrico con implementación de equipamiento residencial de baja demanda, con el cual se alcanzaría un ahorro del 40 % (Cuchi, Díez y Orgaz 2002). En cuanto a demandas de ACS el requerimiento considerado es la demanda para cuatro personas. Se espera entonces una reducción de la demanda total residencial a un 66 % en junio y 59 % en mes interestacional respecto de las demandas típicas utilizadas en los dos casos analizados anteriormente en esta tesis.

Situaciones concretas de patrón de ocupación presentan escenarios variables diversos como una posible reducción de necesidad energética en los meses estivales por ausencia de usuarios en período de vacaciones. No obstante este estudio considera demandas eléctricas obtenidas desde encuesta de uso reales, las demandas para calefacción son nulas en época estival. Hay además situaciones que aunque habituales son difíciles de generalizar, como el caso de demanda de ACS en verano la cual en muchos casos es mínima por ausencia de usuarios, implicando un potencial desaprovechamiento de producción térmica que sin duda representa pérdida de eficiencia por falta de uso.

6.4 Simulación de vivienda energéticamente eficiente y con recolección solar activa y pasiva integradas

Se somete a análisis la capacidad dimensional-geométrica de los faldones de techumbre de la vivienda probeta editada para lograr una máxima ocupación de colectores. Se realiza el despliegue de distintas tecnologías considerando formato de placas regulares con el criterio de un máximo aprovisionamiento de las demandas propias en primera instancia, luego buscando una máxima generación de excedentes útiles para la red pública.

Los formatos y eficiencias de colectores son los mismos utilizados en etapa previa en estudio de casos en *Sección 5.4.2.1*. Es decir para placas PV el módulo dimensional es 1660 mm x 830 mm x 45 mm; la eficiencia eléctrica PV es de 12 % respecto a la irradiación disponible (considerando eficiencia promedio de 16 % y pérdidas esperadas de un 25 %) (Pelland y Poissant 2006). Para la recolección híbrida BIPVa, la producción térmica considerada es tres veces la producción eléctrica por eficiencia directa según lo estimado en estudios de referencia (Hachem 2012; Solarwall 2015); para eficiencia eléctrica con colector híbrido se considera un 8 % (Campos 2015) y el formato para colectores BISTw y BIPVTw es 1660 mm x 830 mm x 90 mm.

641 1 Integración de colectores BIPV

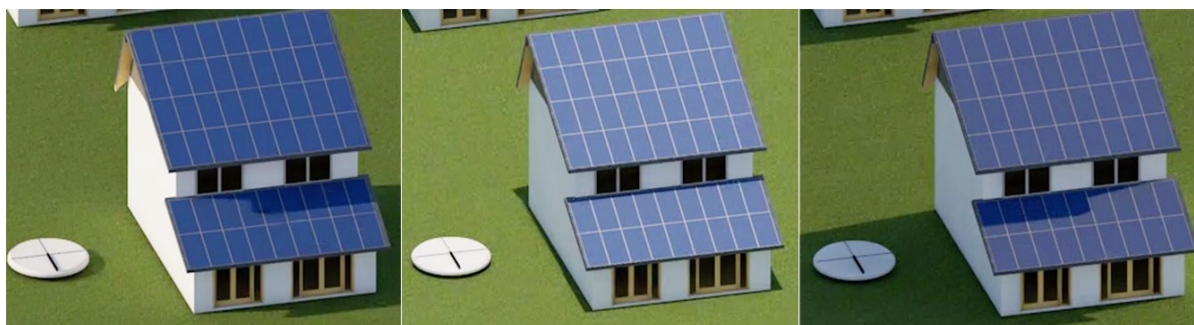
El despliegue de colectores BIPV se muestra en la *Figura 6.3*. El resultado de rendimiento energético se señala en la *Figura 6.5*. La capacidad geométrica de los faldones señala que es posible instalar 54 placas BIPV. Esto es una superficie absorbente solar neta de 70,2 m². Entonces la relación de superficie efectivamente captadora por superficie construida resultante es 0,71.

Figura 6.3: Despliegue de colectores BIPV en faldones de modelo propuesto (El autor).



Figura 6.4: Despliegue de colectores BIPV en faldones de modelo propuesta (El Autor).

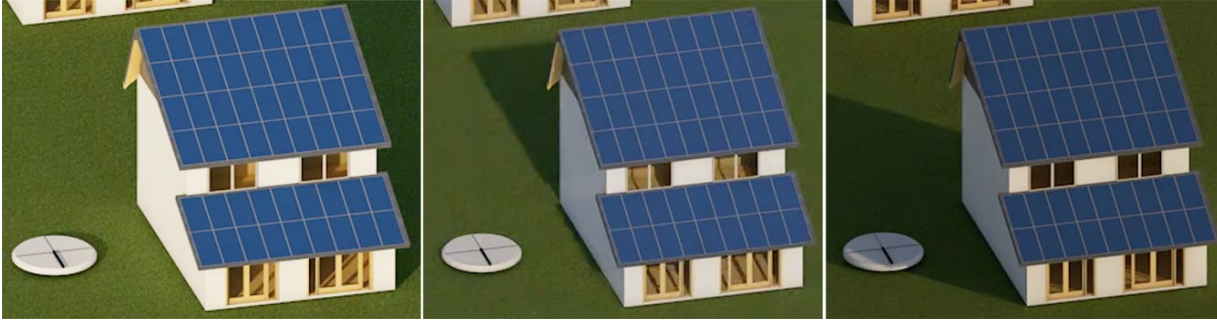
21 de diciembre.



21 de septiembre

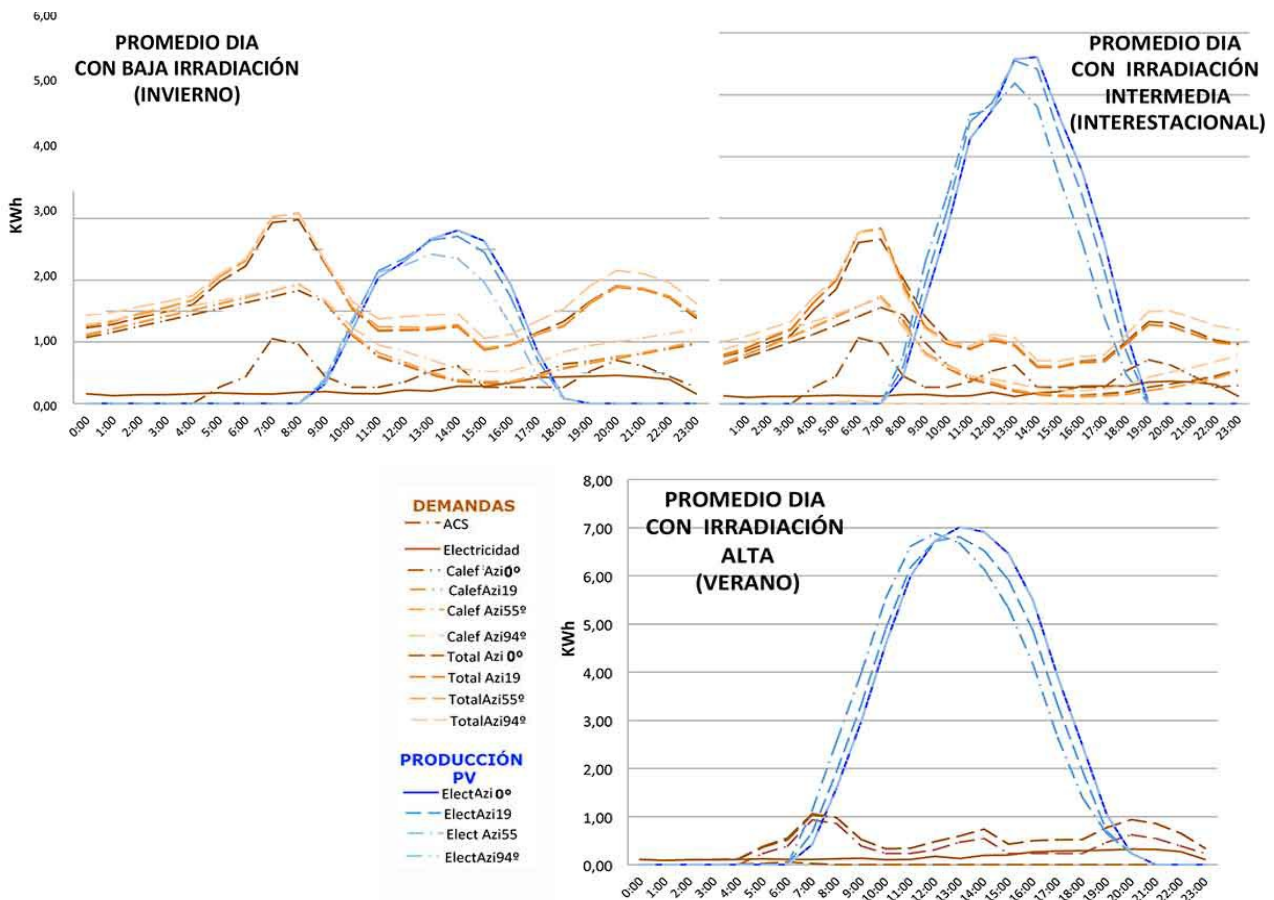


21 de junio



Adicionalmente se ejecuta un estudio de soleamiento y recorrido solar en la vivienda probeta considerando su localización en Concepción (*Figura 6.4*). El resultado es que durante el invierno y primavera no existe auto-bloqueo por sombra en ninguna hora del día. En día de verano se observa bloqueo en faldón inferior durante las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, lo cual influiría en una hilada de nueve colectores (que debería conectarse en serie individual), aunque esta reducción se da en menos de dos horas de la mañana y de la tarde, únicamente durante los días más largos del año. Finalmente dos casas de este mismo modelo con una separación de 12 m entre fachadas (delantera y posterior) se evita el inter-sombreado entre ellas en el mes crítico de junio y con 10 m el sombreado es mínimo solamente durante días de junio y julio.

Figura 6.5: Demanda energética y provisión eléctrica PV en *Modelo C* según distintas orientaciones (El Autor)



En cuanto a captación pasiva, la simulación muestra que el soleamiento alcanza una importante profundidad en las habitaciones durante junio y ésta se reduce en septiembre. Por el contrario, entre diciembre y enero se observa que se logra impedir por completo la incidencia solar, estrategia válida para evitar sobrecalentamiento en época calurosa.

En la primera simulación se compara la producción frente a demandas energéticas incorporando solamente captación BIPV. Para ello se realiza una estimación de producción eléctrica y conjuntamente la posibilidad de recuperación de calor a través del aire utilizado para la refrigeración de células. La estimación se efectúa comparativamente con las curvas de demandas detectadas y descritas en el apartado previo. La metodología implementada para estimación de demandas producción está descrita en la *Sección 4.3.4.3* de la presente tesis. El resultado se expresa en la *Figura 6.5*.

El estudio de desempeño durante días característicos estacionales muestra que se lograría abastecer con una buena orientación entre un 43,6 % en día promedio de invierno y 462,5 % de día promedio de verano, resultados que señalan una mejora de entre un 14 % y 239 % a la producción encontrada en el *Modelo A* provisto con la misma tecnología. Es decir, el incremento de desempeño está en el orden de entre dos y tres veces respecto a cuando no se consideran medidas de eficiencia energética. Frente a la demanda anual del *Modelo C* estimado en 8.154,5 kWh / año se produce en electricidad 14.148,9 kWh logrando en generación eléctrica un 173,5 % respecto a la demanda total anual. El excedente para la red urbana sería entonces 5.994,4 kWh por año. Considerando un alcance promedio de un auto eléctrico de 6 Km / kWh (Consejería de Hacienda de Madrid 2012). Son excedentes que potencialmente permitirían un recorrido vehicular de 36.000 km, distancia que en teoría pueden responder para sobrellevar más del doble de la demanda típica de recorrido de un auto familiar promedio que se ha estimado en 14.600 km al año (40 km diario) (Samweber, Fischhaber y Nobis 2015). No obstante es necesario señalar que los excedentes están concentrados en época y días de alta irradiación. Adicionalmente se supone una alternativa adecuada el utilizar vehículos eléctricos como opción para almacenamiento energético y una posibilidad para estabilizar la red en caso de excesos (Hand, Kelly y Samuel 2014; Samweber, Fischhaber y Nobis 2015).

Con una alta desviación de fachada y de faldones captadores (94 °), la demanda de la vivienda se incrementa anualmente a 8.893,8 kWh al año, mientras la generación PV se reduce a 12.109,8 kWh. A pesar de la inadecuada orientación, aún se trata de vivienda *Plus-Energy*, aunque implica una reducción de excedentes a 3.216 kWh al año. Los excedentes útiles para alimentación de vehículo eléctrico alcanzan en este caso para recorrer algo más de 19.000 Km, es decir, aún sobre el promedio de requerimiento de recorrido familiar.

En cuanto al balance de producción y demanda frente a distintas orientaciones, si la vivienda encara la fachada captadora hacia el oriente, la incidencia solar a baja altura en

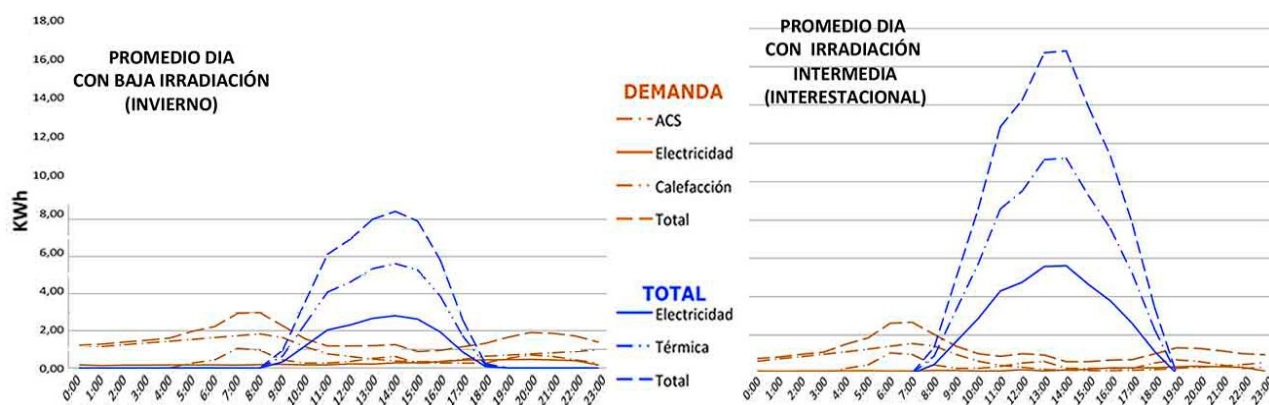
las mañanas de meses fríos, contribuye a disminuir la demanda térmica; en cuanto a la captación activa durante el mes de máxima irradiación, la producción diaria no se ve afectada incluso con desviación de 94 °, ello como consecuencia del amanecer temprano que provoca varias horas de irradiación y una buena captación con el sol a menor altura de la mañana. Contrariamente la desviación de orientación de fachada captadora al poniente no es tan adecuada porque no contribuye con la captación pasiva en horas tempranas cuando existe una máxima demanda. Por el desvío en orientación la producción anual se reduce hasta en un 4 %, como consecuencia de la poca pendiente de faldones captadores que supone menor pérdida de incidencia solar.

En los casos analizados *Modelo C*, y previamente *A* y *B*, el resultado aspectual es sustancial, en especial por tratarse de colectores placa plana que conllevan su apariencia característica, claramente visible por tratarse de techumbre inclinadas a una altura de alrededor de 6 m, la apreciación estética profunda es susceptible de discusión, aunque los colectores para integración arquitectónica consideran aspectos de uniformidad cromática tanto de la zona absorbente, como de los bastidores de separación o de traslape así como los remates del contorno, etc. En *A* y *B* bajo el criterio de llevar funcionalidad dual, se cumple las solicitudes de recubrimiento y captación simultánea, se trataría efectivamente de integración arquitectónica; en tanto al aspecto de que la captación solar activa fue una directriz en el diseño, sería discutible, ya que los colectores se adaptaron a un diseño en el que originalmente no se toma en cuenta la recolección solar. Contrariamente el *Modelo C*, no solamente los colectores desempeñan el papel de cubrición y captación, sino el diseño es forzado para priorizar tanto captación pasiva y maximizar la captación activa, en consecuencia, estamos frente a un caso en que se trata de integración arquitectónica bajo ambos postulados teóricos.

6.4.1.1 *Análisis de producción posible con integración de tecnologías BIPV y BIPVTa conjuntamente*

Luego se analiza la posibilidad de implementar la recuperación de calor en aire con tecnología híbrida BIPVTa para abastecimiento térmico y eléctrico. Para ello se supone la instalación y rendimientos descritos en detalle en el apartado 2.5.2.2 de la mencionada tecnología. Los colectores híbridos se prevén instalarse solamente en el faldón superior, ya que con la utilización de la energía térmica captada solamente en esta sección se cubre ampliamente la demanda, no obstante la ventilación de celdas PV debería implementarse en ambos faldones (Buker y Riffat 2015). En la *Figura 6.6* se muestran las curvas de abastecimiento frente a demanda de días promedio de meses con mínima irradiación y mes interestacional. No se grafica la recolección térmica durante día promedio de mes con alta irradiación, porque normalmente no existen demandas para calefacción en esta temporada, aunque existe la posibilidad de contribución en alguna medida para ACS, como se señaló anteriormente.

Figura 6.6: Demanda-provisión térmica y eléctrica con tecnología híbrida BIPVTa en probeta de *Modelo C* (El Autor)



Durante el día promedio del mes con mínima presencia de irradiación la producción eléctrica BIPV supera la demanda eléctrica en tres veces; la producción solamente térmica prácticamente coincide con la demanda térmica. Finalmente la producción térmica-eléctrica conjunta es un 131 % respecto a la demanda total. En consecuencia, es posible afirmar que con este tipo de instalación se logra una vivienda *Plus-Energy* incluso en día promedio de temporada con baja irradiación. Aunque es necesario precisar que en días nublados y fríos extremos no se llegan a cubrir las demandas, siendo necesario entonces aprovisionamiento de red pública. Adicionalmente se requiere adecuar la vivienda para almacenar y distribuir los excedentes de calor para su utilización nocturna y horas de demanda (factible con masa térmica por ejemplo) y prever control de evacuación de excedentes para evitar un potencial sobrecalentamiento.

6.2 2 Análisis de producción posible con integración conjunta de tecnologías BIST w más BIPV.

Se procede a realizar el estudio de integrar colectores BIPV y BISTw. Al igual que en *Modelos A y B*, la eficiencia de placas BISTw es tomada de colectores *Wunder CLS 1808 Solimpeks®* la cual es $\eta_0 = 0,763$, coeficiente de pérdida térmica $a_0 = 3,514 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ y una superficie absorbente de $1,23 \text{ m}^2$ por placa. Se dimensiona la cantidad de colectores con las características mencionadas evitando excedentes térmicos, con lo que el limitante es el abastecimiento máximo en días de verano para ACS. Por la baja pendiente de faldón con dos placas se logra la condición mencionada, en consecuencia queda espacio para 52 placas BIPV. El resultado de la instalación descrita se observa en *Figura 6.7*, en la imagen se aprecia que en la hilada superior las placas térmicas al poseer una apariencia en concordancia cromática y de formato respecto del aspecto de los colectores PV, supone que en apariencia general no sean especialmente notorios, aunque son visibles las franjas laterales requeridas para conexión de tuberías, las cuales pueden ser mimetizadas con consideraciones cromáticas en las tapajuntas.

Figura 6.7: Instalación de tecnologías BIPV + BISTw en probeta de *Modelo C* (El Autor)

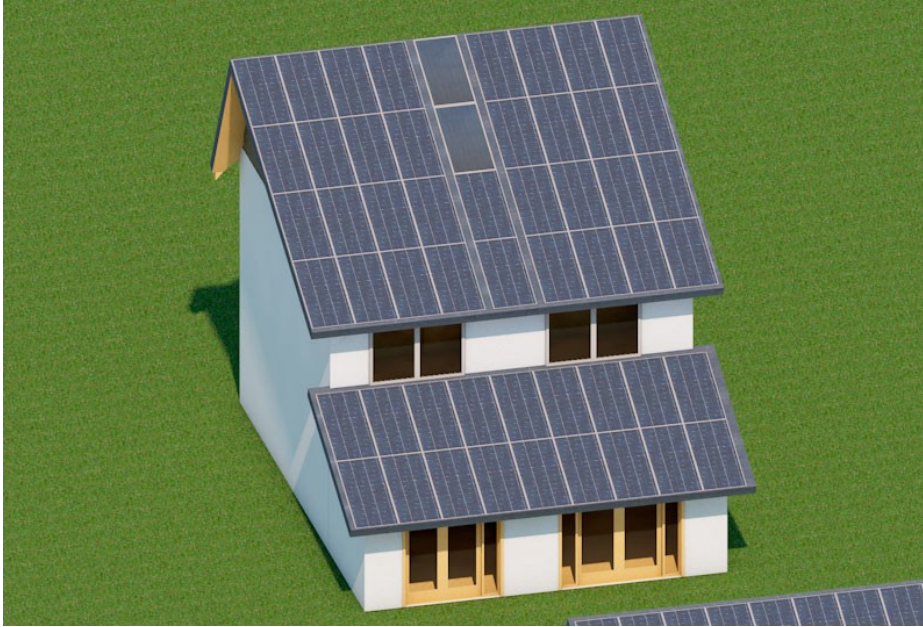
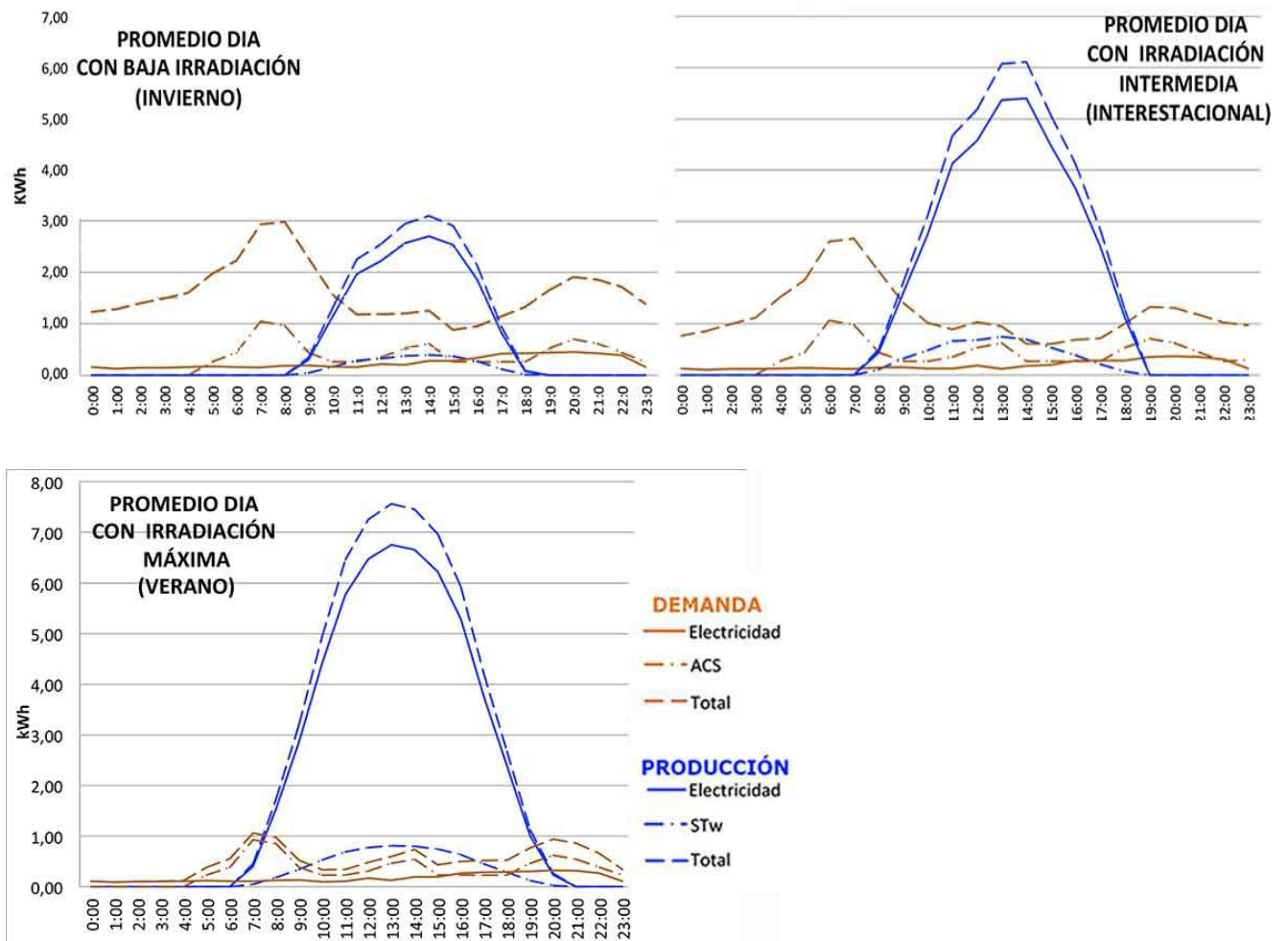


Figura 6.8: Comparación Producción demanda instalación BIPV+BISTw (El Autor)



A pesar de tratarse de una vivienda de mayor dimensión respecto de los casos registrados previamente en 4.3.3 (26 % más superficie), las demandas son menores (59 % en invierno, 50 % en día interestacional, similares en verano), como consecuencia de las medidas

pasivas (aislación y captación directa). Al compararse solamente con el *Modelo A*, los resultados de captación activa muestran que los márgenes de abastecimiento se duplican en día promedio de diciembre (498,7 % frente a 250,2 %), es 3,6 veces superior en día promedio de septiembre (139,8 % frente a 48,9 %) y es 2,8 veces superior en junio (48,1 % frente a 17,5 % de abastecimiento).

En balance anual, considerando una demanda simulada total de 8.154,5 kWh y una producción térmica y eléctrica de 15.361 kWh, se observa una relación producción-demanda de 188,4 %. Los excedentes eléctricos causarían la circulación de un vehículo eléctrico promedio para un recorrido de 43.000 km durante un año (*Fig. 6.8*).

3 Análisis de producción con adopción de tecnologías BIPV, BIPVT w y BIPVT a

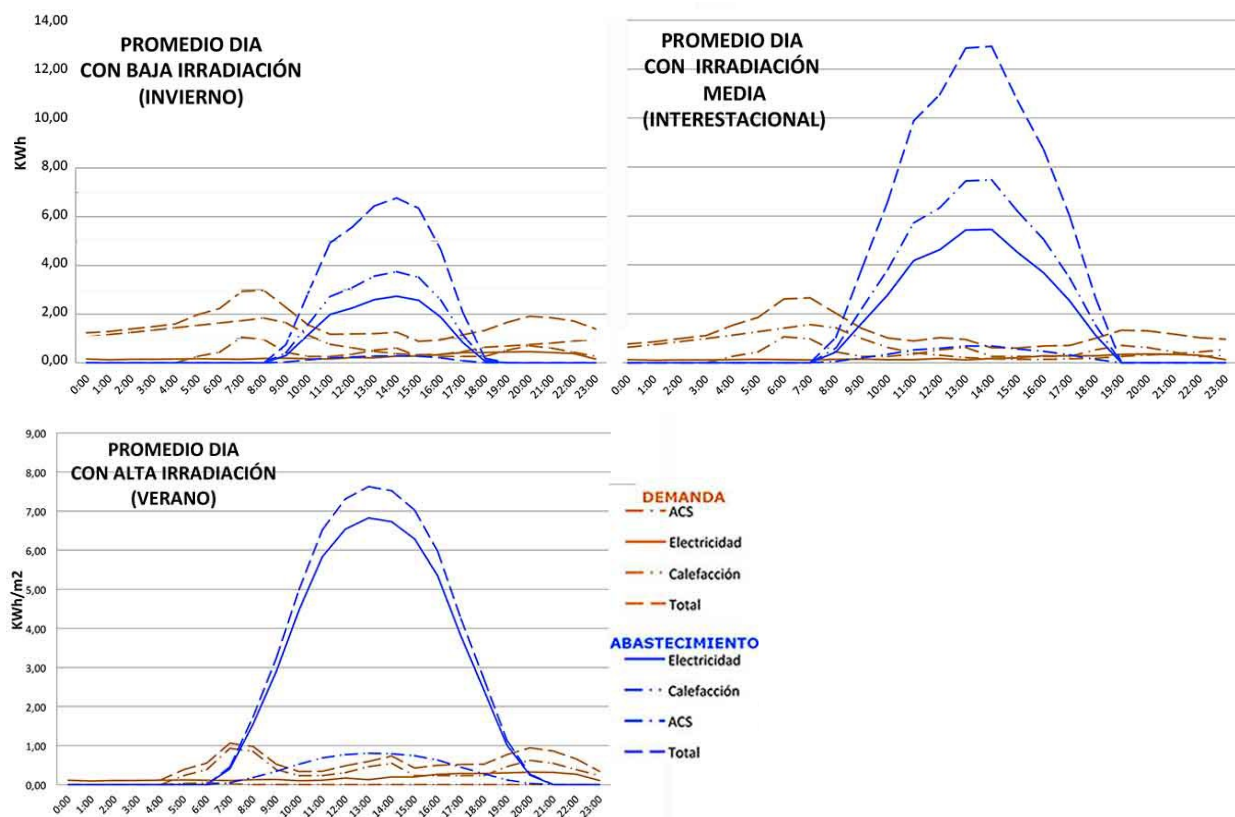
Figura 6.9: Instalación de tecnologías híbridas conjuntas BIPVTa más BIPVTw complementado con BIPV en *Modelo C* (El Autor)



Una última instancia analizada es la conjunción de recolección con tecnologías BIPVTw para abastecer electricidad y ACS, además integrando colectores BIPVTa para abastecer electricidad conjuntamente con calefacción y BIPV en superficie de faldón remanente para alimentar eléctricamente a la ciudad. Se trata de una opción compleja evidentemente pero supone estudiar una alternativa en que destinando porciones de techumbre es factible suplir las demandas totales con una máxima exportación posible (*Fig. 6.9*). Como consecuencia de la forma y dimensión de los faldones y considerando la necesaria conexión en serie tanto eléctrica como de red hidráulica en los colectores BIPVTw, resulta en la instalación de cuatro placas (Las hileras existentes en el modelo son de 4 y 9 placas). No obstante por condiciones de eficiencia y evasión de sobreproducción es posible la instalación hasta de cinco placas híbridas, aunque con cuatro se abastece un margen

superior al 50 % de la demanda anual de ACS y entra en el rango considerable bajo la legislación actual para subsidio en integración arquitectónica. Al ocupar la superficie restante del faldón superior como captadora BIPVTa, la producción térmica logra cubrir la demanda para calefacción promedio de día con inferior irradiación. El faldón inferior se considera solamente una producción eléctrica BIPV, porque con recolección térmica en éste se obtendría únicamente excedentes innecesarios en la mayor parte del tiempo. No obstante, como se ha señalado anteriormente, es adecuada la refrigeración de las celdas siempre, aunque la temperatura no sea útil (Jelle 2016). Los resultados de balance energético se muestran en la *Figura 6.10*.

Figura 6.10: Comparación de producción y demanda de instalación conjunta de tecnologías BIPVTa + BIPVTw más BIPV (El Autor)

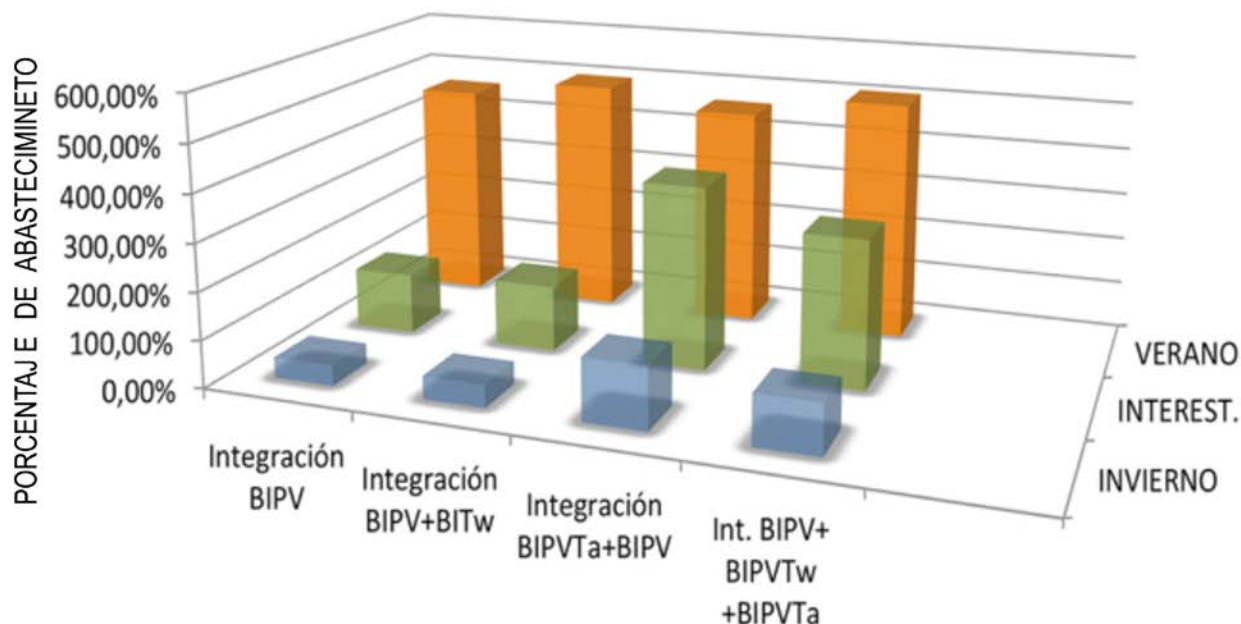


Bajo este supuesto se logra teóricamente abastecer el 119 % de la demanda promedio en junio y los excedentes eléctricos llegan a superar hasta en cinco veces la demanda total durante el mencionado mes. La producción es doce veces la demanda eléctrica de día promedio de diciembre. La producción anual se puede estimar con menos exactitud, como sucede siempre que se prevé recolección con aire (parte tendrá que evacuarse, sobre todo en días inter-estacionales). Por ejemplo bajo la suposición de que la producción térmica captada entre el 1 de junio y 21 de septiembre con recolección BIPVTa sea de utilidad por completo, la energía útil disponible anual estará en torno a 20.447,1 kWh. Se alcanza a abastecer la demanda en un 250,7 %. Al destinarse el excedente eléctrico PV a mover un auto, alcanzaría para 73.000 Km en un año.

6.5 Comparación de los casos analizados en rendimientos respecto de proporción de demanda satisfecha

El rendimiento de las cuatro opciones analizadas durante días característicos representativos estacionales se presenta comparativamente en *Cuadro 7.2.1.21*. Para una representación concluyente se resume un gráfico-resumen que muestra la proporción de demanda cubierta. La comparación señala una superioridad notoria de las combinaciones en los que se incluyen colectores híbridos con fluido aire, incrementando el abastecimiento alcanzado en gran medida durante los meses fríos. Sin embargo es preciso señalar que para lograrlo es necesario alcanzar el aprovechamiento térmico teórico señalado por los referentes, para lo cual es importante estudio a detalle y desarrollo concreto de la tecnología, estableciendo velocidades adecuadas de aire refrigerante para la irradiación de Concepción, aplicabilidad de intercambiador de calor, almacenamiento en masa térmica, etc. No obstante muestra una gran potencialidad en relación con otras localidades. La proporción de abastecimiento se empareja en buena medida en meses de alta irradiación entre las distintas tecnologías, con superávit de entre un 400 % y 500 %. Por último se muestra que la opción con menos rendimiento es siempre la utilización de fotovoltaicos solamente (*Fig. 6.11*).

Figura 6.11: Comparación de proporción de demanda satisfecha con distintas combinaciones de tecnologías integradas en *Modelo C*, representado en días característicos estacionales (El Autor).



6.6 Implicaciones constructivas y expresivas

Esta investigación muestra relevantes capacidades de potencial energético, pero el desarrollo constructivo tiene que resolverse. Las opciones para integración arquitectónica son diversas. Entre los productos existentes en el mercado internacional que podrían

potencialmente integrarse a las viviendas, por forma, tecnología y posibilidad de instalación, se encuentran varias posibilidades. Diversos productos para integración arquitectónica han sido recopilados en los *Anexos* de este trabajo, entre ellos existen algunas posibilidades de aplicación dispuestas de modo similar a las planteadas; no obstante, cada marca posee diferentes formas de integración y variedad de formatos. A continuación se señalan productos que por condiciones técnicas poseen en alguna medida la capacidad de integración en concordancia con los planteamientos realizados. Para tecnología BISTw, los colectores térmicos que podrían adaptarse se listan en los Anexos con los números: 8, 9, 10 y 15; para tecnología BIPV son: 18, 21, 24, 25, 30, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46 y 47; para tecnología BIPVTw: 53, 54 y 55; por último los colectores BIPVTa: 50, 51 y 52. No obstante existen otros que mencionan capacidades aprovechables, aquellos con ventilación posterior, de lo cual se deduce la posibilidad de recuperar calor aunque no está especificado esta la capacidad en las especificaciones del producto la posibilidad de recolección BIPVTa, estamos hablando de los productos 38, 39, 42 y 46. Entre todos ellos, no se detectaron algunos con la facultad de poder ser integrados entre sí en asociación de distintas tecnologías; alguna fábrica como Solimpeks® elabora colectores de tecnologías BISTw y BIPVTw, no obstante estas placas no poseen la facultad de desplegarse conjuntamente entre si. De ello se deduce que falta el desarrollo de productos con la aptitud de interacción entre distintas tecnologías, que es justamente un aspecto relevante que toca esta tesis y que se propone debería desarrollarse a futuro.

En cuanto a implicaciones expresivas, el hecho de implementar células PV o colectores térmicos denota que ellos serán visibles en las techumbres, por lo general se trata de edificaciones de baja altura. Entonces cromáticamente el color oscuro mate sería la textura característica de las celdas y del conjunto, apariencia característica de las celdas de sílice mono y poli-cristalinas. En este capítulo se muestran algunas imágenes virtuales de posibles aspectos finales (*Figuras 6.3, 6.4, 6.7 y 6.9*). El integrar colectores térmicos, híbridos y fotovoltaicos conjuntamente implica una compaginación formal que puede conllevar un aspecto uniforme de desarrollarse los productos con este criterio; los remates de techumbre en sectores en que no están presentes las placas o celdas pueden terminarse con un acabado concordante, compaginando en aspecto de forma coherente. No obstante, como se mencionó en capítulos anteriores, en techumbres con forma regular paralelepípeda resultan con mayor posibilidad en una adecuada concordancia formal con colectores de forma regular rectangular.

7. Capítulo VII. CONCLUSIONES.

Esta tesis dimensiona la capacidad de los emprendimientos inmobiliarios de casas para producir energía conjuntamente. Luego se identifica la irradiación colectable analizando casos concretos que reflejan condiciones promedio, así como situaciones extremas, detectando las implicancias de diversos aspectos de volumetría consecuente del diseño frente a capacidades tecnológicas de recolección solar activa. Para ello se realiza un relevamiento geométrico y medición de capacidad existente a través de fotografías aéreas, datos municipales de los proyectos aprobados, demandas residenciales típicas desde simulaciones, encuestas y requerimientos habituales por habitante. Se detectan posibilidades de obtención energética desde diversas tecnologías de recolección solar activa con la opción de integrarse en faldones inclinados, a partir de indicadores geométricos obtenidos estadísticamente. Posteriormente se encuentra la capacidad de desplegar colectores a través de estudio de capacidad geométrica y sus implicancias. Las simulaciones se ejecutan con herramientas de arquitectura, modelos matemáticos, simulador ambiental y de irradiación. Finalmente se plantea una alternativa de alta capacidad de producción energética integrando medidas de eficiencia energética conjuntamente con recolección solar pasiva y activa.

7.1 Conclusiones Específicas

A partir de cada uno de los objetivos específicos puntualizados en la *Sección 1.3.3* se establecen las siguientes conclusiones:

- Se descifran múltiples indicadores de representatividad característicos de viviendas, tanto de demandas energéticas como de habitabilidad y condiciones geométricas típicas. Se establece que la proporción de casas en conjuntos corresponde a la gran mayoría de casas nuevas. La geometría de techumbres denota que algo más de la tercera parte de superficie total de faldones posee en promedio un potencial para ser captador, considerando tanto disposición solar adecuada como amplitud; además se mide la existencia de una tercera parte de superficie potencialmente recolectora por superficie habitable. Aunque frente a una extensión horizontal de ciudad la proporción es de solamente una décima parte de superficie de techumbre colectora en relación con la superficie urbana ocupada por la propia vivienda, considerando todas las áreas exteriores públicas y privadas. Adicionalmente se detecta una importante dispersión entre indicadores de capacidad de potencial y captación por modelo de casa, que van desde 0,6 m² hasta 0,2 m² de superficie captadora por m² construido, variación que es consecuencia del diseño de techumbre en buena medida. Todas las casas poseen cubiertas inclinadas y variabilidad en el número de alas de cubierta hasta doce facetas, aunque la media está entre cinco y seis. La menor cantidad de faldones conduce a superficies más extensas, con mejor potencial; contradictoriamente a ello

se determina que en casas más grandes las particiones de techumbre se incrementan y se reduce el potencial por m² habitable. Curiosamente no se encuentran casas de una planta, existen pocas unidades de tres y la gran mayoría son de dos pisos. Finalmente, frente al crecimiento en extensión de la ciudad no se puede precisar la proporcionalidad de expansión exacta, al no darse esta solamente en los bordes; no obstante, al comparar fotografías aéreas en que se marcan los crecimientos de conjuntos es evidente su relevancia (*Fig. 5.1*).

- La irradiación incidente en indicadores promedio de dimensión de faldón captador adecuadamente dispuesto al sol, supera entre tres y diez veces la demanda requerida por m² construido, lo cual señala que con tecnologías adecuadas con alta eficiencia para conversión y gestión a energía útil, se puede suplir las demandas incluso con excedentes. Existe una sustancial asimetría temporal, ya que las altas demandas se dan cuando la irradiación es escasa; así los casos extremos muestran que con tecnología PV se alcanza a solventar la décima parte en mes de mínima irradiación, opuestamente se cubre casi cinco veces la demanda en mes o día de alta irradiación. Por ello es imprescindible diferir y trasladar temporalmente la energía para suplir adecuada y controladamente las demandas típicas acortando la brecha.

Respecto de la incidencia de orientación, se observa que con un desvío de más de 45 ° en día de verano no existe merma significativa en irradiación en faldón con inclinación promedio, aunque sí varía la hora del día con mayor productividad; contrariamente en invierno esta reducción sí es relevante y puede llegar a reducir a la mitad la capacidad. Este dato es importante frente a demandas y tipo de captación, ya que cuando es prioritario el abastecimiento con recolección térmica en invierno es importante que no exista desvío sustancial respecto del norte; pero cuando se requiere abastecer demandas principalmente eléctricas en balance anual y con producción de venta de excedentes en verano, existe más tolerancia a desviaciones mayores, incluso es una alternativa ventajosa si se requiere aumentar la producción a determinadas horas por existencia de mayor demanda o por costo de compra a la red.

En cuanto a inclinación de captadores, es apreciable una fuerte disminución debido a pendiente de colectores a partir de la orientación óptima, aunque también a través de esta condición es factible promover una captación más importante durante épocas específicas del año. Así, cuando existe una pendiente pronunciada, en verano la radiación captada es reducida y con pendientes leves o cercana a horizontal, inclusive durante el invierno, la captación se ve sustancialmente afectada; contrariamente con un recorrido solar a baja altura, el hecho de desplegar colectores pronunciadamente inclinados coadyuva a mejorar el aprovisionamiento incrementando la producción térmica para resolver las demandas residenciales.

También es dependiente de la tecnología y demandas a resolver, para abastecer la captación de calefacción, tanto para sistemas con fluido líquido como de aire es importante una mayor inclinación respecto a la latitud (50°); para producción eléctrica anual máxima es recomendable alrededor de 25° (10° menos que la pendiente). No obstante esto no es una camisa de fuerza, variaciones de inclinación menores no implican pérdidas importantes, sí suponen potenciar la recolección en distintas estaciones.

Al dimensionarse globalmente la irradiación disponible en el conjunto total de viviendas se demuestra que en promedio existe un posible abastecimiento de dos veces y media en electricidad con tecnología PV, pero frente a las altas demandas térmicas se alcanza a abastecer algo más de la tercera parte solamente. Adicionalmente se encuentra una producción significativa térmica y eléctrica conjunta al integrar tecnología BIPVTa, lográndose con la electricidad producida abastecer dos veces y media la demanda eléctrica anual pero superando apenas la tercera parte de la demanda energética total. Pero al considerar la recuperación térmica solar se alcanza las tres cuartas partes de la demanda total, dimensión que sugiere la importante potencialidad de esta tecnología, a pesar de ser útil la recolección térmica durante los seis meses de menor irradiación. Para un adecuado aprovechamiento de la energía captada es necesario el traslado energético desde la captación diurna a utilización nocturna, especialmente durante meses inter-estacionales.

- En cuanto a consecuencias aspectuales de los techos sumado a consideraciones de diseño y constructivas, se comparan dos modelos programáticamente similares, pero con desempeño distinto en capacidad por forma y dimensión de faldones. Al desplegarse en ellos placas térmicas, eléctricas e híbridas de formato comercial y también en combinaciones entre ellas, el caso con mayor potencial llega a contener entre cuatro y cinco veces más cantidad de colectores. En el modelo de alta capacidad la producción se aproxima a la mitad de la demanda anual con solo instalación fotovoltaica. Al combinar fotovoltaicos con térmicos y con híbridos (fluido líquido) conjuntamente, se observa que la producción global es sustancial generando excedentes eléctricos importantes de hasta cinco veces la demanda, ya que las necesidades térmicas son en buena medida abastecidas por la recolección térmica, energía potencialmente útil para contribuir con la red durante un día promedio de mes de verano. Al incluir colectores BIPVTw en la totalidad de superficie de faldón, la producción es superior a la demanda residencial en balance anual, pero los excedentes térmicos de verano no alcanzan para cumplir con las demandas residenciales típicas, pudiendo ser utilizables por ejemplo para calentamiento de una piscina, por ello, no puede considerarse que se trata de una vivienda *Net-Zero*. Mientras en el *Modelo B* se observa abastecimiento entre una quinta parte de la demanda total con instalación fotovoltaica a algo más de la

tercera parte de la demanda con solo recolección BIPVTa. El *Modelo A* posee una superficie captadora tres veces superior pero logra abastecer entre cuatro y cinco veces más por regularidad y configuración de ala recolectora. En exergía en tanto se equiparan en buena medida los rendimientos totales y anuales al comparar solamente el rendimiento tecnológico, lo que deja en desventaja a los colectores BIPTw por el alto costo. En cuanto a las características y condiciones de diseño solamente, se observa que en el caso con superior potencial existen costados o frente de vivienda extensos y la disposición general en planta es más bien longitudinal, lo cual conlleva en consecuencia a una proporción alargada de casa y con quiebres mínimos en los costados, siendo esta una condición que tiende a provocar faldones con buena aptitud geométrica, con forma regular y superficie amplia. Adicionalmente, al dimensionar el posible abastecimiento con solamente colectores térmicos integrados en vivienda MINVU para cubrir demandas de ACS y calefacción, se establece que se requieren entre 4 m² y 6 m² de captación, más allá de ello se genera sobreproducción que se torna ineficiente, lo cual permite inferir que exceder esta superficie implica ineficiencia al superar las demandas residenciales. Complementariamente se diseña un proceso proyectual con herramienta de arquitectura y desde etapas tempranas de proyecto para integrar colectores térmicos.

- Por último se procede a editar levemente uno de los modelos existente en los emprendimientos seleccionado a partir de la capacidad de integrar conjuntamente captación pasiva y activa con medidas de eficiencia energética. Se logra un modelo con relevante potencial energético, muy superior a los casos previamente analizados y dentro de los paradigmas de diseño habituales. Se logra una vivienda que sirve para alimentarse y alimentar energéticamente en gran medida a la ciudad en balance anual. Con esta alternativa se estima la factibilidad de lograr un 170 % de la demanda residencial con el despliegue de tecnología BIPV. Se supera en dos y media veces las demandas totales al combinar tecnologías BIPV + BIPVTa + BIPTw trabajando en conjunto. Se logra y por lejos viviendas *Plus-Energy* con excedentes importantes, los cuales, al compararse con capacidad de alimentar vehículos eléctricos con los excedentes, se prevé superar entre un 50 % hasta en 550 % las demandas, dependiendo de las tecnologías aplicadas.

Solamente en verano los excedentes eléctricos superan hasta en doce veces la demanda eléctrica, situación en la cual una casa de estas características cumple la función de “pulmón energético” de la ciudad. La producción estival puede compaginarse adecuadamente con la reducción natural de producción de las hidroeléctricas, debido al estiaje típico de verano. Arquitectónicamente además resulta en vivienda con ingreso solar importante que permite colaborar térmicamente, reduciendo la calefacción y logrando una importante incidencia de luz natural.

7.2 Conclusiones Generales

El primer aspecto que se constata es que el crecimiento residencial de Concepción se concentra mayoritariamente en grandes conjuntos inmobiliarios de viviendas unifamiliares, lo que parece similar a otras ciudades metropolitanas de Latinoamérica con progresiones socio-económicas equivalentes y sugiere una importante tendencia urbana hacia el desarrollo horizontal, una preferencia social por las residencias independientes y una capacidad constructiva en serie. Al medirse estadísticamente el potencial solar del conjunto, se refleja una producción eléctrica que en la mayoría de los casos supera y excede considerablemente las demandas eléctricas con sobrantes, inclusive durante meses de baja irradiación. Pero frente a las demandas totales residenciales, incluida calefacción, se alcanza en promedio la tercera parte. También es notable el desbalance entre producción y demanda en los meses extremos de alta irradiación frente a aquellos de baja irradiación, consecuencia principalmente del alto requerimiento para calefacción y en segunda instancia por la baja producción solar. Ello permite concluir la necesaria adopción de medidas pasivas conjuntas, además de la implementación de sistemas de traslado temporal energético entre momentos de producción y demanda como redes y almacenamientos, siendo el almacenamiento prolongado la principal barrera actualmente para alcanzar a cubrir en forma total las demandas desde recolección solar activa.

Al analizar las implicancias geométricas de la configuración de superficie y forma de faldones en dos casos considerados de mayor e inferior potencial, como consecuencia de diseño y número de faldones, un modelo posee tres veces más superficie captadora respecto al segundo. Pero como resultado exclusivamente de la forma de faldón captador, el número de placas admisibles y capacidad de generación energética es hasta cinco veces superior. En este mismo análisis se refleja que con una disposición de vivienda con un costado más extendido y evitando retranqueos bajo faldones, se tiende a provocar superficies con mejor amplitud y aptitud. Ello implica que una techumbre poco particionada de forma regular con costados paralelos, con proporciones longitudinales y con una adecuada orientación es apta para una vivienda con considerable potencial solar.

Al comparar tecnologías BISTw, BIPV y BIPVTw y sus combinaciones, aquellas que proporcionan abastecimiento térmico poseen mejor desempeño, aunque en exergía se equiparan los rendimientos. Finalmente la tecnología BIPVTa presenta un potencial muy alto y superior a los otros analizados, no obstante está supeditado por la capacidad de utilización real de la recuperación térmica que requiere ser gestionada efectivamente, siendo el almacenamiento de temperatura desde aire una situación que implica potenciales pérdidas que reducirían la capacidad teórica aquí planteada. Como tipología pueden lograrse modelos de alta capacidad, con posibilidad de lograr importantes excedentes que contribuirían a satisfacer demandas urbanas, produciendo hasta dos veces y media la energía requerida.

Se propone entonces un proceso novedoso compuesto por sub-metodologías que permite interrelacionar tecnologías solares, geometría de techumbres, demandas residenciales, denotando además la necesidad de adopción de medidas pasivas.

7.3 Discusión

No es adecuado el establecer relaciones entre los resultados concretos de esta investigación con los de otros estudios referentes, ya que los datos de irradiación, clima y demandas varían sustancialmente entre localidades y con ello los balances que se puedan obtener. No obstante esta investigación se fundamenta en gran medida en rendimientos tecnológicos de referencias previas. La novedad de concatenar forma de techumbre con tecnologías y demandas, hasta donde se ha podido determinar, es particular de este trabajo.

Si bien se caracteriza la tipología constructiva estudiada con datos estadísticos de fuentes ciertas, estos desarrollos inmobiliarios no consideran en su avance criterios de aprovisionamiento solar desde recolección activa. Por lo tanto, si bien se logra reflejar un potencial de las geometrías existentes, es lógico suponer que en emprendimientos que sí se desarrollen con este criterio, el potencial recolector será lógicamente superior.

En cuanto a diseño de viviendas se refleja que el potencial solar en techumbres es intrínseco, incluso en modelos poco aptos existe alguna capacidad. No obstante el diseñar con un relevante potencial solar puede implicar una barrera, se trataría de una condicionante proyectual adicional. Indudablemente el diseño arquitectónico es conducido por otras prioridades acaso más importantes como habitabilidad, funcionamiento, accesibilidad, relaciones, etc. Aunque no cabe duda, el asunto energético cada vez adquiere mayor protagonismo.

Frente al precepto general de que la orientación, tamaño o inclinación del techo y faldón captador son los aspectos que determinan al potencial solar, se establece además que la forma de los faldones también son aspectos importantes que pueden condicionar en gran medida la capacidad. Las diversas particularidades de tecnologías existentes, productos y demandas son una barrera para sugerir lineamientos absolutos para el diseño de viviendas y sus techumbres. Se ha dejado claro que la buena orientación e inclinación son recomendables pero admite desviaciones importantes reduciéndose pero no de forma prohibitiva el desempeño térmico o eléctrico, incluso son estratégicos para maximizar la producción en distintos horarios y temporadas. Medidas de eficiencia energética son prioritarias. La regularidad de los techos y ortogonalidad de los costados es importante, en segunda instancia el considerar la modulación de los colectores también es adecuado. Más allá de ello las decisiones deben ser relativas para cada caso concreto.

En cuanto a la característica urbana, los emprendimientos creados para maximizar la recolección solar priorizan trazado, disposición, distanciamientos, orientaciones, etc. Aspectos necesarios a ser analizados en cuanto a posibles implicancias en el contexto de estudio. Los aspectos urbanísticos también están condicionados por prioridades diversas. Sin embargo la importancia de la accesibilidad solar es un aspecto que debe garantizarse más allá de la integración de sistemas solares activos. Este estudio concluye que la localización de faldón recolector no está restringido a un costado (frente, posterior o lateral) lo cual sería muy restrictivo urbanísticamente; el faldón colector puede direccionarse en cualquiera de los costados (y de hecho actualmente están así), más bien condicionado por inclinación, diseño de techumbre y selección de tecnologías.

Los resultados nos permiten afirmar que es posible encontrar un punto de equilibrio que defina las proporciones adecuadas incluso óptimas entre las zonas de baja y alta densidad en la ciudad. Este punto de equilibrio se encontraría en donde la demanda de energía de las zonas de alta densidad es adecuadamente cubierta por los excedentes de producción de energía de las zonas de baja densidad. De este modo cada ciudad podrá encontrar la ecuación morfológica adecuada entre ambas formas de ocupación del territorio y definir así la extensión de crecimiento en baja densidad y el nivel de densificación que asegure su sustentabilidad energética.

Por último, se detecta una barrera instrumental entre la disciplina arquitectónica, su método proyectual y la consideración de sistemas solares. No obstante se vislumbra ya la aparición de herramientas para arquitectos que hacen factible la consideración de las tecnologías solares durante etapas tempranas del proyecto. Mientras los arquitectos ignoren la disponibilidad tecnológica y los productos no muestren opciones de adecuarse a los requerimientos arquitectónicos, difícilmente éstos serán considerados.

7.4 Trabajo Futuro

El estudio confirma la necesidad de entender la ciudad como un sistema de producción y consumo de energía integrado y que compromete la planificación y estrategia de desarrollo de ella. En efecto, pareciera que para evolucionar hacia un sistema de auto-alimentación energética en la ciudad, es necesario reconocer las ventajas de captación energética del modelo de crecimiento en extensión y por ende, de densidad baja. Este es un modelo muy demandante de suelo, característico de las ciudades latinoamericanas y que desde el urbanismo ha sido reiteradamente cuestionado por su ineficiencia funcional y altos costos ambientales. Sin embargo su potencial morfológico resulta positivo bajo el esquema propuesto de captación energética, resultando en zonas proveedoras de aquellas zonas urbanas que presentan mayor demanda y que por su alta densidad presentan por lo general dificultad de producir la energía que necesitan. Desde otra mirada, el modelo de ciudad compacta y de alta densidad y en la cual se reconocen grandes beneficios ambientales, podría cubrir sus necesidades energéticas y mejorar la sustentabilidad,

siempre que pueda importar energía desde otras zonas de la ciudad, como por ejemplo, desde las zonas de baja densidad. Bajo estas consideraciones es necesario detectar las ventajas frente a desventajas de la compacidad frente a la dispersión desde el punto de vista energético y aprovechamiento solar, frente a crecimiento de la demanda; potencial variable sin duda de acuerdo a las condiciones locales, de lo que es factible proponer un modelo de medición y balance.

A partir de demandas típicas y simulaciones con métodos estáticos se han estimado desempeños probables. De las tecnologías estudiadas, solamente la recolección térmica con fluido líquido se ha difundido hasta la fecha en Chile, normalmente para contribución a demanda de ACS solamente. En cuanto a fotovoltaicos, una instalación residencial que supera las cuatro o cinco placas con eficiencia promedio sobrepasaría reiteradamente las demandas con emisión de excedentes durante gran parte del año en balance mensual, ello implica excedentes vendibles a un valor fraccionario respecto del valor de compra de la propia energía, sin duda una barrera para ser un verdadero incentivo el alimentar la red desde edificaciones bajo la legislación actual.

Para este estudio se han adoptado eficiencias posibles promedio tomadas en otros contextos, tratándose por lo tanto de análisis preliminares en varios sentidos para ser contrastados. Los resultados brindan supuestos preliminares, que deben comprobarse en condiciones locales y complementarse quizá con otras posibilidades tecnológicas. Es necesario tener en cuenta que los datos son promedio tanto climáticos como de consumo, pueden variar radicalmente en casos puntuales, incluso en viviendas de un mismo modelo. Un trabajo posterior con simulaciones dinámicas detalladas con productos específicos, de casos concretos con usuarios con costumbres específicas es necesario. También son pertinentes las validaciones y mediciones de las tecnologías solares en función del clima de Concepción.

La integración arquitectónica es otro aspecto que se tiene que desarrollar, normalmente se ha observado que una proliferación de la tecnología resulta en la promoción y desarrollo cuando la propia arquitectura exige respuestas coherentes con sus requerimientos. Están en surgimiento diversos productos para integrar arquitectónicamente, pero muy recientes e innovadores. Varios ejemplos han sido catalogados en los *Anexos* de esta investigación. Cada producto muestra exigencias estructurales para lograr una instalación adecuada. Considerando la tipología residencial se observa estructuras de madera y más recientemente de acero galvanizado, con separación de apoyos en concordancia respecto a revestimiento de cubierta de entre 50 cm y 90 cm. Esta es una separación habitual que se observa en la mayoría de productos para integración señalados en los *Anexos* de esta tesis. Aunque es evidente que un rigor en la modulación se torna prioritario. No obstante la variedad de tipos de productos para integración no permite a priori generalizar aspectos absolutos constructivos, ya que cada producto exige distintos requerimientos constructivos puntuales.

En cuanto a costos, diversos estudios se han desarrollado en varios contextos con distintas tecnologías, precios, escenarios, etc. Mientras más reciente la tendencia es reflejar mejores escenarios de amortización. Análisis en este sentido en Concepción encuentran que los colectores térmicos son rentables (aunque como inversión inicial elevada), para la tecnología PV se prevé que dentro de los próximos veinte años lo serán y para tecnología BIPVTw no se vislumbra posibilidad aún por el elevado costo, pero las investigaciones de desempeño reciente y el posible desarrollo y proliferación de esta tecnología mejoraría su perspectiva. Las sociedades que han logrado generalizar las energías renovables se han iniciado con importantes políticas de subsidio.

Como corolario, este es un trabajo inicial que pretende impulsar posibilidades de investigación más concretas por los resultados que se han logrado pre-dimensionar. Un enorme potencial ha sido detectado. Pero a partir de rendimientos teóricos de investigaciones externas en diferentes contextos. Los resultados son un impulso para investigación futura en modelado detallado debe ser realizado, un análisis de ingeniería especializada eléctrica y térmica para lograr presiones más detalladas, adicionalmente es necesario creación de incentivos económicos y políticos para promoción inicial. Enfáticamente para concretar y viabilizar la aplicación real de integración de energía solar se hace necesario profundizar, normar y/o legislar en varios aspectos. En el ámbito legal: Una nueva reglamentación que viabilice la producción de excedentes para alimentación de red pública y normativas urbanas que garanticen la accesibilidad solar. Constructivamente sería importante el normar con mayor rigurosidad aislamientos y nivel de infiltraciones, de lo contrario la obtención de energía renovable ve eclipsado su potencial. Urbanísticamente es necesario el trasladar la capacidad de recolección solar en casas desplegadas en lotes típicos de conjuntos buscando mejor orientación y a partir de ello prever si representa una ventaja el disponer las viviendas en balance general; así también es necesario profundizar en aspectos como inter-sombreados, la influencia y normativa de implantación de vegetación e instalaciones aéreas, eventualmente topografía, etc. En cuanto a proceso de diseño es necesario profundizar en aspectos que posibiliten la consideración de energías renovables integradas durante etapas tempranas de proyecto y que sean manejables fácilmente sin representar una barrera proyectual o una excesiva extensión en el trabajo cotidiano. Tecnológicamente es necesario revisar el desempeño concreto de los colectores en el ámbito climático y niveles de irradiación, demandas y temperaturas de fluidos de Concepción, ya que los análisis realizados se adoptan desde supuestos sobre rendimientos extrapolados de otras locaciones. En lo constructivo, se determina la adaptabilidad de las tecnologías planteadas, precisando posibilidades de importación o fabricación de productos para integración arquitectónica, para, a partir de ello, desarrollar sistemas constructivos que viabilicen efectivamente la integración arquitectónica de las placas solares.

REFERENCIAS.

- AEMET 2015. Datos Clomatológicos de España. [en línea]. [Consulta: 29 diciembre 2015]. Disponible en: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos>.
- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL 2014. Seminario intervenciones urbanas con energía solar fotovoltaica. . Buenos Aires:
- AGRAWAL, B. y TIWARI, G.N. 2010. Optimizing the energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions. *Applied Energy* [en línea], vol. 87, no. 2, pp. 417-426. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2009.06.011. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.011>.
- ALAMY 2015. Impact 2000 House. [en línea]. [Consulta: 22 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.alamy.com/stock-photo-pv-house-the-boston-edison-impact-2000-home-incorporated-a-4-kwp-utility-84599920.html>.
- AMBIENTE CONSULTORES, PRIEN y MINVU 2007. Programa de Inversión Pública para Fomentar el Reacondicionamiento Térmico del Parque Construido de Viviendas. . Snatiago:
- ARAYA-MUÑOZ, D., CARVAJAL, D., SÁEZ-CARREÑO, A., BENSALD, S. y SOTO-MÁRQUEZ, E. 2013. Assessing the solar potential of roofs in Valparaíso (Chile). *Energy and Buildings*, vol. 69, pp. 62-73. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2013.10.014.
- ARDITI, C., CARRASCO, G., JIRÓN, P. y SEPÚLVEDA, R. 2003. Gestión de Suelo Urbano y Vivienda Social. [en línea], pp. 1-68. Disponible en: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/instituto_de_la_vivienda/a20045181012gestiondesuelo.pdf.
- ASTEA, N., DEL PEROA, C. y LEONFORTEA, F. 2012. Optimization of solar thermal fraction in PVT systems. *Energy Procedia* [en línea], vol. 30, pp. 8-18. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2012.11.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.003>.
- ATHIENITIS, A. y O'BRIEN, W. 2015. *Modeling, Design, and Optimization of Net-Zero Energy Buildings*. 1. Montreal: s.n. ISBN 978-3-433-03083-7.
- ATHIENITIS, A.K. 1993. A methodology for integrated building— HVAC system thermal analysis. *Building and Environment* [en línea], vol. 28, no. 4, pp. 483-496. ISSN 03601323. DOI 10.1016/0360-1323(93)90025-X. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/036013239390025X>.
- ATHIENITIS, A.K. 2007. DESIGN OF A SOLAR HOME WITH BIPV-THERMAL SYSTEM AND GROUND SOURCE HEAT PUMP Andreas K . Athienitis. . Calgary: 2nd Canadian Solar Buildings Conference. June 10-14, 2007-, pp. 1-9.
- ATHIENITIS, A.K., BAMBARA, J., ONEILL, B. y FAILLE, J. 2011. A prototype photovoltaic/thermal system integrated with transpired collector. *Solar Energy* [en línea], vol. 117, no. 1, pp. 403-410. ISSN 00012505. DOI 10.1016/j.solener.2010.10.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.10.008>.
- ATTIA, S. y DE HERDE, A. 2010. Sizing Photovoltaic Systems during Early Design: A Decision Tool for Architects Title. *SOLAR 2010 Conference Proceedings*. S.I.: opyright 2010, American Solar Energy Society first published in the SOLAR 2010 Conference Proceedings, pp. 1-5.
- BAMBROOK, S.M. y SPROUL, A.B. 2010. Experimental PVT Air System for Residential Dwellings. *Solar2010, the 48th AuSES Annual Conference*. Camberra: s.n., pp. 1-11.
- BASNET, A. 2012. *Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings*. S.I.: Norwegian University of Science and Technology.
- BERGAMASCO, L. y ASINARI, P. 2011. Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Further improvements by ortho-image analysis and application to Turin (Italy). *Solar Energy* [en línea], vol. 85, no. 11, pp. 2741-2756. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2011.08.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2011.08.010>.
- BESSER, D., RODRIGUES, L. y BOBADILLA, A. 2012. New Chilean Building Regulations and Energy Efficient Housing in Disaster Zones The thermal performance of prefabricated timber-frame dwellings. *PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*, no. November.
- BOUGIATIOTI, F. y MICHAEL, A. 2015. The architectural integration of active solar systems. Building applications in the Eastern Mediterranean region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en

[línea], vol. 47, pp. 966-982. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2015.03.030. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115001835>.

BRADFORD, T. 2006. *Solar Revolution: The Economic Transformation of the Global Energy Industry* [en línea]. S.l.: The MIT Press. MIT Press Books. Disponible en: <http://ideas.repec.org/b/mtp/titles/026202604x.html>.

BUKER, M.S. y RIFFAT, S.B. 2015. Building integrated solar thermal collectors – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 51, pp. 327-346. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2015.06.009. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115005791>.

BUSTAMANTE, W., HURTADO, A., ENCINAS, F., MARTÍNEZ, P. y BRAHM, M. 2009. *Guía de Diseño para eficiencia energética en vivienda social*. Santiago de Chile: s.n.

CÁCERES, G., NASIROV, S., ZHANG, H. y ARAYA-LETELIER, G. 2014. Residential Solar PV Planning in Santiago, Chile: Incorporating the PM10 Parameter. *Sustainability* [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 422-440. ISSN 2071-1050. DOI 10.3390/su7010422. Disponible en: <http://www.mdpi.com/2071-1050/7/1/422/>.

CAMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN 2014. Balance de la Vivienda en Chile. [en línea]. Santiago de Chile: Disponible en: <http://www.cchc.cl/uploads/archivos/archivos/Balance-de-la-Vivienda-2014.pdf>.

CAMPOS, P. 2015. *Evaluación técnico-económico de alternativas de generación energética in situ en viviendas en Concepción*. S.l.: Universidad de Concepción.

CÁRDENAS, L. y URIBE, P. 2012. Acceso solar a las edificaciones: El eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual. *Revista de Urbanismo*, vol. 26, pp. 21-42.

CDT 2007. *Sistemas Solares Térmicos* [en línea]. S.l.: Corporación de Desarrollo Tecnológico. ISBN 9789567911097. Disponible en: <http://informatica.cdt.cl/documentos/publicaciones/index.php?opcion=publicaciones>.

CDT 2010a. Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile. . Santiago de Chile:

CDT 2010b. *Sistemas Solares Térmicos II. Guía de diseño e instalación para grandes sistemas de agua caliente sanitaria*. Santiago de Chile: MINENERGIA / GEF / PNUD / CDT, 2010. ISBN 9789567469253.

CDT 2014. *Diseño y Funcionamiento de Sistamas Solares Fotovoltaicos*. Santiago de Chile: s.n. ISBN 978-956-7911-27-1.

CELIS, F., GARCIA, R., TREBILCOCK, M., ESCORCIA, O. y DIAZ, M. 2012. Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquiteturarevista*, vol. 8, pp. 62-75. ISSN 18085741. DOI 10.4013/arq.2012.81.07.

CENTRO DE ENERGÍAS RENOVABLES 2014. Renewable Energy in Chile Moving towards a clean, economical & secure energy matrix. [en línea]. S.l.: Disponible en: http://cer.gob.cl/archivos/2014/febrero/Investors_jan2014.pdf.

CHARRON, R. y ATHIENITIS, A. 2006. Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes (AE). *ASHRAE Transaction*, vol. 112, pp. 285-296.

CHOW, T.T. 2010. A review on photovoltaic / thermal hybrid solar technology. *Applied Energy* [en línea], vol. 87, no. 2, pp. 365-379. ISSN 0306-2619. DOI 10.1016/j.apenergy.2009.06.037. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.037>.

CITEC UBB y DECON UC 2012. *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos*. S.l.: s.n. ISBN 9789568070045.

CLAVADTSCHER, L. y IEA & PVPS 2004. Country reports on pv system performance. [en línea]. Disponible en: http://www.iea-pvps.org/index.php?id=9&elD=dam_frontend_push&docID=197.

CLIMATE DATA ORG 2015. CLIMA: ATENAS. [en línea]. [Consulta: 20 abril 2015]. Disponible en: <http://es.climate-data.org/location/7/>.

CNE, PNUD y UTFSM 2008. *IRRADIANCIA SOLAR EN TERRITORIOS*. Santiago de Chile: s.n.

CON*FIN RESEARCH GROUP 2015. Evaluación del Potencial Solar de Áreas Urbanas. 2015 [en línea]. Disponible en: <http://ubiobio.cl/confin/#>.

CONSERJERIA DE HACIENDA DE MADRID, 2012. *Guía del Vehículo Eléctrico* [en línea]. 2012. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.cleanvehicle.eu/fileadmin/downloads/Spain/Guida del vehiculo Electrico.pdf>.

- CONSTRUCCIONES RPM 2013. Conjunto Alto de la Moya 1. [en línea]. [Consulta: 25 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.rpm.com.ec/work-view/altos-de-la-moya-i/>.
- COVENTRY, J.S. y LOVEGROVE, K. 2003. electrical and thermal output from a domestic PV / thermal system. *Solar Energy*, vol. 75, pp. 63-72. DOI 10.1016 / S0038-092X(03)00231-7.
- CRISTOFARI, C., NOTTON, G. y CANALETTI, J.L. 2009. Thermal behavior of a copolymer PV/Th solar system in low flow rate conditions. *Solar Energy* [en línea], vol. 83, no. 8, pp. 1123-1138. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2009.01.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2009.01.008>.
- CROXFORD, B. y SCOTT, K. 2002. Can PV or Solar Thermal Systems Be Cost Effective Ways of Reducing CO2 Emissions For Residential Buildings? *Carbon*, no. 4.
- CUCHI, A., DÍEZ, G. y ORGAZ, C. 2002. *La Cubierta Captadora en los Edificios de Viviendas*. 1. Barcelona: INSTITUT TECNOLOGIA CONSTRUCCIO. ISBN 9788478534364.
- CUEVAS, C., 2015. *Resumen F-Chart*. 2015. Concepción: s.n.
- CYPE INGENIEROS 2014. Generador de Precios en Chile. [en línea]. [Consulta: 25 abril 2015]. Disponible en: [http://www.chile.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=2_0_1_2_3|0_0_0_0_0_0_0_0|2|ICB007|icb_007:c17_0](http://www.chile.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=2_0_1_2_3|0_0_0_0_0_0|2|ICB007|icb_007:c17_0).
- CYPE INGENIEROS, S.A. 2015. Generador de Precios. Chile. [en línea]. [Consulta: 15 octubre 2015]. Disponible en: http://www.chile.generadordeprecios.info/obra_nueva/Aislamientos_e_imprimaciones/Aislamientos/Suelos_flotantes/NAL060_Aislamiento_de_suelos_flotantes_con.html.
- D LITTLE, A. 1995. Building- Integrated Photovoltaics and US Market. [en línea]. Massachusetts: Disponible en: http://webapp1.dlib.indiana.edu/virtual_disk_library/index.cgi/4298428/FID2471/m95004055.pdf.
- D'ORAZIO, M., DI PERNA, C. y DI GIUSEPPE, E. 2013. Performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean Climate. *Energy Procedia* [en línea], vol. 42, pp. 183-192. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2013.11.018. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2013.11.018>.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT AND PLANNING. 2008. Housing Development Data. [en línea]. Disponible en: <http://www.dtpli.vic.gov.au/planning/plans-and-policies/housing-and-residential-development/housing-development-data>.
- DIRECCIÓN DE OBRAS MUNICIPALES DE CONCEPCIÓN 2014. Sistema e Catastro Municipal Electrónico. [en línea]. [Consulta: 24 octubre 2015]. Disponible en: http://200.68.12.118/SigDom_comps/SigDom.phtml.
- DIRECCIÓN DE OBRAS MUNICIPALES y MUNICIPALIDAD DE CONCEPCIÓN 2015. Sistema de Visualización Geográfica. .
- DONOSO, N. 2009. *Análisis Técnico Económico en Mejoras de Eficiencia Energética para Viviendas de precio entre 1000 y 3000 UF* [en línea]. S.l.: Universidad de Chile. Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/cf-donoso_nr/pdfAmont/cf-donoso_nr.pdf.
- ERCAN ATAER, O. 2006. Storage of Thermal Energy. *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)* [en línea]. Oxford: Eolss Publishers, Disponible en: <http://www.eolss.net>.
- ERC 2010. RE-thinking 2050: a 100% renewable energy vision for the European Union. [en línea]. Bruselas: Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Re-Thinking+2050++A+100%+Renewable+Energy+Vision+for+the+European+Union#0>.
- ESCORCIA, O., GARCÍA, R., TREBILCOCK, M., CELIS, F. y BRUSCATO, U. 2012. Mejoramientos de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile. *Informes de la Construcción*, vol. 64, no. 000, pp. 563-574. ISSN 0020-0883. DOI 10.3989/ic.11.143.
- FELDMAN, D., BARBOSE, G., JAMES, T., WEAVER, S., FU, R. y DAVIDSON, C. 2014. Photovoltaic System Pricing Trends 2014 Edition. [en línea], Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/62558.pdf>.
- FISSORE, A. 2009. La realidad energética en el sector residencial de la Región del Bío-Bío. . Concepción:
- FUNDACIÓN CHILE, EMPRESAS ELÉCTRICAS AG FUNDACIÓN AVINA, FUNDACIÓN FUTURO LATINOAMERICANO y UNIVERSIDAD ALBERTO HURTADO 2013. Escenarios Energéticos Chile 2030: Visiones y temas clave para la matriz eléctrica. [en línea]. S.l.: Disponible en: http://escenariosenergeticos.cl/wp-content/uploads/Escenarios_Energeticos_2013.pdf.

- GAJBERT, H. 2008. *Solar thermal energy systems for building integration*. S.l.: Lund University.
- GANEM, C., BALTER, J. y COCH, H. 2009. Superficies Expuestas a La Radiación Y Sombras Arrojadadas En La Ciudad. En: UPC (ed.), *S'CTV Barcelona* [en línea]. Barcelona: s.n., pp. 427-440. Disponible en: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11581/03_PROCEEDINGS_M3_10_0014.pdf.
- GARCÍA ÁLVARADO, R. y GONZÁLEZ, A. 2014. Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro - sur de Chile 1 Form conditions and energy performance of single - family housing in Central - South Chile 1. *Revista INVI* [en línea], vol. 29, no. 80, pp. 111-141. Disponible en: <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/790/1126>.
- GARCÍA ÁLVARADO, R., MUÑOZ, C., WANDERSLEBEN, G. y ZALAMEA, E. 2015. Creatividad Sustentable: Simulación Ambiental en el Diseño Inicial de Viviendas. En: UNIVERSIDAD MINHO (ed.), *EURO-Elecs Conference. Connecting People & Ideas*. Guimaraes: s.n.,
- GARCÍA, R., WEGERTSEDER, P., BAERISWYL, S. y TREBILCOCK, M. 2014. Mapa Energético-Solar de Concepción: Cartografía Urbana del Consumo Energético y Captación Solar en Edificaciones Residenciales de Concepción, Chile 1. *Norte Grande*, vol. 59, pp. 123-144.
- GRAPHISOFT@ 2014. Archicad 18. [en línea]. [Consulta: 5 abril 2015]. Disponible en: http://www.graphisoft.com/archicad/ecodesigner_star/.
- GUPTA, A., CEMESOVA, A., HOPFE, C.J., REZGUI, Y. y SWEET, T. 2014. A conceptual framework to support solar PV simulation using an open-BIM data exchange standard. *Automation in Construction* [en línea], vol. 37, pp. 166-181. ISSN 09265805. DOI 10.1016/j.autcon.2013.10.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.005>.
- HABERL, J.S. y CHO, S. 2014. Energy Systems. *Working Group III - Mitigation of Climate Change*, no. August, pp. 139.
- HACHEM, C. 2012. *Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods*. S.l.: Concordia University.
- HACHEM, C., ATHIENITIS, A. y FAZIO, P. 2011. Parametric investigation of geometric form effects on solar potential of housing units. *Solar Energy*, vol. 85, no. 9, pp. 1864-1877. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2011.04.027.
- HÄKKINEN, T. 2014. Sustainable Building and Construction. *VTT Research Center from Finland* [en línea]. [Consulta: 31 marzo 2015]. Disponible en: http://www.rakennustieto.fi/channels/public/www/rane/material/attachments/5oJ5FjIGF/5xDib83oW/Sustainable_building_and_bim_T_Hakkinen.pdf.
- HAND, J., KELLY, N. y SAMUEL, A. 2014. Modelling the impact of integrated electric vehicle charging and domestic heating strategies on future energy demands domestic heating strategies on future energy demands. *9th International Conference on System Simulation in Buildings* [en línea]. Liege: s.n., pp. p26. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/270793797_Modelling_the_impact_of_integrated_electric_vehicle_charging_and_domestic_heating_strategies_on_future_energy_demands.
- HASTINGS, S.R. y WALL, M. 2007. *Sustainable Solar Housing: Volume 2 - Exemplary Buildings and Technologies*. London & Sterling VA: Earthscan. ISBN 9781844073252.
- HATT, T., SAELZER, G., HEMPEL, R. y GERBER, A. 2012. Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar « Passivhaus » en. [en línea], pp. 123-134. Disponible en: <http://www.scielo.cl/pdf/rconst/v11n2/art11.pdf>.
- HAUGHEY, R. 2005. *Higher-Density Development: Myth and Fact*. S.l.: s.n. ISBN 0874209412.
- HAURANT, P., MÉNÉZO, C. y DUPEYRAT, P. 2014. The PHOTOTHERM Project: Full Scale Experimentation and Modelling of a Photovoltaic – Thermal (PV-T) Hybrid System for Domestic Hot Water Applications. *Energy Procedia* [en línea], vol. 48, pp. 581-587. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2014.02.068. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214003300>.
- HENRÍQUEZ, C. 2014. *Modelando el Crecimiento de Ciudades Medias*. Universida. Santiago de Chile: s.n. ISBN 978-956-14-1470-9.
- HOME_POWER 2004. Saving with Solar Pool Heating. *Home Power #99 • February / March 2004* [en línea]. Disponible en: <http://www.homepower.com/articles/solar-water-heating/domestic-hot-water/saving-solar-pool-heating/page/0/1>.
- HONG, S.H., GILBERTSON, J., ORESZCZYN, T., GREEN, G. y RIDLEY, I. 2009. A field study of thermal comfort in low-income dwellings in England before and after energy efficient refurbishment. *Building and Environment*, vol. 44, no. 6, pp. 1228-1236. ISSN 03601323. DOI

10.1016/j.buildenv.2008.09.003.

HORVAT, M. y DUBOIS, M.C. 2012. Tools and methods for solar design - An overview of IEA SHC Task 41, Subtask B. *Energy Procedia* [en línea], vol. 30, pp. 1120-1130. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2012.11.125. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.125>.

HOWLETT, A. 2010. Britain's first solar panel uncovered after 60 years... and it still works. . London, 8 abril 2010.

HUSSAIN, F., OTHMAN, M.Y.H., SOPIAN, K., YATIM, B., RUSLAN, H. y OTHMAN, H. 2013. Design development and performance evaluation of photovoltaic/thermal (PV/T) air base solar collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 25, pp. 431-441. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2013.04.014. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.04.014>.

ICAX 2007. Pitched Roof Solar Collector. [en línea]. [Consulta: 12 septiembre 2015]. Disponible en: http://www.icax.co.uk/image_Solar_Roofing.html.

IEA 2009. *Cities , Towns & Renewable Energy Cities , Towns* [en línea]. Paris: IEA/OECD. Disponible en: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Cities2009.pdf>.

IEA y SHC 2014. Innovative solar products for building integration. © EPFL | LESO-PB [en línea]. [Consulta: 25 marzo 2015]. Disponible en: <http://www.solarintegrationsolutions.org>.

IEA SHC TASK 26 2000. *CombiSystem Overview 2000* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 3-905583-00-3. Disponible en: <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien551.pdf>.

IEA SHC TASK 41 2012a. SOLAR ENERGY SYSTEMS IN ARCHITECTURE integration criteria and guidelines. *English* [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://leso2.epfl.ch/solar/pdf/SolThePh.pdf>.

IEA SHC TASK 41 2012b. Solar energy systems in architecture SHC Task 41. [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>.

IEA SHC TASK 48 2015. No Title Quality Assurance & Support Measures for Solar Cooling Systems. [en línea]. [Consulta: 23 mayo 2015]. Disponible en: <http://task48.iea-shc.org/publications>.

IEA SOLAR HEATING & COOLING PROGRAM 2007. Compilation and analyze of interviews DA 1-2 Preliminary Outcome of PV / T market survey interviews. [en línea]. Härnösand: Disponible en: http://archive.iea-shc.org/publications/downloads/DA1-2_Outcome_of_PVT_market_survey_interviews.pdf.

IEA SOLAR HEATING & COOLING PROGRAM TASK16 1995. Photovoltaic in Buildings. [en línea]. Disponible en: <http://archive.iea-shc.org/task16/index.html>.

INE 2013. Nueva Encuesta Suplementaria de Ingreso. . S.l.:

INE 2015. Estudios Estadísticos. Demográficos y Vitales. [en línea]. Disponible en: http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php.

ITO, S. y MIURA, N. 1993. Solar air collectors using photovoltaic modules as cover. En: ISES (ed.), *ISES Solar World Congress*. Budapest: s.n.,

IZQUIERDO, S., RODRIGUES, M. y FUEYO, N. 2008. A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations. *Solar Energy*, vol. 82, no. 10, pp. 929-939. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2008.03.007.

JAMES, T., GOODRICH, A., WOODHOUSE, M., MARGOLIS, R. y ONG, S. 2011. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices. *Energy* [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy12osti/53103.pdf>.

JELLE, B.P. 2016. Building Integrated Photovoltaics: A Concise Description of the Current State of the Art and Possible Research Pathways. *Energies* [en línea], vol. 9, no. 21, pp. 1-30. DOI 10.3390/en9010021. Disponible en: <http://www.mdpi.com/1996-1073/9/1/21>.

KAAN, H. y REIJENGA, T. 2004. Photovoltaics in an architectural context. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 12, no. 6, pp. 395-408. ISSN 10627995. DOI 10.1002/pip.554.

KALOGIROU, S. 2015. Building Integrated Solar Thermal System. En: U MINHO (ed.), *EURO-Elecs Conference. Connecting People & Ideas*. Guimaraes: U Minho,

KALOGIROU, S. a. 2004. *Solar thermal collectors and applications*. Nicosia: Elsevier. ISBN 3572240646.

KALOGIROU, S. a. y TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y. 2006. Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production. *Energy Conversion and Management*, vol. 47, no. 18-19, pp.

3368-3382. ISSN 01968904. DOI 10.1016/j.enconman.2006.01.012.

KAZANCI, O.B., SKRUPSKELIS, M., SEVELA, P., PAVLOV, G.K. y OLESEN, B.W. 2014. Sustainable heating, cooling and ventilation of a plus-energy house via photovoltaic/thermal panels. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 83, pp. 122-129. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2013.12.064. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778814002308>.

KOLOKOTSA, D., ROVAS, D., KOSMATOPOULOS, E. y KALAITZAKIS, K. 2011. A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings. *Solar Energy* [en línea], vol. 85, pp. 3067-3084. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2010.09.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.09.001>.

KYLILI, A. y FOKAIDES, P. a. 2015. European smart cities: The role of zero energy buildings. *Sustainable Cities and Society* [en línea], vol. 15, no. September, pp. 86-95. ISSN 22106707. DOI 10.1016/j.scs.2014.12.003. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2210670714001383>.

LAI, C.M. y LIN, Y.P. 2011. Energy saving evaluation of the ventilated BIPV walls. *Energies* [en línea], vol. 4, no. 6, pp. 948-959. ISSN 19961073. DOI 10.3390/en4060948. Disponible en: <http://www.mdpi.com/1996-1073/4/6/948>.

LAZAROV, V., SCHAEFFER, C., SHISHKOV, M. y IVANOVA, M. 2005. Hybrid solar collector. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 161, no. 1-2 SPEC. ISS., pp. 229-233. ISSN 09240136. DOI 10.1016/j.jmatprotec.2004.07.029.

LI, S. y KARAVA, P. 2012. Evaluation of turbulence models for airflow and heat transfer prediction in BIPV/T systems optimization. *Energy Procedia* [en línea], vol. 30, pp. 1025-1034. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2012.11.115. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.115>.

LIAO, L., ATHIENITIS, A.K., CANDANEDO, L., PARK, K.W., POISSANT, Y. y COLLINS, M. 2007. Numerical and experimental study of heat transfer in a BIPV-thermal system. *Journal of Solar Energy Engineering-Transactions of the Asme* [en línea], vol. 129, pp. 423-430. ISSN 0199-6231. DOI 10.1115/1.2770750. Disponible en: <Go to ISI>://WOS:000250637900011.

LORENZO, E. 2004. Pioneros españoles de las energías renovables Introducción. *XII Congreso Ibero y VII Americano de Energía Solar* [en línea]. S.l.: s.n., [Consulta: 25 marzo 2015]. Disponible en: <http://www.fotovoltaica.com/pioneros.pdf>.

LUKAČ, N. y ŽALIK, B. 2013. GPU-based roofs' solar potential estimation using LiDAR data. *Computers and Geosciences*, vol. 52, pp. 34-41. ISSN 00983004. DOI 10.1016/j.cageo.2012.10.010.

LUND, P. 2010. Fast market penetration of energy technologies in retrospect with application to clean energy futures. *Applied Energy*, vol. 87, pp. 3575-3583. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2010.05.024.

LUND, P. 2012. Large-scale urban renewable electricity schemes - Integration and interfacing aspects. *Energy Conversion and Management* [en línea], vol. 63, pp. 162-172. ISSN 01968904. DOI 10.1016/j.enconman.2012.01.037. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.037>.

LUQUE, A. y HEGEDUS, S. 2011. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. II. West Sussex: John Wiley & Sons., ISBN 9780470721698.

MASSIVHAUS 2015. Massivhaus Catalogue. [en línea]. [Consulta: 21 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.dosse-massivhaus.de/index.php>.

METEOTEST 2015. meteonorm. [en línea]. Disponible en: <http://meteonorm.com>.

MIKKOLA, J. y LUND, P.D. 2014. Models for generating place and time dependent urban energy demand profiles. *Applied Energy* [en línea], vol. 130, pp. 256-264. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2014.05.039. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.039>.

MINENERGIA, 2009. *Norma Técnica que determina algoritmo para la verificación de la contribución solar mínima de los Sistemas Solares Térmicos acogidos a la franquicia tributaria de la Ley N° 20.365* [en línea]. 2009. S.l.: s.n. Disponible en: http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/02_Noticias/descargas_noticias/Norma_Tecnica_Actualizada.pdf.

MINENERGIA, 2010. *Norma Técnica que determina algoritmo para la verificación de la contribución solar mínima de los Sistemas Solares Térmicos acogidos a la franquicia tributaria de la Ley No 20.365* [en línea]. 2010. Chile: s.n. Disponible en: http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/02_Noticias/descargas_noticias/Norma_Tecnica_Actualizada.pdf.

MINISTERIO DE ENERGÍA, 2013. *MODIFICACIONES A LA LEY GENERAL DE SERVICIOS ELÉCTRICOS RESPECTO DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON FUENTES DE*

- ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES* [en línea]. 2013. Chile: Biblioteca del Congreso nacional de Chile. Disponible en: <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=270212>.
- MINISTERIO DE HACIENDA DE CHILE 1967. REGLAMENTA OPERACIONES REAJUSTABLES DE LOS BANCOS DE FOMENTO. [en línea]. [Consulta: 15 octubre 2015]. Disponible en: <http://valoruf.cl/DTO-40-20-ENE-1967-UNIDAD-DE-FOMENTO.pdf>.
- MINVU 2012. Proyectos de Tipo de Viviendas. [en línea]. S.l.: Disponible en: http://www.minvu.cl/opensite_20111121172350.aspx.
- MINVU 2013. *Sistemas solares térmicos* [en línea]. Santiago de Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. ISBN 9789569432040. Disponible en: http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo=20070212164420&hdd_nom_archivo=Manual Sistemas Solares Termicos-2014.pdf.
- MINVU, 2014. *Ordenanza General de Urbanismo*. 2014. Chile: s.n.
- MINVU 2015. Código de Construcción Sustentable para Viviendas, Chile. [en línea]. Santiago de Chile: Disponible en: <http://csustentable.minvu.cl/wp-content/uploads/2015/09/Codigo-de-Construccion-Sustentable-Segunda-Version-Borrador.pdf>.
- MINVU-DITEC 2015. Análisis de Precios Unitarios PPPF. [en línea]. Disponible en: <https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&q=PRECIOS+UNITARIOS+2015+CHILE&ie=UTF-8&oe=UTF-8#>.
- MUNARI, C. 2009. *Architectural Integration and Design of Solar Thermal Systems*. S.l.: ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE.
- NAGANO, K., MOCHIDA, T., SHIMAKURA, K., MURASHITA, K. y TAKEDA, S. 2003. Development of thermal-photovoltaic hybrid exterior wallboards incorporating PV cells in and their winter performances. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 77, no. 3, pp. 265-282. ISSN 09270248. DOI 10.1016/S0927-0248(02)00348-3.
- NANOCLEANSOLAR 2015. Perfect manual cleaning of solar panels using high-speed rotating brush. *Nanocleansolar* [en línea]. Disponible en: <http://www.nanocleansolar.com/en/roof-top-pv-station/>.
- NIKKEI BUSINESS PUBLICATIONS 2015. SolarPowerPlantBusiness. *Nikkei Business Publications* [en línea]. Disponible en: http://techon.nikkeibp.co.jp/english/NEWS_EN/20140614/358480/?SS=imgview_msbe&FD=53193003&ad_q.
- NREL 2015. Research Cell Efficiency Records. [en línea]. [Consulta: 24 marzo 2015]. Disponible en: http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg.
- OBSERVATORIO HABITACIONAL 2014. Estadísticas/Variación anual de unidades y superficie de viviendas. [en línea]. Disponible en: http://www.observatoriahabitacional.cl/opensite_20080122171157.aspx.
- OBSERVATORIO HABITACIONAL 2015. Viviendas unidades y superficie según mes y comuna 2002-2013-3. [en línea]. Santiago de Chile: Disponible en: http://www.observatoriahabitacional.cl/opensite_20080122171157.aspx.
- OP 'T VELD, P. y VAN DER AA, A. 2014. Driving forces of energy-related behaviour in residential buildings. En: WSB2014 (ed.). Barcelona: GCNe, pp. 24-33.
- ORELLANA, G. 2015. Boom de las ERNC : alcanzan un inédito 10 , 9 % en el SIC en 2014. *Pulso. Pasión por los Negocios*. Santiago de Chile, 12 enero 2015.
- PATHAK, M.J.M., SANDERS, P.G. y PEARCE, J.M. 2014. Optimizing limited solar roof access by exergy analysis of solar thermal, photovoltaic, and hybrid photovoltaic thermal systems. *Applied Energy* [en línea], vol. 120, pp. 115-124. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2014.01.041. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.01.041>.
- PELLAND, S. y POISSANT, Y. 2006. an Evaluation of the Potential of Building Integrated Photovoltaics in Canada. *Renewable Energy* [en línea], pp. 8. Disponible en: http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-rncan.gc.ca/fichier.php/codectec/En/2006-047/2006-047_OP-J_411-SOLRES_BIPV_new.pdf.
- PERLIN, J. 2013. Let It Shine: The 6000 Year Story of Solar Energy. *Chapter Descriptions* [en línea]. Disponible en: <http://john-perlin.com/let-it-shine.html>.
- PNUD y MINENERGIA 2014. Algoritmo_fchart v3. [en línea]. Disponible en: <http://www.programasolar.cl>.
- PRADILLA, E. 2014. La ciudad capitalista en el patrón neoliberal de acumulación en América Latina

desigual del capitalismo y las particularidades latinoamericanas. *Cadernos Metrópole*, vol. 16, no. 31, pp. 37-60.

PRO.CRE.AR 2015. Desarrollo Urbanístico Bahía Blanca. [en línea]. [Consulta: 25 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.procrear.anses.gob.ar/proyecto-urbanistico/bahia-blanca-12#urbanizacionDatos>.

REDDI JARAYAMA, P. 2009. *Science Technology of Photovoltaics*. CRC Press. S.l.: s.n. ISBN 9780415573634.

RELAÑO PEÑA, A. 2010. *Proyecto de instalación solar para acs, calefacción y piscina en un edificio de viviendas*. S.l.: Carlos III de Madrid.

REMUND, J. 2008. Quality of Meteornorm Version 6.0. *Wrec* [en línea]. Bern: Disponible en: http://www.meteotest.ch/fileadmin/user_upload/Sonnenenergie/pdf/2008WREC_mn6_qual_paper.pdf.

RICKERSON, W. y IEA 2014. Residential prosumers - drivers and policy options (re-prosumers). [en línea], no. June, pp. 1-123. Disponible en: http://iea-retd.org/wp-content/uploads/2014/06/RE-PROSUMERS_IEA-RETD_2014.pdf.

ROBERTS, S. y GUARIENTO, N. 2009. *Building Integrated Photovoltaics. A Handbook*. S.l.: Birkhäuser Basel. ISBN 978-3-7643-9948-1.

ROLDÁN ROJAS, J. 2005. Revista de. *Revista de Urbanismo* [en línea], vol. 12, pp. 45-61. Disponible en: <http://revistaurbanismo.uchile.cl/index.php/RU/article/viewFile/6220/6076>.

SAITOH, H., HAMADA, Y., KUBOTA, H., NAKAMURA, M., OCHIFUJI, K., YOKOYAMA, S. y NAGANO, K. 2003. Field experiments and analyses on a hybrid solar collector. *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, no. 16, pp. 2089-2105. ISSN 13594311. DOI 10.1016/S1359-4311(03)00166-2.

SAMWEBER, F., FISCHHABER, S. y NOBIS, P. 2015. Electric Mobility as a Functional Energy Storage in Comparison to On-Site Storage Systems for Grid Integration. *Energy Procedia* [en línea], vol. 73, pp. 94-102. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2015.07.572. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610215013405>.

SHAHSAVAR, A. y AMERI, M. 2010. Experimental investigation and modeling of a direct-coupled PV/T air collector. *Solar Energy* [en línea], vol. 84, no. 11, pp. 1938-1958. DOI doi:10.1016/j.solener.2010.07.010. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X10002458>.

SHC y IEA 2012. T.41.B.3 Solar design of buildings for architects: Review of solar design tools. [en línea]. S.l.: Disponible en: http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41B3_approved-Jul12.pdf.

SITAV ENGINEERING 2011. ERIT@ EV1M. [en línea]. Disponible en: http://www.isolpack.com/filemanager/cms_isolpack/files/cataloghiPDF/erit.pdf.

SMITH, M.K., WAMSER, C.C., JAMES, K.E., MOODY, S., SAILOR, D.J. y ROSENSTIEL, T.N. 2013. Effects of Natural and Manual Cleaning on Photovoltaic Output. En: 10.1115/1.4023927, *Journal of Solar Energy Engineering* [en línea], vol. 135, no. 3, pp. 34505. ISSN 0199-6231. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1115/1.4023927>.

SOLANKI, S.C., DUBEY, S. y TIWARI, A. 2009. Indoor simulation and testing of photovoltaic thermal (PV/T) air collectors. *Applied Energy* [en línea], vol. 86, no. 11, pp. 2421-2428. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2009.03.013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.03.013>.

SOLAR DESIGN ASSOCIATES 2015. Carlisle House. [en línea]. [Consulta: 22 octubre 2015]. Disponible en: http://www.solardesign.com/SDA_Today/carlisle-house/.

SOLARBUZZ 2014. Record 2013 Solar PV Installations Promotes U.S. to Strongest Market Outside Asia-Pacific, According to NPD Solarbuzz. [en línea]. [Consulta: 8 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.solarbuzz.com/news/recent-findings/record-2013-solar-pv-installations-promotes-us-strongest-market-outside-asia-pa>.

SOLARFOCUS 2015. COLECTOR CPC. [en línea]. [Consulta: 29 marzo 2015]. Disponible en: <http://www.solarfocus.es/assets/Uploads/SolartechnikES02-2013ANSICHT.pdf>.

SOLARWALL 2015. PV/Thermal; Hybrid Solar Heating + Electricity. [en línea]. [Consulta: 3 marzo 2015]. Disponible en: <http://solarwall.com/en/products/pvthermal.php>.


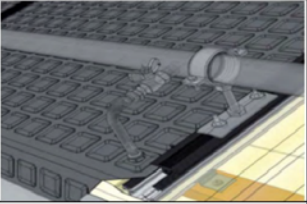
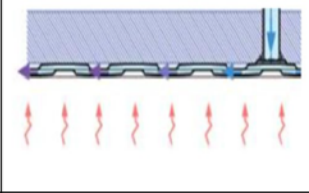

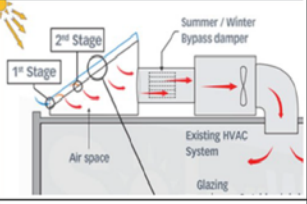
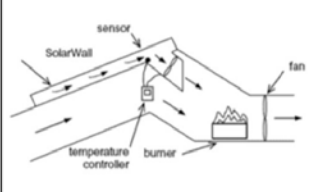

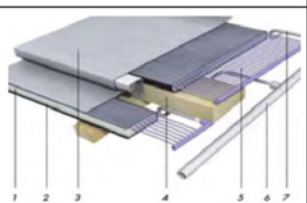
SOLARWORLD INC. 2013. Sundeck: State of the art design and Engineering. [en línea]. Disponible en: http://www.solarworld.de/fileadmin/downloads_new/produkt/sundeck/flyer/flyer_sundeck_en.pdf.

SOLIMPEKS 2010. Volther Hybrid PV-T Panels. [en línea]. S.l.: Disponible en: http://www.solimpeks.com/wp-content/uploads/2012/06/pvt_presentation_en.pdf.


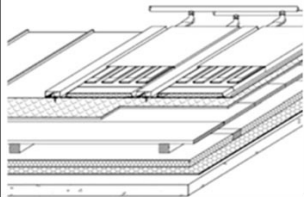


- SOTO, R. y VERGARA, J. 2012. *CENTRALES TERMOELÉCTRICAS Y. S.I.*: UNiversidad Católica de Chile.
- SUTER, J.-M., LETZ, T. y WEISS, W. 2003. Solar Combisystems - Overview. [en línea]. S.I.: Disponible en: http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=en&name=en_168325772.pdf.
- TESLA INC. 2015. PowerWall Tesla Home Battery. [en línea]. [Consulta: 4 mayo 2015]. Disponible en: <http://www.teslamotors.com/powerwall>.
- TONUI, J.K. y TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y. 2007. Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation. *Renewable Energy* [en línea], vol. 32, no. 4, pp. 623–637. DOI 10.1016/j.renene.2006.03.006. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148106000784>.
- TOTTEN, M. 2013. Nuclear is not fiscally prudent, financially responsible or necessary. [en línea]. [Consulta: 31 agosto 2015]. Disponible en: http://www.assetsforlife.net/uploads/nuclear_letter_to_hansen_totten_april_7_2013_pdf.pdf.
- TRENDCONSULTORES 2008. Desarrolladora Homex. .
- TRIPANAGNOSTOPOULOS, Y., NOUSIA, T.H., SOULIOTIS, M. y YIANOULIS, P. 2002. Hybrid Photovoltaic / Thermal Solar Systems. *Solar Energy*, vol. 72, no. 3, pp. 217-234.
- VÁZQUEZ ESPÍ, M. 1999. Una brevísima historia de la arquitectura solar. *Por una arquitectura y un urbanismo contemporáneos* [en línea], pp. 1-31. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n9/amvaz.html>.
- VISSMANN 2007. La tecnología solar bajo una nueva luz: los colectores como elemento decorativo. [en línea]. Disponible en: http://www.viessmann.es/content/dam/internet-es/pdf_documents/brochures/vitosol/9447023_ti_133_vitosolar.pdf.
- VOKAS, G., CHRISTANDONIS, N. y SKITTIDES, F. 2006. Hybrid photovoltaic-thermal systems for domestic heating and cooling-A theoretical approach. *Solar Energy*, vol. 80, no. 5, pp. 607-615. ISSN 0038092X. DOI 10.1016/j.solener.2005.03.011.
- WALL, M., MUNARI PROBST, M.C., ROECKER, C., DUBOIS, M.C., HORVAT, M., JØRGENSEN, O.B. y KAPPEL, K. 2012. Achieving solar energy in architecture - IEA SHC Task 41. *Energy Procedia* [en línea], vol. 30, pp. 1250-1260. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2012.11.138. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.138>.
- WANG, X., ZHENG, M., ZHANG, W., ZHANG, S. y YANG, T. 2010. Experimental study of a solar-assisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas. *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 2104-2110. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.06.022.
- WEGERTSEDER, P., SCHMIDT, D., HATT, T., SAELZER, G. y HEMPEL, R. 2014. Barreras y oportunidades observadas en la incorporación de estándares de alta eficiencia energética en la vivienda social chilena Barriers and opportunities observed in the incorporation of high energy efficiency standards in chilean social housing. , vol. XXXV, no. 3, pp. 37-49.
- WEISS, W. y MAUTHNER, F. 2012. Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply 2010. . Gleisdorf, Austria:
- WIENERBERGER 2015. Solar panels for homes and businesses. [en línea]. Disponible en: <http://www.wienerberger.co.uk/roof/solar-panels-from-wienerberger/solar-panels-for-homes-and-businesses.html?lpi=1368455159788>.
- WOLF, M. 1975. Performance analyses of combined heating and photovoltaic power systems for residences. *Energy Conversion* [en línea], vol. 16, no. 1-2, pp. 79–90. DOI doi:10.1016/0013-7480(76)90018-8. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0013748076900188>.
- YANNAS, S. 1996. Energy indices and performance targets for housing design. *Energy and Buildings*, vol. 23, no. 3, pp. 237-249. ISSN 03787788. DOI 10.1016/0378-7788(95)00949-3.
- ZONDAG, H. a. 2008. Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, pp. 891-959. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2005.12.012.

ANEXOS


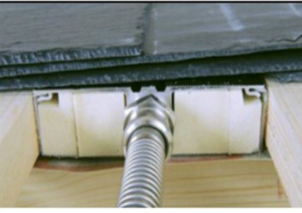
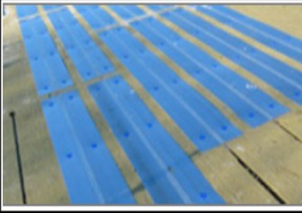

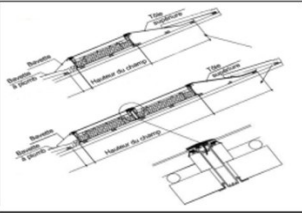
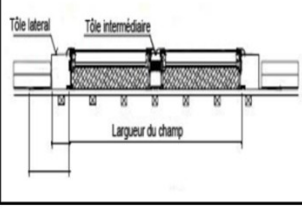

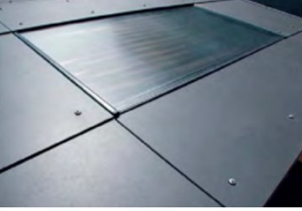
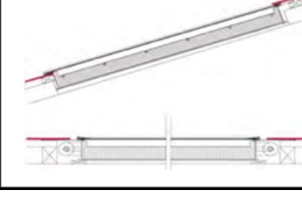
• Cuadro 1: Colectores en Integración Arquitectónica.

1	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Energie Solaire SA/		Térmica	Plano No vidriado/ Fluido Agua	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	N2= 0,95; Contenido de Fluido, Aporte Solar: 500 a 770 Kwh/m2; Producción energética peak= 1748 W		500-750 KWh/año/m2	248x88,6x0,5	http://www.energie-solaire.com/wq_pages/fr/site/page-70.php
2	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	SolarWall		Térmica	Plano No vidriado/ Fluido Aire	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Eficiencia hasta 80 %. Incrementa entre 20 ° y 55 ° C la temperatura ambiente.		Entre 1,5 y 3,5 GJ/m2 al año	Indeterminado /adaptable	http://solarwall.com/en/products/solarwall-air-heating/solarduct.php
3	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Rheinzink/Quick step		Térmica	Teja/Faja / No vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Módulos para captación solar activa para ser integrado con los colectores típicos y cubriciones que la empresa viene produciendo por años. Baja eficiencia por sus colores claros que se integran con las láminas tradicionales, sin embargo tienen gran integrabilidad.				http://www.rheinzink.ch/ch/prdouits/


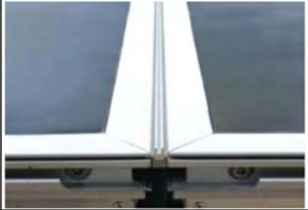


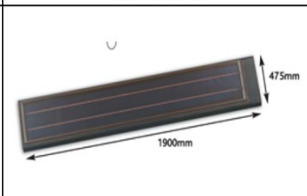
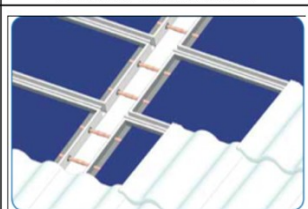

• Cuadro 2: Colectores en Integración Arquitectónica.

4	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	KME / Tuke Solar System		Térmica	Plano No vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Techumbre captadora de cobre en donde se incluye captadores también de cobre : A pesar que el rendimiento se ve disminuido por el color cobre, el grado de integración es muy bueno.		35 x 100; 35 x 200; 35 x 300 . Rinde 35 lts./hora. Peso 25 kg/m2. Potencia pico de 760 W/m2	760 W/m2	http://www.kme.com/assets/sites/tecu-solarsystem/en/kme/files/6674_2_xx_tecusolar_brochure_web.pdf
5	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	ATMOVA / Biberschwanz/Classic		Térmica	Teja/Faja / No vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Son tejas de cobre con la clásica forma de tejas tradicionales, viene en tres formas, muy útil para rehabilitación de edificaciones. Buena integración, sin embargo no alcanza alta temperatura. (baja eficiencia térmica)			37,9 X 17,9 / 24,5 X 42,0	http://www.atmova.ch
6	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Helio Power / Slate Roof		Térmica	Teja/Faja / No vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de recolección térmica de baja eficiencia pero buena integrabilidad, considerando que se logra techumbre con apariencia escamada a modo de tejuelo.		Baja eficiencia (entre 20 y 30 % de radiación solar)	Variable / adaptable	http://www.heliopower.dk/arkiv/pdf/SE150-DK_jan2010.pdf


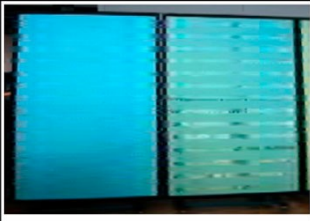
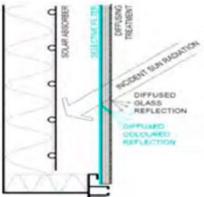

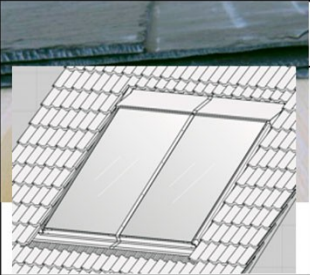
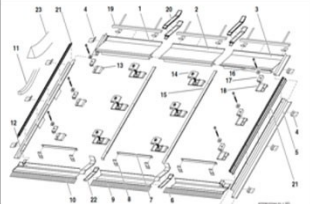

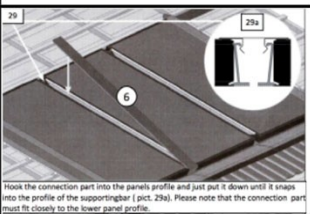
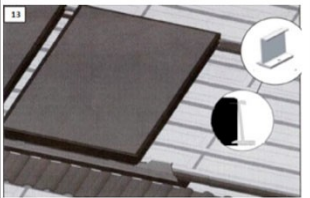
• Cuadro 3: Colectores en Integración Arquitectónica.

7	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Heiio Power / Sfalt Roof		Térmica	Teja/Faja/ No Vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema para teja asfáltica, con alta integrabilidad pero baja eficiencia (25%), con pendiente variable entre 0 y 60°. Se emplea en calefacción de piscinas y lisa radiante.		Eficiencia de 25%	Variable / adaptable	www.heliopower.dk
8	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Energie Solaire SA/		Térmica	Plano vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Módulos solares activos para integrarse en el sistema de cubrición eternit con plan Integral Eternit		$\eta_0 = 0,74$	242 X 92	http://www.energie-solaire.com/jt_files/jt_files_filename_0184_187716789.pdf
9	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	SolarTop Eternit/Solar Force		Térmica	Plano Vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Módulos solares activos para integrarse en el sistema de cubrición eternit con plan Integral Eternit. También se integra conjuntamente con colectores térmicos				http://www.soltop.ch/de/solarwaerme.html





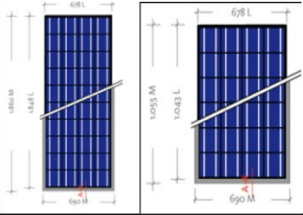
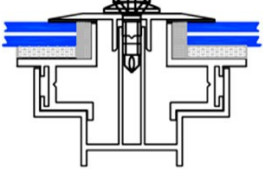
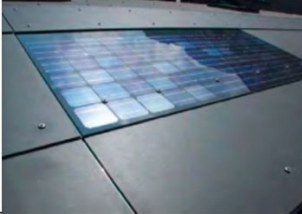
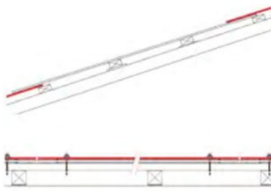
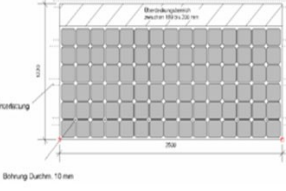
• Cuadro 4: Colectores en Integración Arquitectónica.

10	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	S.Solar/Prisma		Térmica	Plano Vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Colector solar térmico vidriado concebido para reemplazar otros elementos (placas) de cubriación		0.3-0.5 l/m2 and minute. Ángulo posible de inclinación entre 14 y 90º	210 X 120 X,8,5	gcaru@biobusiness.cl; http://en.ssolar.com/Home/tabid/224/Default.aspx
11	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Imerys/Thermal tiles		Térmica	Plano Vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Bandas colectoras térmicas compatibles con varios tipos de tejas. Utiliza la misma estructura de las tejas. Se complementa con bandas de tejas fotovoltaicas que complementan el sistema.		Eficiencia entre 54,7 % y 67,4 % anual dependiendo modelo	190 *47,5	http://www.ecobuildproductsech.co.uk/solartech-file025212.pdf
12	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Soltech/Sigma		Térmica	Teja/Faja / Vidriado excento.	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Tejas desarrolladas con bajo contenido de hierro para alcanzar mayor transparencia. Utilizado tanto para tejados nuevos como reentejados. Los absorbedores van entre los listones, también de fácil montaje.		Temperatura máxima de trabajo 95º con picos de 110º. Tanque almacenamiento entre 300 y 800 lts	420 X 334 mm. 3,8 Kg/ teja	http://soltechenergy.com/soltech-power/ ; info@soltechenergy.com

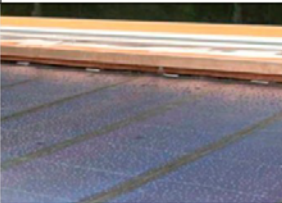
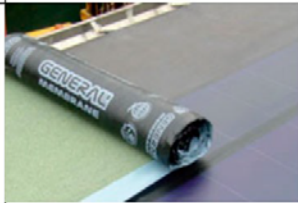
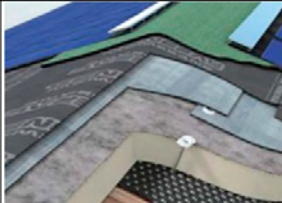
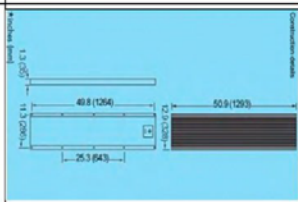
• Cuadro 5: Colectores en Integración Arquitectónica

	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
13	LESO/Colored Glazing		Térmica	Plano Vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Se trata de películas de apariencia y cromáticas para colocar sobre colectores térmicos para otorgar apariencia cromática deseada, perdiendo 10 % de eficiencia			Variable-acoplable a cualquier tamaño de colector.	http://leso.epfl.ch/e/research_renew_colored.html
14	Buderus		Térmica	Plano /Vidriado.	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de sujeción para Integración de colectores planos como continuidad de techumbre con teja, diseñado para colectores térmicos Bosch		Rendimiento del 85%	2,07X 1,145 X ,09	http://www.buderus.fr/files/201301081413280.SKN3.0_Montage%20intégré_6720618267_10-2008.pdf
15	Solympex		Térmica	Plano Vidriado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Colector térmico tipo placa plana (producción térmica)		$\eta_0 = 0,763$	1.218x1.988x90	http://www.solterra.ch/wp-content/uploads/2013/07/Termocoppo-2013.pdf

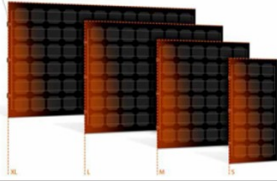
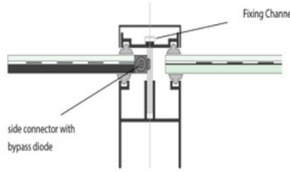
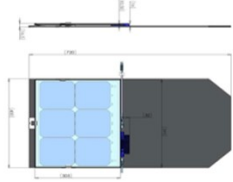

• Cuadro 6: Colectores en Integración Arquitectónica

16	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Solterra / Termocoppo		Térmica	Plaquetas /Placas de vacío	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Colector térmico que funciona de modo similar a los tubos de vacío, sin tener la forma de tubos de sección redonda sino rectangular que permite acoplarse unos con otros horizontalmente		NO se menciona	Cada plaqueta 3 a 1,5 m * 25 cm * 8,0 cm	http://www.solterra.ch/wp-content/uploads/2013/07/Termocoppo-2013.pdf
17	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Ertex Solar/		Fotovoltaico	Monocristalinas	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Colector Pv para reemplazar superficie de acabado		Poder nominal de 1848 X 678: 166,01 Wp	1848 x 678 x 60	http://www.ertex-solar.at/media/downloads/VS-G-EVO.pdf
18	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Eternit/Suntechnics		Fotovoltaico	Monocristalino	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Diseñado para completar de elementos de fachada y pared eternit con juntas adecuadas para empatar con uno de las tipologías de marcas.		355 Wp/ +/- 6%	250,0 X 122,0	info@suntechnics.ch


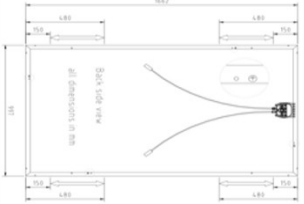
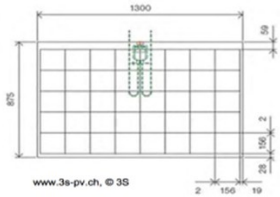

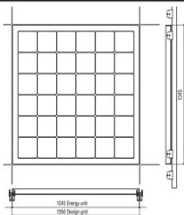


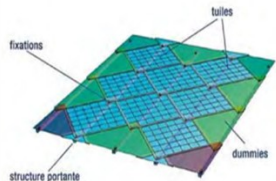

• Cuadro 7: Colectores en Integración Arquitectónica

19	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Imerys /PV		Fotovoltaico	Monocristalir	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Franjas con celdas PV las cuales se adaptan a estructura de tejado típico y con el formato de tejas. Se colocan de forma traslapada al igual que tejas.		17,3% Celda; 14,1% Placa	137,7 x 47,5	http://www.imerys-roof-tiles.com/en_GB/pdf/uploads:documentation:en_GB::pv-photovoltaic-systems.pdf?name=PV+Photovoltaic+Systems&retour%5Bpath%5D=documentation&retour%5Bname%5D=Brochures
20	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	GeneralSolar PV/		Fotovoltaico	Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Integración adhesiva de lámina Pvsobre lámina asfáltica.			550 x 040	http://www.generalsolarpv.com/campi_di_applicazione/capriata_a_falde.php?lang=it
21	Fábrica/ Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Shell Panels		Fotovoltaico	Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Módulos con recubrimiento de lámina delgada que se instalan tanto en techumbres como en fachadas.		84 Wp peak	129,3 x 32,8 ; 126,4 X 28,6	http://www.solarelectricsupply.com/solar-panels/shell/shell-solar

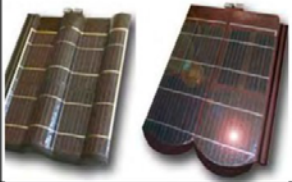

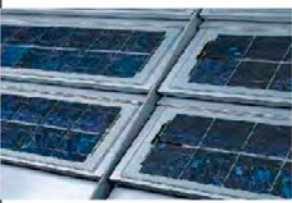



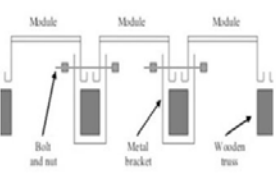

• Cuadro 8: Colectores en Integración Arquitectónica.

22	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Optisol Scheuton Solar		Fotovoltaico	Célula Multicristalina	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Lámina delgada desplegada en cobertura de techumbre transparente.		11,3 a 13,3 %	2,40 x 120m a 60 X 120	www.scheuten.com
23	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Societe Energie Solaire		Fotovoltaico	Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Lámina delgada desplegada en cobertura de techumbre como filtro semitransparente.		19 W (+ 3%)	40 x 72	www.schott.com/architecture ; www.societe-energie-solaire.com
24	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Lumeta / Power Play		Fotovoltaico	Monocristalinas	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Modulo diseñado para adaptarse en pendientes débiles. Células monocristalinas para maximizar producción. Su aplicación directa reduce un 50 % en tiempo de instalación			156 x 156	www.lumetasolar.com

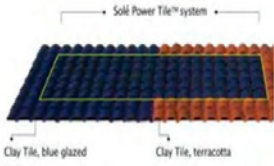
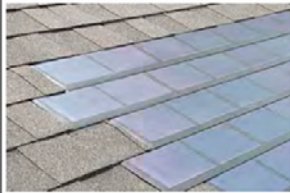
• Cuadro 9: Colectores en Integración Arquitectónica.

	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
25	Meyer Burger / 3S Photovoltaics. Megaslate II		Fotovoltaico	Monocristalino	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Se reemplaza parte de la techumbre en su totalidad con placas totalmente integradas. Se componen con láminas PV sin marco que se usan como tejas de gran formato.			130 x 87,5	www.3s-pv.ch
26	Systaic		Fotovoltaico	Monocristalino	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Superficies planas completamente cubiertas por vidrio, la carga se trasmite a través de los marcos			104,5 x 104,5 x 4,0 mm	http://ww12.systaic.de
27	Solaire France / Sunstyle		Fotovoltaico	Monocristalinas	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema solar multipropósito que genera corriente logrando funcionalidad, desempeño y durabilidad. Recubrimiento resultante de productos originales de edificación.			130 Wc/m2	15,6 x 15,6



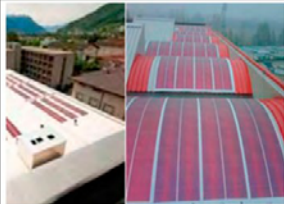
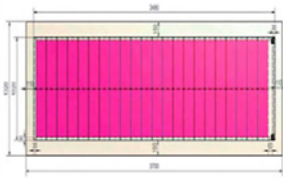
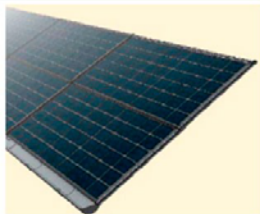
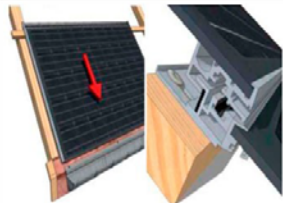
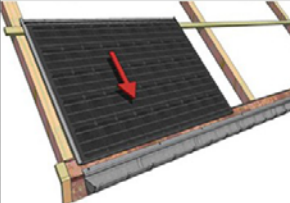
• Cuadro 10: Colectores en Integración Arquitectónica

28	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación																																																
	IdeaS Solar / TMT Solar		Fotovoltaico	Policristalina																																																	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto																																																
	Tejas con celdas solares adheridas. Los PV pueden ubicarse en varios colores de tejas. Las tejas disponen cada una de su propia batería y pueden ser fabricadas sin su batería. No requiere o posee cableados sueltos, vienen con su propia conexión.	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Quali Tecnica</th> <th>IS-40200</th> <th>IS-40211</th> <th>IS-40195</th> <th>IS-40210</th> <th>IS-40185</th> <th>IS-40180</th> <th>IS-40190</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>area Maxima</td> <td>22 W</td> <td>21 W</td> <td>19,5 W</td> <td>21 W</td> <td>18,5 W</td> <td>18 W</td> <td>19 W</td> </tr> <tr> <td>area in. Inq.</td> <td>220 W</td> <td>211 W</td> <td>195 W</td> <td>210 W</td> <td>185 W</td> <td>180 W</td> <td>190 W</td> </tr> <tr> <td>1 LPP</td> <td>18,5 V</td> <td>18,5 V</td> <td>18,5 V</td> <td>18,5 V</td> <td>18,5 V</td> <td>18 V</td> <td>18,8 V</td> </tr> <tr> <td>rente LPP</td> <td>1,2 A</td> <td>1,15 A</td> <td>1,08 A</td> <td>1,14 A</td> <td>1 A</td> <td>1 A</td> <td>0,98 A</td> </tr> <tr> <td>eficiencia Maxima</td> <td>11,2%</td> <td>10,7%</td> <td>10,2%</td> <td>10,8%</td> <td>10,0%</td> <td>10,0%</td> <td>11,4%</td> </tr> </tbody> </table>	Quali Tecnica	IS-40200	IS-40211	IS-40195	IS-40210	IS-40185	IS-40180	IS-40190	area Maxima	22 W	21 W	19,5 W	21 W	18,5 W	18 W	19 W	area in. Inq.	220 W	211 W	195 W	210 W	185 W	180 W	190 W	1 LPP	18,5 V	18,5 V	18,5 V	18,5 V	18,5 V	18 V	18,8 V	rente LPP	1,2 A	1,15 A	1,08 A	1,14 A	1 A	1 A	0,98 A	eficiencia Maxima	11,2%	10,7%	10,2%	10,8%	10,0%	10,0%	11,4%	Variable entre 11,4 % y 17,5 %		http://photonica.polinesians.com/tegole-coppi-fotovoltaici.html
Quali Tecnica	IS-40200	IS-40211	IS-40195	IS-40210	IS-40185	IS-40180	IS-40190																																														
area Maxima	22 W	21 W	19,5 W	21 W	18,5 W	18 W	19 W																																														
area in. Inq.	220 W	211 W	195 W	210 W	185 W	180 W	190 W																																														
1 LPP	18,5 V	18,5 V	18,5 V	18,5 V	18,5 V	18 V	18,8 V																																														
rente LPP	1,2 A	1,15 A	1,08 A	1,14 A	1 A	1 A	0,98 A																																														
eficiencia Maxima	11,2%	10,7%	10,2%	10,8%	10,0%	10,0%	11,4%																																														
29	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación																																																
	Rheinzink / Quick Step Solar PV		Fotovoltaico	Multicristalina																																																	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto																																																
	Producto derivado de producto termal Quick step, siendo esta la versión PV. Es muy util por compatibilizarse con estructuras de techumbre existentes, se adapta con facilidad.		9,3% en superficie bruta	200,0 X 365,0	http://www.rheinzink.de																																																
30	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación																																																
	Sanyo HIT photovoltaic		Fotovoltaico	Mono cristalina * Sílice amorfo																																																	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto																																																
	Placas que se integran sujetan sobre perfilera de aluminio que van directamente sobre techumbre. Poseen aptitud de recubrimiento por si mismas.		20,8 %		https://www.youtube.com/watch?v=wkiNUwUZgaU																																																


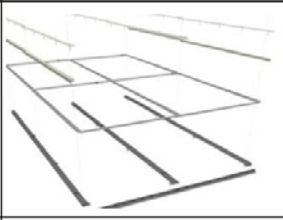


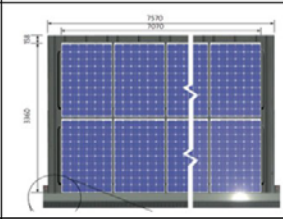

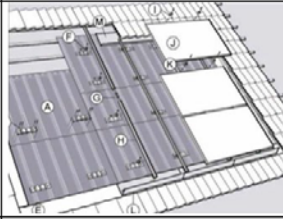

• Cuadro 11: Colectores en Integración Arquitectónica

	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
31	SRS		Fotovoltaico	Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Fue el primer generador curvo en ser certificado UL en la comisión de energía solar. Debido al color de la lámina delgada, su presentación está disponible únicamente en azul.		5%		http://www.srsenergy.com
32	Unisolar / Power Shingle		Fotovoltaico	Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Producto compuesto por láminas delgadas y flexibles integradas y diseñadas para que tengan una apariencia similar a láminas asfálticas. Son tejas laminadas sin vidrio, únicamente recubiertas de UV estabilizado y polímeros resistentes al agua.		11 % a 15%	220 X 30,48	www.uni-solar.com
33	Rhenzink/ Solar PV Standing		Fotovoltaico	Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Se requiere como soporte el sistema tradicional de placa de base, de techumbre metálica. Se instala tanto en fachadas como techumbres.				http://www.rheinzink.de

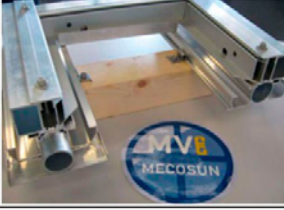

• Cuadro 12: Colectores en Integración Arquitectónica.

	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
34	Marcecgaglia / Brollo Solar		Fotovoltaico	Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Es parte de un sistema de techumbre. El módulo de lámina delgada es directamente adherido en la lámina metálica sandwich, permitiendo que en global sea un elemento liviano Disponible en distintas dimensiones , adaptable.			Variable	http://www.marcecgaglia.com
35	Flexcell/VHF/Technologies		Fotovoltaico	Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	El módulo es liviano- de acero galvanizado en el cual se acopla la lámina fotovoltaica. Especialmente adaptado para módulos de techumbre trapezoidales y es editable para cualquier pendiente y orientación. Módulo es apto para ser instalado de manera rápida y fácil			348 x102	http://www.flexcell.com
36	Arres Solar /Solamarkt		Fotovoltaico	Monocristalino la mayoría de productos; también Silíce amorfo	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Placas fotovoltaicas de 19 kg de peso, vienen con perfilera propia para instalación. Varios producto, varios formatos y tecnologías de células		Entre 15 % y 16 % la mayoría de productos.	Variable; el módulo que más se repite 98,5 cm x 164,4cm x 0,3cm	https://www.youtube.com/watch?v=FOtzxePz7qM/ http://www.solarmarkt.ch


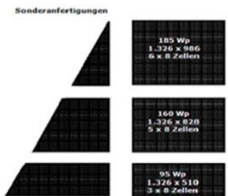







• Cuadro 13: Colectores en Integración Arquitectónica.

37	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Schletter GmbH / BiPV 2-11		Fotovoltaico	Monocristalino / Policristalino (Por lo general)	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de perfilera de aluminio para montaje de placas sobrepuestas o integradas.		Dependiente de Placa PV	Adaptable a Placa	http://www.schletter.de/files/addons/docman/solarmontage/produktblaetter/BiPv_2-11_-_Produktblatt_V3_I400204DE.pdf
38	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Solarworld / Sundeck		Fotovoltaico	Policristalino	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema compuesto por dos capas, una base que se despliega sobre estructura de techumbre, estanca y placas PV policristalinas que van sobre la placa base mencionada; queda franja de ventilación entre ellas.		14.31% / 14.61% / 14.91% / 15.21%	167,5 cm x 100,1 cm x 3,1 cm	http://www.solarworld.de/en/products/products/sundeck/overview/
39	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Electro-sol / Intersole SE		Fotovoltaico	Monocristalino / Policristalino / Lámina Delgada	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema base para integrar placas PV en perfilera de aluminio. Se trata de superficie estanca que permite ventilación a la vez		20% / 17% / 12%		http://www.electrosol.ch


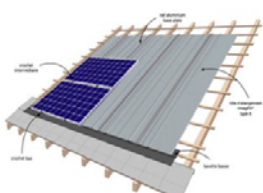
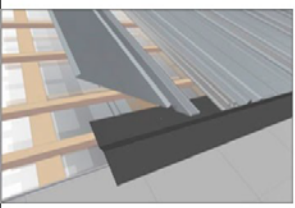

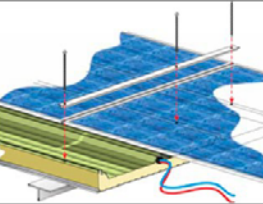


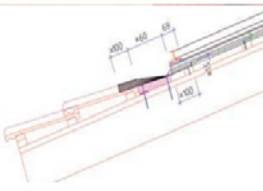

• Cuadro 14: Colectores en Integración Arquitectónica

	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
40	Mecosun / MV3		Fotovoltaico	Policristalino y Monocrystalino	
	Descripción	Detalle 2	Producción/Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de sujeción de placas PV adaptable a distintas dimensiones de placas PV		Depende de la placa instalada.	Variable	http://www.mecosun.fr/documents/produits/en/mv3/Technical%20specifications%20MV3%20System.pdf
41	Montavent / Montavent INDACH		Fotovoltaico	Policristalino y Monocrystalino	
	Descripción	Detalle 2	Producción/Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de sujeción de placas PV adaptable a distintas dimensiones de paneles, con perfilería adaptativa		Depende de la placa instalada.	Variable	http://www.montavent.ch/index.php/en/
42	Jansen / Schuco		Fotovoltaico	Policristalino y Monocrystalino	
	Descripción	Detalle 2	Producción/Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de montaje doble capa con trasfondo estanco posterior que permite ventilación entre células PV y fondo		16,4% / 15,5%	163,9*98,3*4,0 /133,5*98,6*4,6 / 165,6*98,6*4,6	http://www.genath.de/download/Schueco-Photovoltaik.pdf


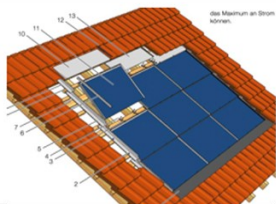
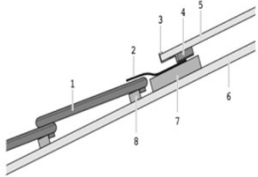

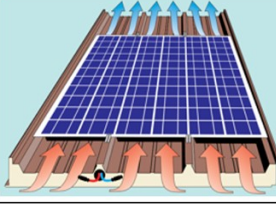
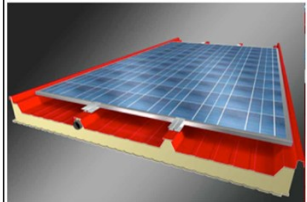

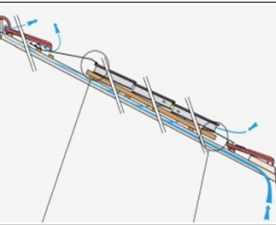
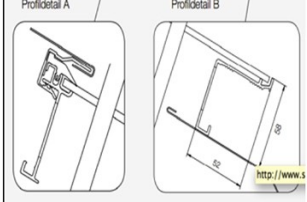
• Cuadro 15: Colectores en Integración Arquitectónica

	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
43	ND Solarsystem		Fotovoltaico	No especificado	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de montaje en perfilería de aluminio. Placas traslapadas pero deben instalarse sobre superficie estanca por lo menos.		14,5 % aprox	Varios formatos entre 164,6 X 98,6 / 132,6 x 51,0. Existen recortes triangulares dummies	http://www.nd-system.de
44	Soltech / PV-TEC 2000		Fotovoltaico	Principalmente Monocrsilalino y Policristalino , admite varios tipos de placa	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Tecnología de soporte de placas PV de varios tipos, se trata de base estanca y realiza la función de sujetador de placas y su perfilería en cualquier dimensión, admitiendo varios modelos de placas PV.		Depende de modelo PV Instalado.	Varios formatos	http://www.solartechniken.de/pdf/Drain-Montagetechnik.pdf
45	ClickPlain Indach Montagesystem		Fotovoltaico	Todos los tipos	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de perfilería para acoplamiento de varios tipos de placas PV. Impermeabilización y aislamiento deben instalarse debajo.		Depende de la placa instalada	Varios Formatos	http://www.clickcon.eu


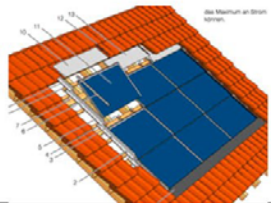
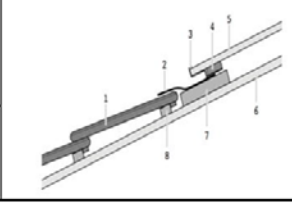

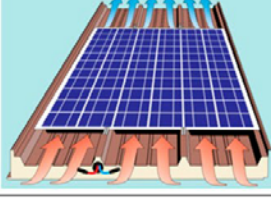
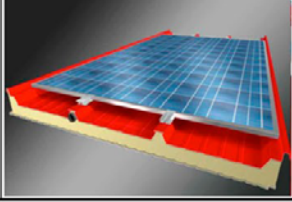

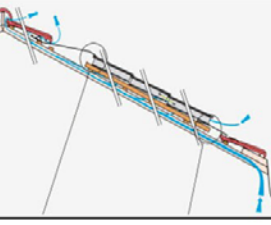
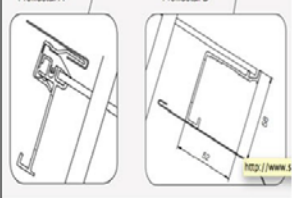
• Cuadro 16: Colectores en Integración Arquitectónica.

46	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	SunIntegration®		Fotovoltaico	Varios tipos de placas, es base de instalaje	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Placa de soporte estanca para instalación bajo colectores. Permite instalación de varios formatos y tipos de placas PV.		Depende de la placa instalada	Admite Varios Formatos	http://www.sun-integration.com/dossiers/racine/articles/depliant-2014_sd-2-0.pdf
47	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Tritec / Tri-Roof		Fotovoltaico	Varios tipos de placas, es base de instalaje	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Perfilería y sujetadores para integración de placas, sirven a la vez para discurrimiento de aguas lluvias. Requiere impermeabilización por debajo		Depende de placa instalada	Admite varios formatos	www.tritec-energy.com
48	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Solterra / Solterra TI		Fotovoltaico	Monocristalino y Policristalino	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de integración con traslape y perfilera con remates para integración con techumbre tradicional de teja u otros tipos de placas				www.solterra.ch

• Cuadro 17: Colectores en Integración Arquitectónica.

49	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Ernst Schweizer AG, Metallbau / PV-Montagesystem Indach Solrif®		Fotovoltaico	No se precisa tecnología PV ni eficiencia	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Placas PV para ser traslapadas con perfilera y mates que aseguran condición estanca del sistema		No se precisa tecnología PV ni eficiencia. Amortización en tres años en Alemania	160,0 x 80,0	https://www.schweizer-metallbau.ch/fileadmin/user_upload/00_Produkte/80_Sonnenenergie-Systeme/pdf/Solrif_Uebersichtspekt_de_141210.pdf
50	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	SITAV Engineering / ERIT EV1M		Fotovoltaico & Fotovoltaico / Térmico (Híbrido)	Policristalina	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Placa PV desplegada sobre placa ondulada metálica y aislamiento sólido, la cual le proporciona función estanca y resistencia mecánica.		14%	164,6 * 98,2 * 1,4	www.fotovoltaicoerit.com
51	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Soltop/Elektra Combi		Fotovoltaico/Térmico (Híbrido) BIPVTa	Monocristalino / Aire	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Placas híbridas, módulos ventilados con aire. Posible recolección híbrida		210 Wp	116,5 X 121,0	http://www.soltop.ch/de/home.html ; info@soltop.ch

• Cuadro 18: Colectores en Integración Arquitectónica

	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
49	Ernst Schweizer AG, Metallbau / PV-Montagesystem Indach Solrif®		Fotovoltaico	No se precisa tecnología PV ni eficiencia	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Placas PV para ser traslapadas con periferia y remates que aseguran condición estanca del sistema		No se precisa tecnología PV ni eficiencia. Amortización en tres años en Alemania	160,0 x 80,0	https://www.schweizer-metallbau.ch/fileadmin/user_upload/00_Produkte/80_Sonnenenergie-Systeme/pdf/Solrif_Uebersichtsprospekt_de_141210.pdf
50	SITAV Engineering / ERIT EV1M		Fotovoltaico & Fotovoltaico / Térmico (Híbrido)	Polisitalina	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Placa PV desplegada sobre placa ondulada metálica y aislamiento sólido, la cual le proporciona función estanca y resistencia mecánica.		14%	164,6 * 98,2 * 1,4	www.fotovoltaicoerit.com
51	Soltop/Elektra Combi		Fotovoltaico/Térmico (Híbrido) BIPVTa	Monocristalino / Aire	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Placas híbridas, módulos ventilados con aire. Posible recolección híbrida		210 Wp	116,5 X 121,0	http://www.soltop.ch/de/home.html ; info@soltop.ch

• Cuadro 19: Colectores en Integración Arquitectónica.

52	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	SolarWall		Fotovoltaico/térmico (híbrido) BIPVTa	Monocristalino/ Aire	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de cogeneración que produce electricidad y aire caliente.		100 W/m ² (electricidad); 300 W/m ² (térmica)		http://solarwall.com/en/products/pvthermal.php#pvcooling ; info@solarwall.com
53	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Solympeks		Fotovoltaico/térmico (híbrido) BIPVTw	Monocristalino/ Líquido caloportador	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de cogeneración que produce electricidad y agua caliente.		Electricidad: 170 W; 610 Térmico. O Electricidad 190 W / Térmico: 460 W	166,0 X 86,0 X 10,5	http://solimpeks.es/products/pvt-collectors/
54	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Solterra / TWINSUN		Fotovoltaico/térmico (híbrido) BIPVTw	Policristalino/ Líquido caloportador glicol	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Sistema de cogeneración que produce electricidad y agua caliente.		Eficiencia térmica peak $\eta_0 = 0,65$ / Eficiencia eléctrica = 15,06 %	166,3x99,8x 4,5	http://www.solterra.ch/wp-content/uploads/2013/10/Scheda-tecnica-Twinsun-Solterra.pdf

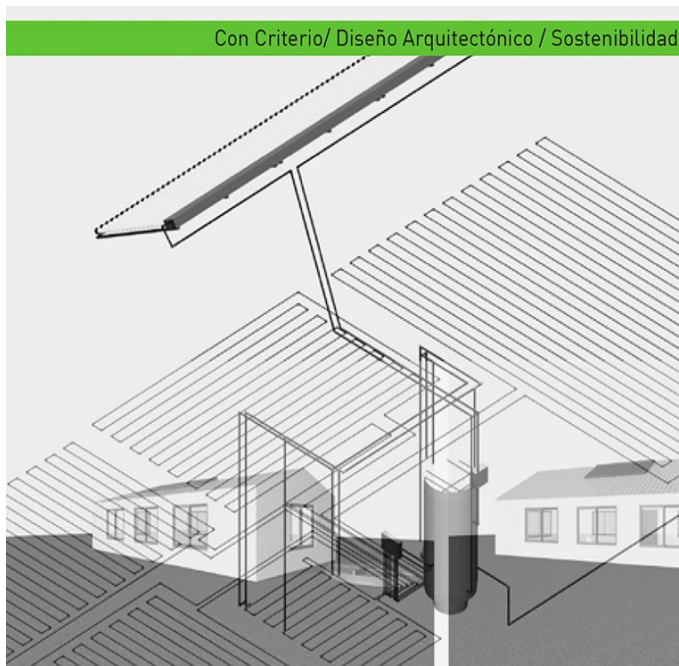
• Cuadro 20: Colectores en Integración Arquitectónica.

55	Fábrica/Nombre	Foto	Tecnología	Tipo de colector	Detalle Instalación
	Minirgie /3s Photovoltaics		Fotovoltaico /híbrido (BIPVTw)	Monocrystalinas	
	Descripción	Detalle 2	Producción/ Eficiencia	Dimensiones cm	Contacto
	Space-saving and energy-efficient system through the combination of solar thermal energy and photovoltaics Optimum operation in the low temperature range		Eficiencia: Térmica: 15,2%; Eléctrica 60%	130 X 87,5 / (7,5 X 98,4	http://pvsystems.meyerburger.com/en/products/hybrid/ /// www.3s-pv.ch

• Cuadro 22: Rendimientos de combinaciones tecnológicas integradas en Modelo de Alto Desempeño C

COMPARACIÓN DE DESEMPEÑO DE DISTINTAS TECNOLOGÍAS DE RECOLECCIÓN SOLAR ACTIVA RESPECTO A DEMANDAS RESIDENCIALES EN MODELO C DE ALTO DESEMPEÑO											
TECNOLOGÍA PV											
MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO INVERNAL			MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO INTERESTACIONAL			MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO DE VERANO					
Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) & Abastecimiento		Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) & Abastecimiento		Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) & Abastecimiento	
Azi	Elect	Térmico	Total	Elect	Térmico	Total	Elect	Térmico	Total	Elect	Térmico
0 ^a		32,66	38,63	0,00	0,00	24,57	29,14	0,00	37,38	7,87	12,07
19 ^a	5,97	33,14	39,11	0,00	16,53	26,57	29,31	36,65	0,00	7,95	12,16
55 ^a		30,77	39,52	14,70	0,00	24,88	29,46	34,05	0,00	7,78	11,98
94 ^a		34,16	42,90	16,83	0,00	27,49	32,07	37,38	0,00	7,83	12,04
Total		38,63		16,83		29,14		37,38		12,07	
Abastecimiento		43,58%		81,25%		128,27%		116,50%		462,5%	
Electrico		42,27%		125,74%		115,60%		450,34%		444,61%	
Térmico		39,24%		116,50%		128,32%		450,34%		454,50%	
Total		48,12%		139,79%		131,58%		498,72%		498,72%	
TECNOLOGÍA PV más PVTA más PVTW											
MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV+TW+PVTA FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO INVERNAL			MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV+TW+PVTA FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO INTERESTACIONAL			MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV+TW+PVTA FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO DE VERANO					
Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) y % Demanda		Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) y % Demanda		Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) y % Demanda	
Azi	Elect	Térmico	Total	Azi	Elect	Térmico	Total	Azi	Elect	Térmico	Total
0 ^a	5,97	32,66	38,63	4,57	24,57	29,14	37,38	74,76	112,13	817,2%	394,8%
Total		38,63		29,14		40,74		121,13		121,13	
Abastecimiento		130,7%		123,51%		139,79%		394,8%		462,5%	
Electrico		41,96%		123,51%		139,79%		462,5%		462,5%	
Térmico		53,36%		123,51%		139,79%		462,5%		462,5%	
Total		48,12%		139,79%		139,79%		462,5%		462,5%	
TECNOLOGÍA PV+TW+PVTA											
MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV+TW+PVTA FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO INVERNAL			MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV+TW+PVTA FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO INTERESTACIONAL			MODELO C PRODUCCIÓN TÉRMICA Y ELÉCTRICA CON PV+TW+PVTA FRENTE A DEMANDAS EN DÍA CARACTERÍSTICO DE VERANO					
Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) y % Demanda		Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) y % Demanda		Demanda(kWh/day)		Producción (kWh/day) y % Demanda	
Azi	Elect	Térmico	Total	Azi	Elect	Térmico	Total	Azi	Elect	Térmico	Total
0 ^a		23,92	23,92	15,38	0,00	15,38	15,38	7,75	0,00	7,75	7,75
19 ^a	8,75	22,44	31,19	9,19	49,84	58,03	68,22	4,20	6,39	10,59	14,79
55 ^a		1,75	1,75	4,61	32,40%	34,15	35,90	4,20	54,32	129,20%	133,40%
94 ^a		5,97	5,97	4,57	4,61	9,18	13,74	4,20	54,32	129,20%	133,40%
Total		38,63		29,14		40,74		12,95		167,10%	
Abastecimiento		105,02%		131,58%		131,58%		167,10%		167,10%	
Electrico		42,38%		124,76%		124,76%		167,10%		167,10%	
Térmico		45,4%		124,76%		124,76%		167,10%		167,10%	
Total		48,12%		131,58%		131,58%		167,10%		167,10%	

Artículo I: DISEÑO ARQUITECTÓNICO INTEGRADO DE SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS EN TECHUMBRES DE VIVIENDAS



Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

Integrated architectural design of active solar thermal collector at dwelling's roofs

Esteban Zalamea León y Rodrigo García Alvarado

RESUMEN: El diseño arquitectónico y el cálculo de sistemas de energía alternativa suelen ser tareas separadas, lo que trae como consecuencia que las instalaciones se superpongan en los edificios y afecten su apariencia arquitectónica. Este artículo revisa una novedosa estrategia para proyectar de manera integrada tanto la arquitectura como el comportamiento energético, definiéndose la arquitectura conjuntamente con un sistema de aprovechamiento solar activo incorporado en la techumbre de una vivienda en Concepción, Chile. Se desarrolla el proyecto residencial en un software BIM con simulador energético incorporado, analizando paramétricamente el tamaño del sistema, la inclinación de techumbre y orientación de la vivienda, con su resultado arquitectónico y evaluación solar simultánea. Posteriormente se elabora la instalación térmica total en la configuración de la vivienda. Finalmente se evalúa el resultado espacial interior, sugiriendo estrategias pasivas compatibles y estimaciones económicas. La experiencia demuestra la definición integrada de un sistema solar térmico en el diseño arquitectónico de la vivienda.

PALABRAS CLAVE: energía solar, diseño integrado, simulación energética, vivienda sostenible, BIM.

ABSTRACT: Alternative architectural design and calculation of power systems are usually separate tasks, which results in that the facilities in buildings overlap and affect its architectural appearance. With the aim of review an integrated platform of architectural design and energy analysis, this work analysis implementation of thermal solar systems for single housing in Concepción, Chile. A residential model is assessed in BIM software with an energy calculator incorporated; based on parameters to size the systems, slope of roofs and orientation of construction. After that, the design of the installation is developed according to the architectural configuration and spatial visualization. Besides passive strategies and economic savings are suggested. The experience showed that the platform can determine proper characteristics of thermal system, and raise a facility integrated into the architectural design of housing.

KEYWORDS: solar energy, integrated design, energy simulation, sustainable housing, BIM.

Recibido: 08/03/2014 Aprobado: 19/07/2014

Arquitectura y Urbanismo vol. XXXV, no 3, 2014, ISSN 1815-5898

Introducción

Se ha estimado que las edificaciones son responsables del 60 % de las emisiones de CO₂, y que su funcionamiento consume el 40 % de la energía global [1]. Más del 50 % de la electricidad mundial es generada a partir combustibles fósiles, y únicamente el 2 % proviene de fuentes de bajo impacto ambiental [2]. En Chile el 26 % del consumo energético está destinado a demandas habitacionales, monto que por el crecimiento económico se ha duplicado en los últimos 25 años [3]. La matriz energética nacional posee además una alta dependencia externa y base carbonizada [4]. Es relevante entonces explorar alternativas energéticas renovables como la captación solar, especialmente en las propias edificaciones, para disminuir redes de distribución y grandes instalaciones de explotación y/o generación que producen impacto ambiental [5; 6; 7]. Se han desarrollado una variedad de equipos para captación solar activa, tanto paneles térmicos o fotovoltaicos, que se suman a estrategias de aprovechamiento solar pasivo [8; 9]; también se ha analizado producción energética, especialmente fotovoltaica, acorde con la inclinación y orientación de colectores [10;11], y se ha medido resultados de producción energética de instalaciones arquitectónicamente integradas [12]; sin embargo existe una carencia de alternativas para desarrollo proyectual de sistemas de captación solar activa durante el diseño de los edificios, que permita definir equipos adecuados para diversas configuraciones constructivas y situaciones geográficas, compaginado con resultados arquitectónicos [7]. Los captadores se suelen planificar o instalar de manera posterior al proceso diseño y construcción, aplicando equipos sobrepuestos, con la consecuente reforma de las instalaciones originales previstas y deterioro de la apariencia arquitectónica de las casas [13; 14].

Desde 2009 en Chile rige la ley de "Franquicia tributaria para la instalación de Sistemas de Captación Térmica Solar en Viviendas" (ley 20.365), que busca contribuir a abastecer el 15,5 % de demanda energética residencial destinada a Agua Caliente Sanitaria (ACS) [15]. Son subsidiadas aquellas instalaciones que abastecen más de 30 % de requerimiento de ACS de viviendas de interés social. La misma ley busca impulsar la integración arquitectónica de los captadores, al tolerar en su normativa una menor producción, cuando la instalación se incorpora en el diseño proyectual¹. Sin embargo, la proliferación de esta tecnología por el mencionado subsidio ha provocado la adaptación de los captadores sin consideraciones arquitectónicas, sin participar en la concepción original del edificio y en consecuencia, sin dimensionamiento arquitectónico-energético adecuado.

La integración arquitectónica de sistemas solares activos en las envolventes presenta tres dificultades fundamentales: a) Una limitada diversidad de productos, consecuencia del escaso conocimiento de los desarrolladores de tecnología solar activa acerca de integración arquitectónica. b) Débil difusión entre arquitectos acerca de las posibilidades ofrecidas por las tecnologías y productos disponibles. c) Escasez de herramientas para cuantificar, ilustrar y comunicar el efecto de los dispositivos solares tempranamente en el proyecto [16]. Los dos últimos aspectos conciernen directamente a la arquitectura, son decisiones importantes de la disciplina concernientes a orientación, geometría, aperturas, materialidad y expresión, factores que se definen inicialmente.

El diseño arquitectónico dispone de plataformas de modelación constructiva Building Information Modeling (BIM), con programas como Revit®, Archicad® o Microstation, que permiten la elaboración de la geometría completa del

1. CELIS, Flavio, *et al.* "Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile". *Arquitectura y Urbanismo*. 2012, pp. 62-75.
2. CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. *Estudios de usos finales y curva de oferta de la conservación de la energía en el sector residencial*. Santiago de Chile: Cámara Chilena de la Construcción, 2010.
3. BUSTAMANTE, Waldo. *Guía de diseño para la eficiencia energética en la Vivienda Social*. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile. Facultad de Arquitectura, 2009.
4. DONOSO, Nicolás. *Análisis técnico y económico en mejoras de eficiencia energética para viviendas de precio entre 1000 y 3000 UF*. [en línea], Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2009. [consulta: 25 abril 2013]. Disponible en: www.cybertesis.uchile.cl/tesis/uchile/2009/cf-donoso_nr/pdfAmont/cf-donoso_nr.pdf
5. AGENCIA CHILENA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. *Programa de Inversión pública para fomentar el reacondicionamiento térmico del parque construido de viviendas*. Santiago de Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2007.
6. HACHEM, Caroline. *Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods*. Montreal: Concordia University. Department of Building, Civil and Environmental Engineering, 2012.
7. WALL, Maria *et al.* "Achieving Solar Energy in Architecture-IEA SHC Task 41". *Energy Procedia*. 2012, vol. 30, pp. 1250-1260.
8. GAJBERT, Helena. *Solar Thermal Energy Systems*. Lund: Lund University. Faculty of Engineering. Division of Energy and Building Design, 2008.
9. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. *Registro solarimétrico*. Santiago de Chile: CNE. Proyecto CHI/00/G32, 2008.
10. GROSSI GALLEGOS, H y RIGHINI R. "Ángulo óptimo para planos colectores de energía solar integrados a edificios". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 2012, vol. 16.

¹ Acorde con la Ley 20365 la integración arquitectónica de colectores solares se cumple cuando estos adicionalmente a la función de captación de irradiación, son envolvente en si mismos.

20 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

edificio, inclusive definiciones constructivas, materiales, de instalaciones, etc, con resultados planimétricos y tridimensionales automáticos. El modelo es organizado por componentes constructivas, con información técnica asociada para coordinar las diferentes especialidades y luego posibilitan gestionar la ejecución. Por otro lado para mejorar el desempeño energético, se han desarrollado simuladores ambientales, como Ecotect® o EnergyPlus®, destinados a calcular de manera dinámica requerimientos energéticos y confort, algunos de ellos incluyen calculadores de sistemas de captación solar térmica o fotovoltaica; sin embargo, deben aplicarse de manera separada durante el diseño arquitectónico [16; 13]. Se han desarrollado métodos para asociar simuladores energético-ambientales con herramientas de diseño arquitectónico, pero la necesidad es integrar las herramientas de forma directa en el trabajo cotidiano de los arquitectos [17]. Un avance relevante ha sido la incorporación de una función de cálculo energético denominada Ecodesigner®, en el software BIM Archicad®, que permite analizar directamente el modelo, a través de herramientas de revisión de condiciones de diseño y energéticas en una misma plataforma de trabajo, sin necesidad de exportaciones entre software (figura 1).

11. LESCANO, Jorge *et al.* "Diseño e implementación de estrategias para el uso eficiente de energía solar en aplicaciones fotovoltaicas en sitios aislados de la provincia de Santa Cruz-Avances". En: *XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente (ASADES)*. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 2013.
12. EYRAS, Ismael. "Integración Arquitectónica de Sistemas de Energía solar en nueva fábrica de paneles ISOFOON". *Avances en Energías renovables y medio ambiente* [en línea]. 2006. [consulta: 25 abril 2013]. Disponible en: <http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/contador.php?id=1259&arch=trabajos/2006/2006-t005-a005.pdf>

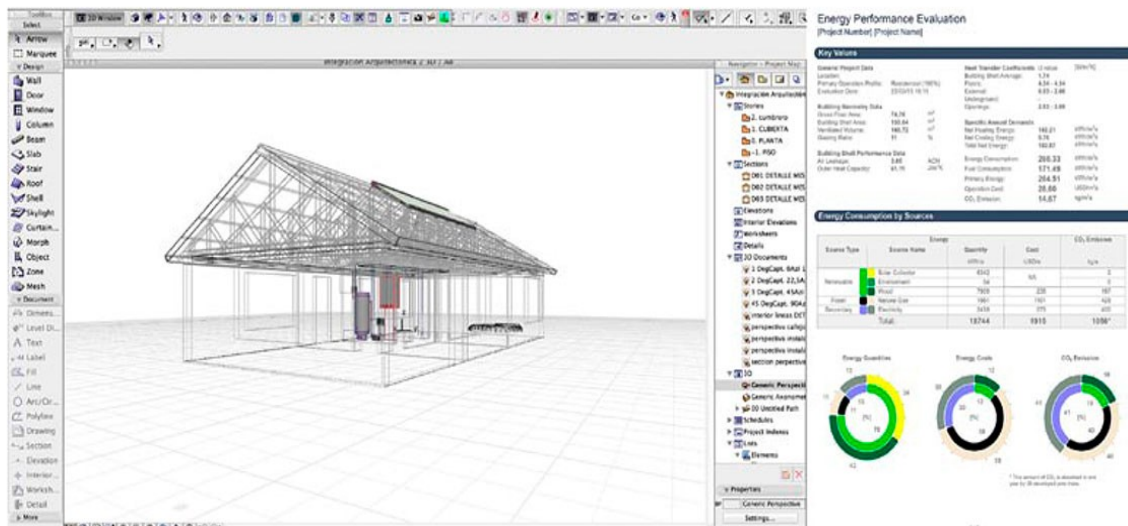


Figura 1: Modelación de la vivienda en Archicad® con reporte del moduloEcodesigner®.

Con la alternativa proyectual mencionada, se desarrolló una vivienda de la zona centro-sur de Chile, adoptada de un modelo oficial MINVU (Ministerio de Vivienda de Chile), para ser provista de calefacción y agua caliente sanitaria con tecnología solar Combi[18; 19]. Se analizaron distintas configuraciones y dimensionamientos de estos sistemas para advertir las mejores captaciones solares activas, con distintos parámetros de diseño y colectores incorporados en la cubierta. Las variables revisadas fueron: superficie de captadores, orientación de la construcción e inclinación de techumbre y colectores, todo ello frente a resultados arquitectónicos. Posteriormente se ha planteado la definición constructiva y detalle de los equipos de captación y redes necesarias en modelo 3D. Se comprobó que la herramienta permite identificar configuraciones adecuadas de recolección energética y diseñar una integración cabal en la vivienda. Se logró prever resultados adecuados de manera temprana en el proyecto, cuantificando además la ventaja de incluir la energía solar térmica.

13. KALOGIROU, Soteris. "Solar thermal collectors and applications". *Progress in Energy and Combustion Science*. [en línea]. 2004, vol. 30, issue 3, pp. 231-295. [consulta: 25 abril 2013]. Disponible en: <http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/eBook/heat%20pump/HP%20for%20desalination/Solar%20thermal%20collectors%20and%20applications.pdf>
14. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, based in. "Solar Combsystems". En: *Solar Heating and Cooling Program 2003 Annual Report*. Paris: IEA., 2003.

Materiales y métodos

Integración de Diseño Arquitectónico y Análisis Energético

Entre algunos programas de arquitectura y simuladores energéticos, es posible transferir información (envío de datos geométricos de diseño para simulación energética); sin embargo, mucha información es afectada o perdida en esta interacción, además representa tiempo y manejo de datos complejos [16]. Archicad® es un software para arquitectura, de dominio privado, pero amplia distribución internacional, que ha incorporado gratuitamente una capacidad de análisis energético. Es soportado por plataformas y sistemas operativos Macintosh y PC, y ha destacado por su temprana adopción del concepto BIM [20]; desde 2009 en su versión 14, ofrece un plug-in para estimación de comportamiento energético denominado Ecodesigner®; posteriormente desde la versión Archicad 16® [2013][20], es una herramienta integrada directamente en el programa. El módulo Ecodesigner® (validado por ASHRAE 90.1-2004), utiliza motor de cálculo VIP-Energy de Strussoft, el cual permite estimar los demandas de un modelo en desarrollo, de acuerdo con la geometría, materialidad y localización. El programa maneja valores editables, como coeficiente de transmisión térmica "U" e índices de infiltración de recubrimientos, comportamiento de carpinterías y envolvente en general, así como bases climáticas, calendarios de ocupación, equipamiento, etc. El modelo puede ser localizado geográficamente y climáticamente, utiliza archivos climáticos TMY (Typical Meteorological Year), WYEC2 (Weather Year For Energy Calculations) o IWEC (International Weather for Energy Calculation). Por otra parte se pueden adoptar condiciones de entorno, composición de suelo, bloqueo solar y vientos. La fuente y gasto energético es necesario introducirlos, tanto su origen primario como secundario, datos que deben programarse acorde con la localidad. El programa o uso de la edificación también se indica para que el software estime el consumo de energía por actividad (figura 2).

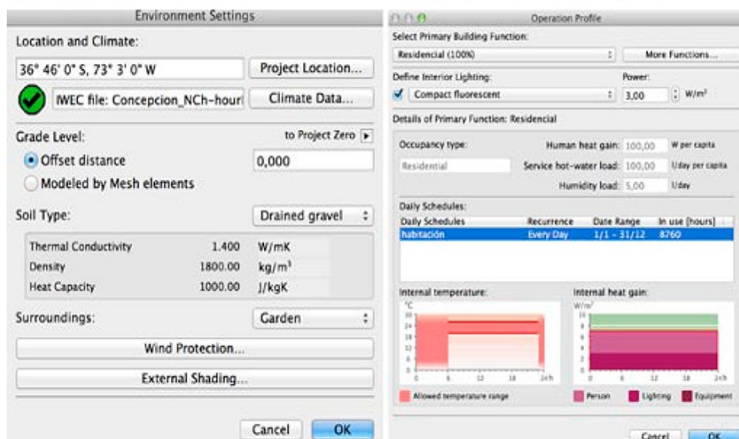


Figura 2: Determinaciones paramétricas climáticas y funcionales en Ecodesigner (Los Autores).

Con un modelo creado y datos térmico-energético ingresados, el software calcula: consumo energético anual, uso de energía y tipo, fuentes primarias y secundarias, CO2 emanado al medioambiente, ahorro monetario, etc. Reportes instantáneos vinculados al diseño son generados automáticamente;

15. ATHIENITIS, Andreas. "Design of a solar home with BIPV-Thermal System and ground source heat pump". En: *2nd Canadian Solar Buildings Conference*. Montreal: Concordia University. Department of Building, Civil and Environmental Engineering, 2007.
16. CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. *Sistemas solares térmicos. Manual de diseño para el calentamiento de agua*. Santiago de Chile: Camara Chilena de la Construcción, 2007.
17. ERCAN, Ataer O. "Storage of thermal energy". En: *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*. Oxford: Eolss Publishers, 2006.
18. LUND, Peter. "Fast market penetration of energy technologies in retrospect with application to clean energy futures". *Applied Energy*. 2010, vol. 87, No. 11, pp. 3575-3583.
19. CYPE INGENIEROS S. A. Generador de precios, Chile. [consulta: 25 abril 2013]. Disponible en: http://www.chile.generadordeprecios.info/obra_nueva/calculaprecio.asp?Valor=2_0_1_2_3|0_0_0_0_0|2|ICB007|icb_007:c17_0
20. CHILE. MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO. "Alternativas de vivienda definidas con subsidio. Política urbana". En: *MINVU* [en línea]. Santiago de Chile: MINVU, 2010. [consulta: 25 abril 2013]. Disponible en: http://www.minvu.cl/opensite_20100526104950.aspx

22 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

cuando algún parámetro geométrico, energético, climático etc. es alterado, los resultados se modifican en nuevos reportes. Los balances obtenidos son anuales y generales, destinados principalmente a comparar alternativas durante diseño. En proceso de proyecto se puede revisar secuencialmente las distintas resultantes de consumo energético acorde con la variaciones formales o constructivas.

Para una revisión inicial de la plataforma integrada, se modeló una vivienda representativa del Centro-Sur de Chile localizada en la ciudad de Concepción. Esta zona posee clima templado con 13 °C de media anual, oscilaciones estacionales y diarias. Aquí predominan viviendas unifamiliares, aisladas o adosadas, edificadas en albañilería de ladrillo o entramados de madera [21]. La probeta virtual que se utilizó es una casa de una planta rectangular, con superficie construida total de 72 m²; se modela con paramentos exteriores de albañilería y techumbre de estructura de madera. Se eligió un modelo simple para establecer modificaciones paramétricas evidentes, obteniendo resultados fácilmente descifrables. La proporción largo-ancho del modelo fue 2:1, correspondiente a una situación media, en relación con las sugerencias de eficiencia térmica por forma, para este clima [3].

El modelo posee altura piso-techo de 2,40 m, dimensión usual para la tipología de casa, además techumbre de dos aguas, estructurada en cerchas dispuestas longitudinalmente e integradas por correas desplegadas también en dirección longitudinal. Fueron dispuestas ventanas en las cuatro fachadas las que ocupan proporcionalmente el 30 % de superficie de muros con vanos, consecuencia con estadísticas locales de proporcionalidad lleno-vanos [1]; se consideró también una puerta de acceso. En módulo Ecodesigner® se indicó el programa funcional de vivienda, lo que determinó requerimientos energéticos residenciales automáticamente. Adicionalmente fue necesario especificar secciones y parámetros de materiales de pared, suelo y cielo-techumbre envolventes. Los valores seleccionados son especificados en Tabla 1 y Figura 3.

La materialidad del modelo adoptada es usual para la zona: piso en radier de concreto directamente sobre suelo, muros de albañilería enlucida a

21. GRAPHISOFT. "Virtual Building Concept". En: *Graphisoft*. [en línea] [consulta: 9 septiembre 2013]. Disponible en: <http://www.graphisoft.com/support/archicad/edu/0.html>

Tabla 1: Determinaciones de materiales constructivos y aislamiento en Ecodesigner.

Elemento constructivo	Material	Espesor (cm)	Valor U
Piso radier sin aislamiento	Hormigón armado.	10	4,34
Muro exterior, albañilería estucada ambas caras.	Ladrillo.	14	2,6
Cielo falso más aislamiento.	Yeso +Poliestireno.	1 + 9	0,53
Techumbre.	Placa metálica ondulada	0,4	7,1
Ventana.	Vidrio doble.	3,5	2,6
Puerta.	Madera sólida.	6	3,17

dos caras, cielo-falso de yeso con aislamiento; como resultado el software entregó valores de transmitancia en muros inferiores a los sugeridos por la normativa vigente, sin embargo, son el resultado de propiedades de materiales regularmente utilizados (U=2,6 frente a 1,7 especificado en la norma). Por otro lado se contempló excepcionalmente vidriado doble en ventanas, tecnología que está siendo incorporada progresivamente en la construcción local con mayor recurrencia que incrementar el aislamiento en muros; el resultado fue una envolvente vertical muy homogénea (vanos y muro con U=2,6). Para el entorno se consideró espacio abierto, sin obstrucción

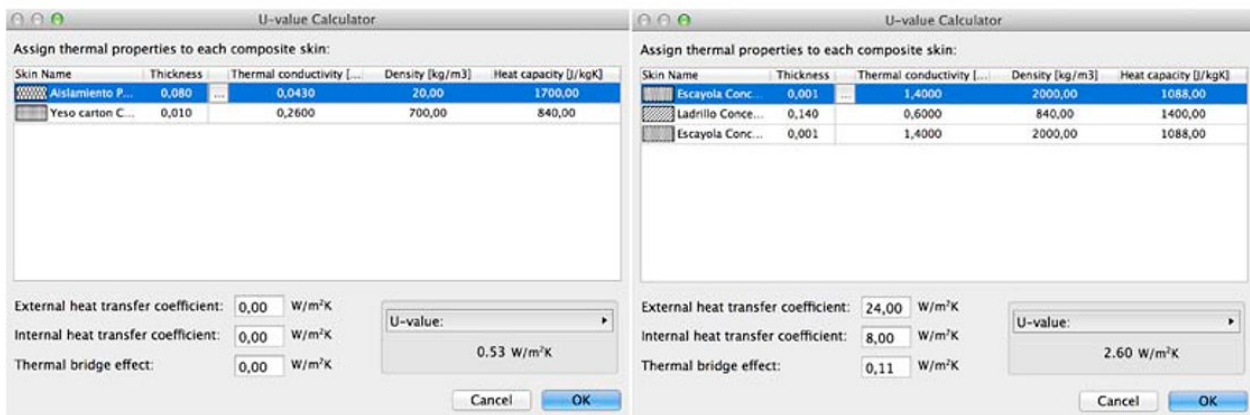


Figura 3: Determinaciones de materiales constructivos y aislamiento en Ecodesigner. (Los Autores).

solar y sin protección contra vientos. El suelo circundante se modeló de grava granular para representar un jardín en el contorno de la vivienda. El índice de infiltración, tanto en muros como carpinterías resultante fue 1,10; en consecuencia el software estimó que el índice de renovación de aire ACH es 3,78. Como fuentes de alimentación energética tradicional, se especificó calefacción a partir de leña, agua caliente proveniente de combustión de gas y la electricidad de red general, todos ellos considerando precios locales y la realidad de consumo zonal [2]. A partir del modelo programado, el software estipuló que las ganancias internas están en el orden de los 200 kWh por mes aproximadamente, lo cual se traduce en nuestro modelo en un índice de 92,59 kWh/m².

Como fuente comparativa de validación, se realizó la compilación de cuatro investigaciones que mostraron resultados de simulaciones precedentes de viviendas en la zona (tabla 2).

De la comparación realizada se detectó que la vivienda simulada en Ecodesigner® presentó una demanda para calefacción entre 6 873 y 9 803 kWh, es decir 95,45 kWh/m² a 136,15 kWh/m² por año, con variaciones acorde con el soleamiento y viento predominantes en Concepción versus orientación. Los resultados del BIM se aproximan a los resultados de

Tabla 2: Comparaciones de simulaciones de viviendas de investigaciones previas de demandas para calefacción frente a resultados de Ecodesigner. (Los Autores)

Estudio	Dimensión probeta	Localización	Software	Ganancias Internas	Particularidades (especificaciones)	Demanda en calefacción
Bustamante W. (2009)	76 m2	Concepción (Sur Litoral)	TAS	160 Wh/m2 al día	Temperatura de confort 20°C día/17°C noche. Renovaciones de aire: 1 ACH. Valores U Cielos 0,38 / Muros 1,7	115 kW/m2 por año
Donoso (2009)	100, 17 m2	Puerto Montt (Sur Litoral)	Ecotect	252 kWh/m2 al mes	Valores U Cielos: 0,23 / Muros 0,57 / Ventanas 3,10 Doble vidrio	130 kWh/m2 por año
Celis (2012)	90 m2	Concepción (Sur Litoral)	Casanova	No determinado	Valores U Cielos: 0,38/ Muros : 1,7/ Suelo 0,6	147 a 140 kWh/m2 al año (variación por orientación)
Ambientes (2007)	72 m2	Concepción (Sur Litoral)	No especificado	No especificado	Acorde de mediciones casos reales (No publicado)	180 kWh / m2 al año
El Autor	72 m2	Concepción (Sur Litoral)	Ecodesigner	200 kWh/m2 por mes	Valores U Cielos 0,53 / Muros 2,6 / Suelo 4,34 / Ventanas 2,6. ACH:3,78. Temperatura de confort: entre 20 y 25 °C	95,45 kWh /m2 a 136,15 kWh/m2 al año (variación por orientación y vientos predominantes)

24 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

investigaciones de Bustamante y Donoso [3; 4]; respecto a Celis [1], está cercano a su valor máximo y en relación con el Ambiente [5], nuestro modelo presenta un desempeño sustancialmente superior, diferencia atribuible a las mejores carpinterías de ventanas, ya que este último referente considera la no utilización en absoluto de aislamientos, con altos rangos de infiltración acorde con las mediciones in situ. Se comprobó que la herramienta de simulación BIM muestra resultados semejantes a obtenidos en software especializado y estudios anteriores, aunque con alta dispersión, atribuible a que todos los casos provienen de supuestos distintos.

Con el objeto de revisar el simulador de captadores térmicos, se analizaron diferentes modelos de Ecodesigner® para ser comparados con otras

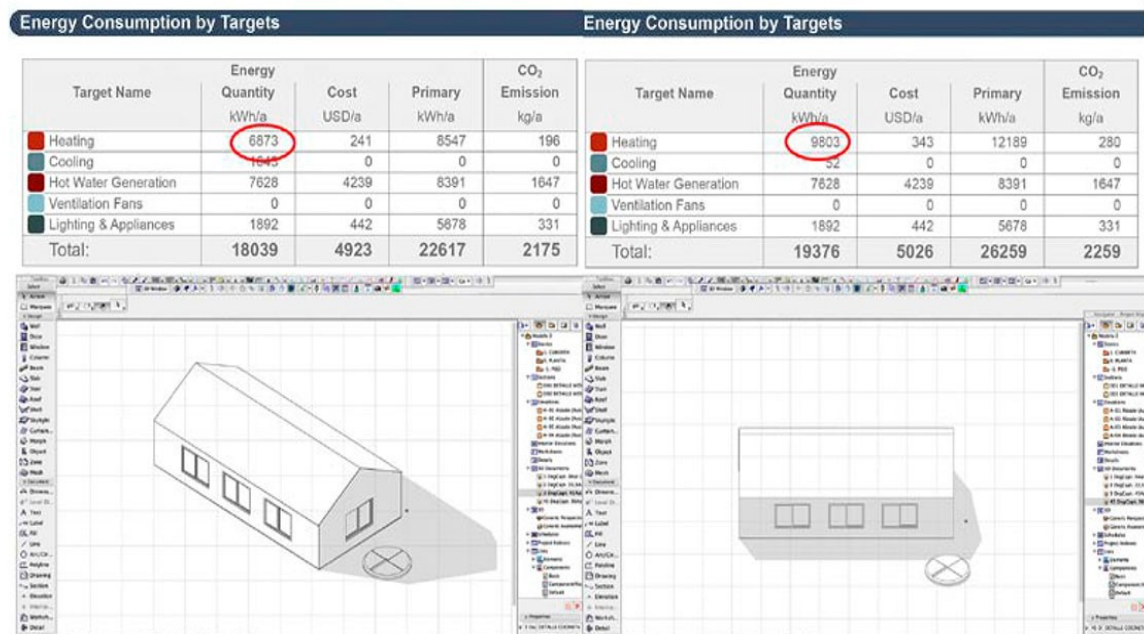


Figura 4: Resultados de energía para calefacción acorde con la orientación. (Los Autores).

investigaciones. En el modelo de vivienda elaborado en Archicad®, con uno de los costados de la techumbre orientada exactamente perpendicular al norte e inclinada 36°, con un colector de 2 m² en Concepción, la producción resultante simulada es 2 553 kWh/año. El modelo con la misma orientación y techumbre inclinada 51° indicó una producción de 2 384 kWh al año, lo que implica una disminución de 6,6 %. Una variación similar se advirtió en el estudio de Caroline Hachem [6], quien al incrementar la inclinación desde 45° a 60°, vio disminuir la producción en 7,5 %. Al revisar la orientación, cuando el modelo se rotó 30° respecto al norte, con pendiente de 36°, la producción disminuyó a 2 195 kWh/año o 14 %; C. Hachem [6] cuando realizó la misma modificación redujo únicamente 5 % respecto a máxima producción. Estos resultados reflejaron una concordancia en variación por inclinación y algo de diferencia en la variación por orientación, que puede ser originado por distinta latitud de ambas ciudades analizadas (Concepción y Montreal) y el tipo de captación: térmica con fluido líquido, vs. aire sin dispositivo de almacenamiento. En ningún caso las variaciones comparadas provocaron disminución que afecte más de 85 % de captación y las pérdidas por orientación mostraron ser superiores a las generadas

por pendiente, equivalente a otros estudios. Variaciones en inclinación y orientación muestran ser factores de potencial aprovechamiento en otras investigaciones, cuando intencionalmente se mejora la producción en distintas temporadas u horas [7; 6; 8], considerando una disminución de producción anual mínima. En cuanto a eficiencia del colector, más factores de pérdida por almacenamiento, distribución, etc; teniendo en cuenta que para Concepción, un plano inclinado 37° recibe 1 602 kWh/año [9], para obtenerse 2 553 kWh/año de energía útil (resultado de Ecodesigner®), el nivel de rendimiento o eficiencia utilizado por el software está en el orden de 0,75, indicador en el rango máximo para colectores térmicos.

Evaluación Paramétrica de caso de estudio.

Se explora paraméricamente aspectos formales de modelo de vivienda frente a sistemas solares térmicos y demandas energéticas consecuentes. En los antecedentes respecto a colectores se advierte que inclinación y orientación son relevantes para la producción energética [13; 14], incluso puede resultar estratégico para mejorar la producción temporal: En invierno cuando existe mayor demanda, al incrementar la verticalidad del colector, contribuye a evitar sobrecalentamiento en verano y aumentar producción cuando crece el requerimiento [8], por el contrario si se necesita mayor producción en verano, por ejemplo para acondicionar piscinas, la inclinación del captador puede ser inferior [13; 15]. Con estos criterios, para Concepción se admite un rango de inclinación de captadores entre 21° y 51°, por latitud lo óptimo es 36°. Para requerimientos de calefacción, lo adecuado será adicionar 10° a 15° de pendiente (por mayor demanda invernal), entonces coincidiría con los 45° de inclinación sugerido también por CDT [16].

Con estas consideraciones, se modelan y simulan algunas opciones, incluyendo algunas en condiciones no adecuadas, modificando los siguientes parámetros:

- Orientación de la vivienda: disposición del volumen y orientación consecuente de ala de techumbre al norte verdadero, es decir, 0° de desvío en azimuth (situación óptima), luego rotaciones paulatinas de 22,5°, 45°, 90° (este se considera similar entre este/oeste) y 180°, que corresponde a colocar captadores en la cubierta opuesta a la disposición a 0°, para determinar la producción potencial energética más desfavorables, con nula irradiación directa.
- Inclinación de cubierta/captadores: Ángulo de inclinación de techumbre respecto a la horizontal. Se consideraron variaciones desde 1° (prácticamente horizontal), luego 15°, 30°, 45° y 89° (prácticamente vertical representando colector ubicado en fachada).
- Cantidad de captadores o área de captación: Se considera un dimensionamiento modular de paneles con área de absorción de 2 m² cada uno. Desde 0 captadores como caso base, luego 1, 2, 3 y 6 captadores (0, 2, 4, 6 y 12 m² respectivamente).

La combinación de estos factores genera 125 modelos en Archicad® y se analizan consecutivamente con Ecodesigner®, registrando sus resultados individuales en una matriz de datos (figura 5).

Resultados

Demanda y Aporte Energético Térmico Solar

Para cada modelo analizado, se obtuvo un reporte de demanda energética total, y contribución solar activa (ambos en kWh por año); el gasto de combustibles estimados (en dólares-año), emisiones de gases invernadero (en kilos de CO₂ anual) y gasto monetario potencial con los precios

26 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

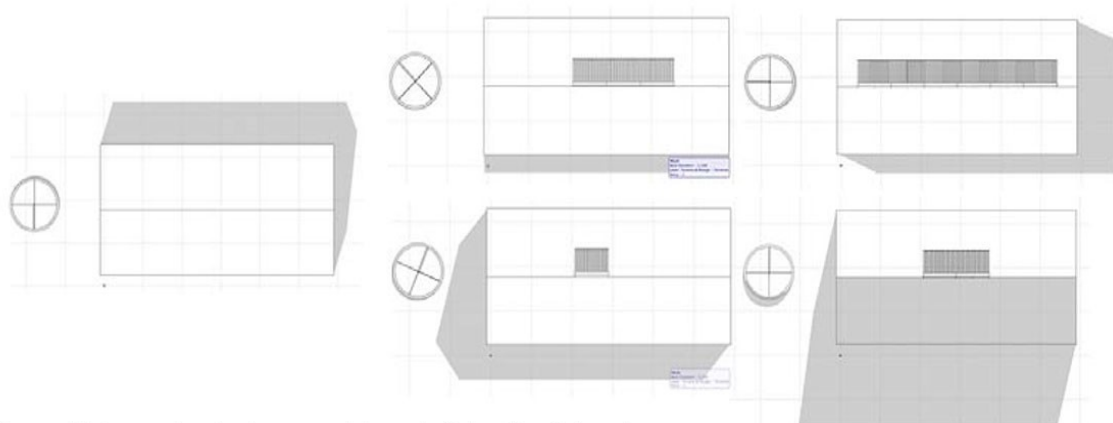


Figura 5: Vista superior de algunos modelos estudiados (Los Autores).

energéticos locales (o ahorro consecuente), los cuales son resumidos en tabla 3. Al sumarse demandas y ganancias internas se observó que para calefacción puntualmente, el requerimiento osciló entre 6 800 a 9 500 kWh/año. En gasto monetario, el software estimó desde prácticamente 1 000 hasta más de 5 000 dólares anuales en los casos extremos, y esto en dependencia directa con el número de captadores; las emisiones de CO₂ calculadas oscilan entre 700 hasta 2 200 kg de CO₂ por año (también en consecuencia fundamentalmente al número de captadores). Se evidenció que los parámetros revisados poseen incidencias sustanciales en la eventual recolección de energías renovables, consumo de combustibles e impacto a la atmósfera, los cuales son descritos en lenguaje sencillo al arquitecto.

Al consolidarse datos, considerando únicamente orientación, el requerimiento energético total es menor cuando se emplaza el modelo con su lado más extenso rotado 45° respecto al norte, resultando en una demanda de 6 874 kWh para calefacción, lo cual significa 96 kWh/m² al año. La disposición con mayor requerimiento fue con orientación norte/sur, con 9 803 kWh por año, lo que implica 136,5 kWh/m² por año. Este resultado contradice las recomendaciones de disposición mayor este-oeste, por un incremento de la contribución solar. Sin embargo, el modelado se programó en lugar abierto descampado, con vientos predominantes acorde con el archivo climático (proviene de SW y S) lo cual incidió en las demandas. El requerimiento energético global promedio para calefacción considerando todas las orientaciones según resultados de Ecodesigner® fue 119,34 kWh/m² por año, similar a otros estudios.

Cuando se adoptó la hipótesis de captadores solares térmicos dispuestos casi verticalmente (89°), se observó que de todas las orientaciones estudiadas, la producción máxima obtenida fue 7 469 kWh con orientación norte. Cuando se giró 22,5° respecto al norte la producción anual disminuyó al 80 %; con 45° de rotación, la disminución de producción fue a 66 % del máximo y con rotación de 90°, la producción alcanzó únicamente el 45 %; finalmente con los captadores orientados completamente al sur, se generó 21 % respecto a la mejor producción. Se muestra una fuerte incidencia de la orientación con inclinación alta, obteniéndose una quinta parte respecto a la máxima posible. En contraparte cuando la cubierta y captadores fueron dispuestos casi o cerca de la horizontal (15° de pendiente), la producción máxima mejora a 9 959 kWh/año y disminuye únicamente a un 77 % en

28 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

condiciones más desfavorable (encarando al sur), hecho explicable porque recibe mayor irradiación, incluso directa, gran parte del año, a pesar de estar completamente mal orientado (figura 6).

Según pendientes de cubierta se observó una producción máxima con 45°; en esta circunstancia con 6 captadores se alcanzó un aporte de 11 141 kWh/año. Con los colectores inclinados 300, la producción disminuye mínimamente. Se confirmó que una variación cercana a 10° respecto a la pendiente óptima no representa una pérdida apreciable, coincidiendo con CDT [16] y Hachem [6]. Con 15° de inclinación también se apreció una pérdida leve. Una reducción sustancial se produjo con los colectores en vertical

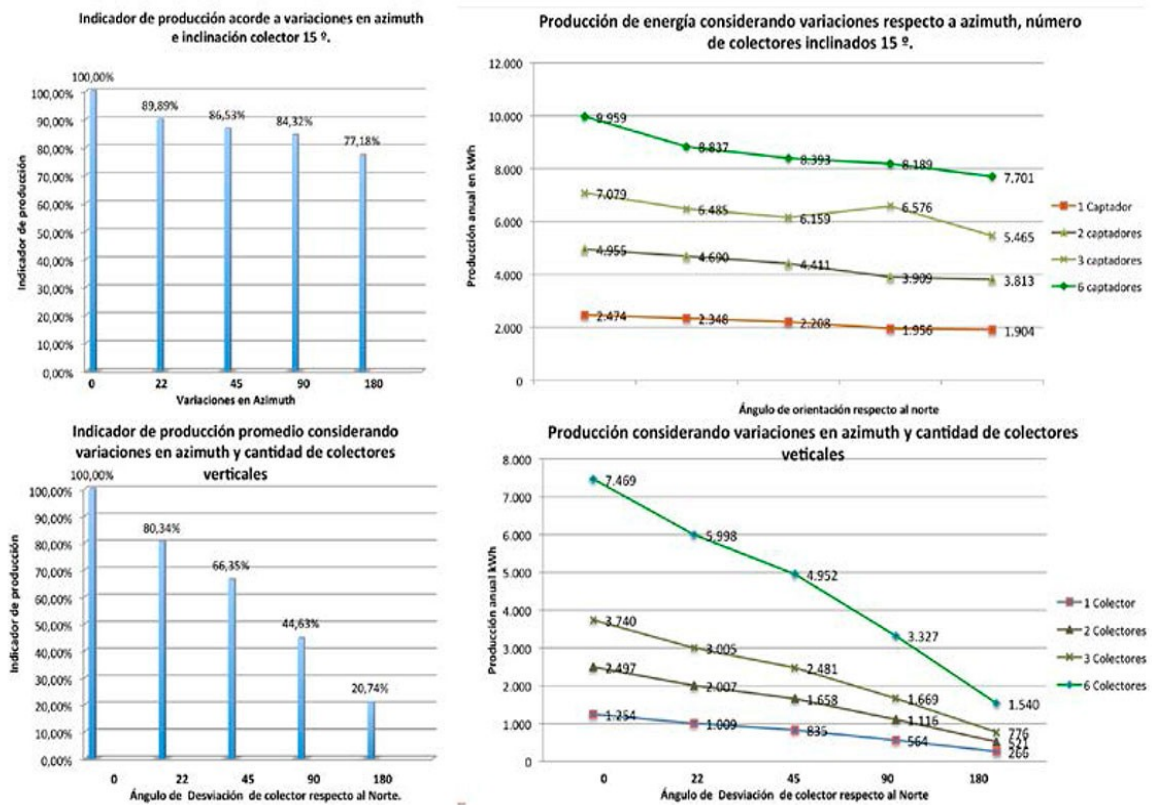


Figura 6: Comparación de desempeño de colectores dispuestos verticalmente respecto a colocados prácticamente horizontal. (Los Autores)



Figura 7: Distintas variaciones visuales generadas conjuntamente con simulaciones energéticas. (Los Autores)

presentando una producción de 57,57 %, respecto a la máxima; además esta disposición es más proclive a agentes externos como sombreados, especialmente con colectores dispuestos en fachada (figura 7).

De acuerdo con la superficie de captación, se advirtió que el incremento de producción es casi lineal hasta colocar seis metros cuadrados o tres colectores. Luego, al haberse completado la demanda de ACS y no requerirse calefacción en verano, el aporte disminuye por m² de colector. Colectores adicionales producen menos energía por m² conforme se incrementa la superficie de captación mostrando ineficiencia. Se concluye que para el requerimiento global de la vivienda estudiada, no debería instalarse más de tres colectores de 2 m². (figura 9)

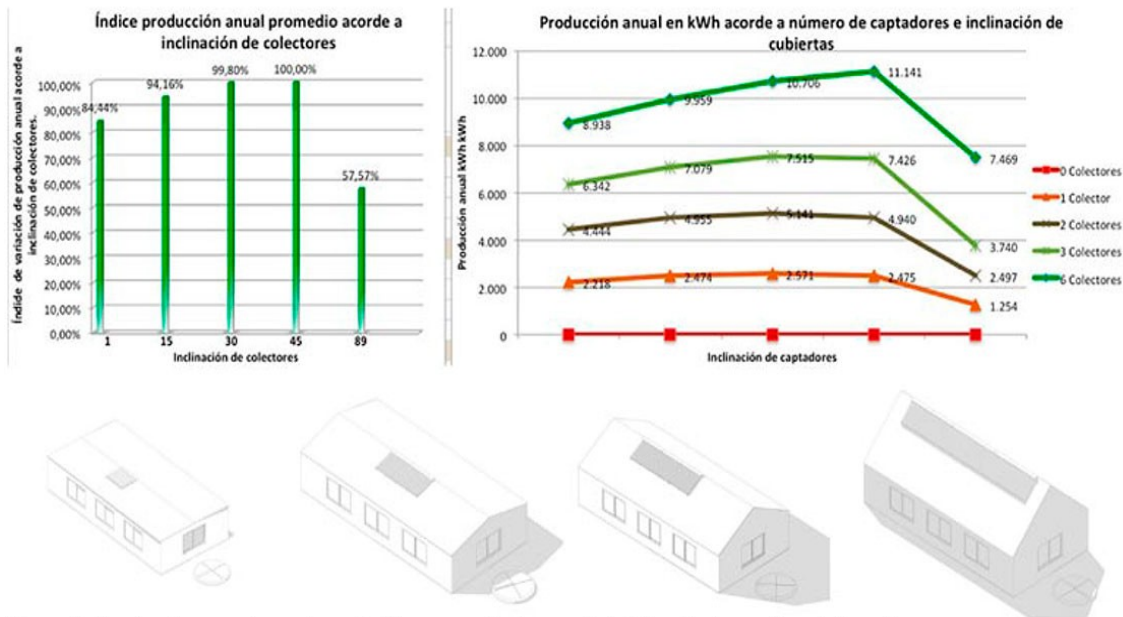


Figura 8: Producción acorde con la variación en pendiente y cantidad de colectores. (Los Autores)

Finalmente para determinar el volumen requerido de almacenamiento y en consecuencia al volumen del tanque, se adoptó la fórmula indicada en CDT [16], la cual expresa: $50 L > (V/a) < 180 L$ (V: Volumen de agua de almacenamiento; a: Área de captadores), la cual determinó un volumen máximo de 1 080 L para los 6 m² de captación. Otra alternativa de dimensionamiento es acorde al uso de ACS por persona, en este caso Ecodesigner® se rige por la normativa Sueca que establece 100 L/ persona (superior a la indicada en CDT [16] de 50 L/persona en Chile), otra relación utilizada es optar entre 75 y 100 L/m² de captación [17], en nuestro modelo esto representa 420 a 600 L. Hay que considerar almacenamiento en el rango mayor, por la contribución propuesta y conexión a calefacción con tecnología Combi, para lo cual H. Gajbert [8] sugiere que con 50 m² de captación es necesario un almacenamiento de 4 m³. Bajo este precepto para el sistema planteado de 6 m², el volumen de almacenamiento deberá estar alrededor de 480 L de adoptarse el dato de Gajbert proporcionalmente. En cualquier caso, es necesario ubicar el almacenamiento a nivel de suelo, idealmente al interior de la vivienda por aislamiento y por peso de fluido (por lo menos media tonelada de agua en zona sísmica). El espacio interior necesario es inferior al actual utilizado en la mayoría de viviendas de la zona

30 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

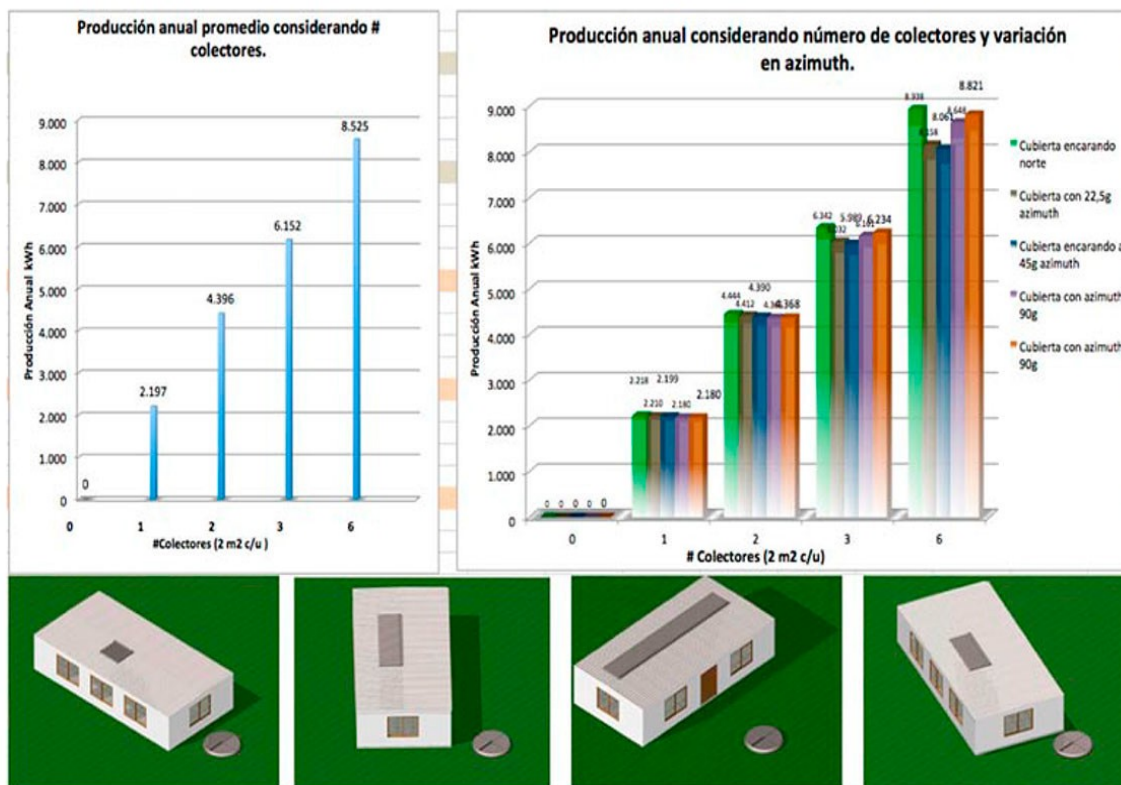


Figura 9: Desempeño acorde con el número de captadores.

para almacenar leña. Otra consideración importante expuesta por Gajbert [8], es no superar con producción el 95 % de demanda de ACS (y volumen de almacenamiento), antes de tornar en ineficiente por sobreproducción; ante esto, los resultados de Ecodesigner® muestran que con tres captadores se generan 6 427 kWh para una demanda de ACS de 7 628 kWh, cubriendo el abastecimiento en un 84 %, próximo a lo expuesto por Gajbert [8] para tecnología Combi (95 %). Con 4 captadores, se rebasa el requerimiento mencionado para ACS, coincidente con pérdida de eficiencia por m² de colector. Se demuestra entonces que el programa permite al arquitecto detectar sobredimensionamiento si analiza los resultados de aumentar superficie de recolección cuidadosamente, aunque debería (y sería óptimo) que lo alerte o declare directamente. Se descifró entonces que tres colectores representan un área apropiada de captadores térmicos para este modelo, con tecnología Combi ACS-Calefacción.

Para resolver la limitación por sobreproducción y almacenamiento e incrementar al máximo la capacidad de recolección térmica, existe la posibilidad de almacenamiento de energía térmica en subsuelo, en colaboración con tecnología geotérmica y bomba de calor, para recolección con almacenamiento térmico comunal (varias casas unifamiliares con grandes superficies de captación), sistema que puede cubrir demandas estacionales, almacenándose energía por meses [2; 3; 18], por ahora costoso, con potencial a futuro.

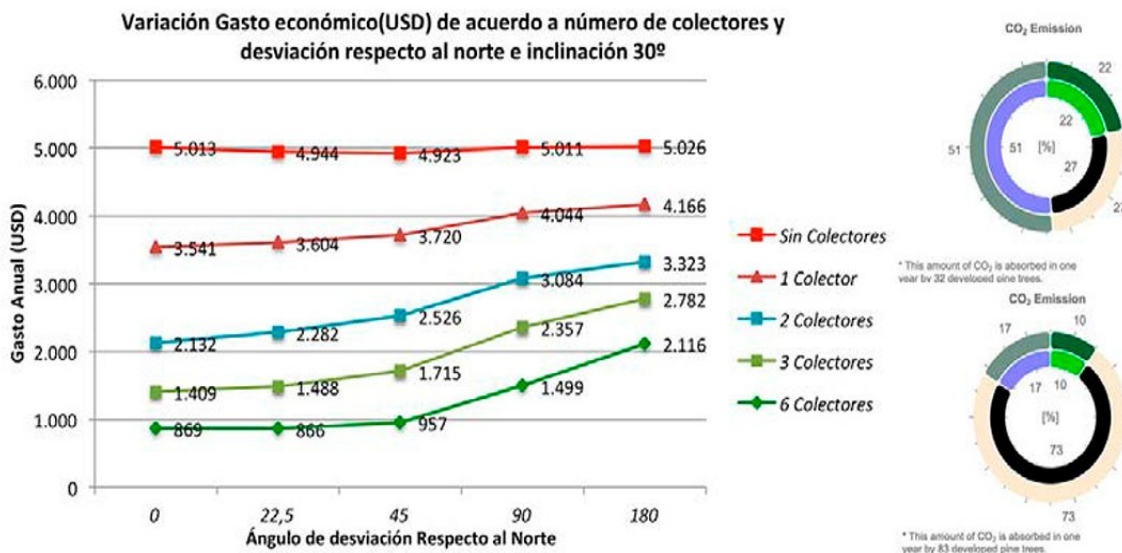
Financieramente considerando precios energéticos de septiembre de 2013 para electricidad, leña y gas natural, el ahorro económico estimado

se muestra en tabla 4. Se observa disminución de gasto parejo cuando se instalan entre 1 y 3 colectores alcanzándose un 71,8 % de ahorro; con seis colectores el ahorro llega solamente al 82,7 %, por la pérdida de eficiencia ya explicado; también se muestra incremento de gasto por deficiente orientación. El software declara que la vivienda sin colectores térmicos emite CO₂, equivalente al absorbido en un año por 83 pinos desarrollados, mientras en el caso de la utilización de 3 colectores, las emisiones se reducen a la absorbida por 32 pinos desarrollados. El tiempo de amortización del sistema, teniendo como precio referencial de la instalación, incluyendo piso radiante de 11 700 USD acorde los precios publicados por CYPE Ingenieros Chile [19], podría pagarse la instalación en menos de 5 años.

Desarrollo arquitectónico detallado del Sistema Solar Térmico Integrado

Se revisó una alternativa de integración arquitectónica a través de la misma plataforma computacional, al elaborarse un modelo constructivo completo a partir del anteproyecto esquemático inicial. Se consideró la tipología y dimensionamiento analizado en la evaluación paramétrica y con las capacidades de examen geométrico más la visualización gráfica

Tabla 4: Gasto en energía de uso doméstico anual dependiente de número de colectores y orientación



que posibilita el software BIM, se adoptó una solución de captación solar incorporada en la configuración arquitectónica de la vivienda de forma integral y constructiva.

La definición material se basó en la normalización oficial del Ministerio de la Vivienda (MINVU), considerándose una casa habitacional popular, basándose en el "Catálogo de Viviendas Aprobadas 2012" [20]. Se adoptó la distribución funcional de la tipología N° DITEC-059-MUS-01-61 que posee una altura y proporción similar (adaptando la superficie total de 61 a 72 m²), con sistema estructural según la tipología N° VIII-031-ELIANA-01-45, que corresponde a la materialidad planteada previamente, asumiendo la techumbre del tipo "Coyahue" aprobada por el Ministerio de Vivienda de Chile (figura 10). El sistema de techumbre contempló estructuras reticuladas de madera y planchas acanaladas de cubierta. El dispositivo de captación solar considerado se compone de colectores de tubo de vacío integrado a la cubierta. Se planteó además adoptar la transparencia y filtración solar del

32 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

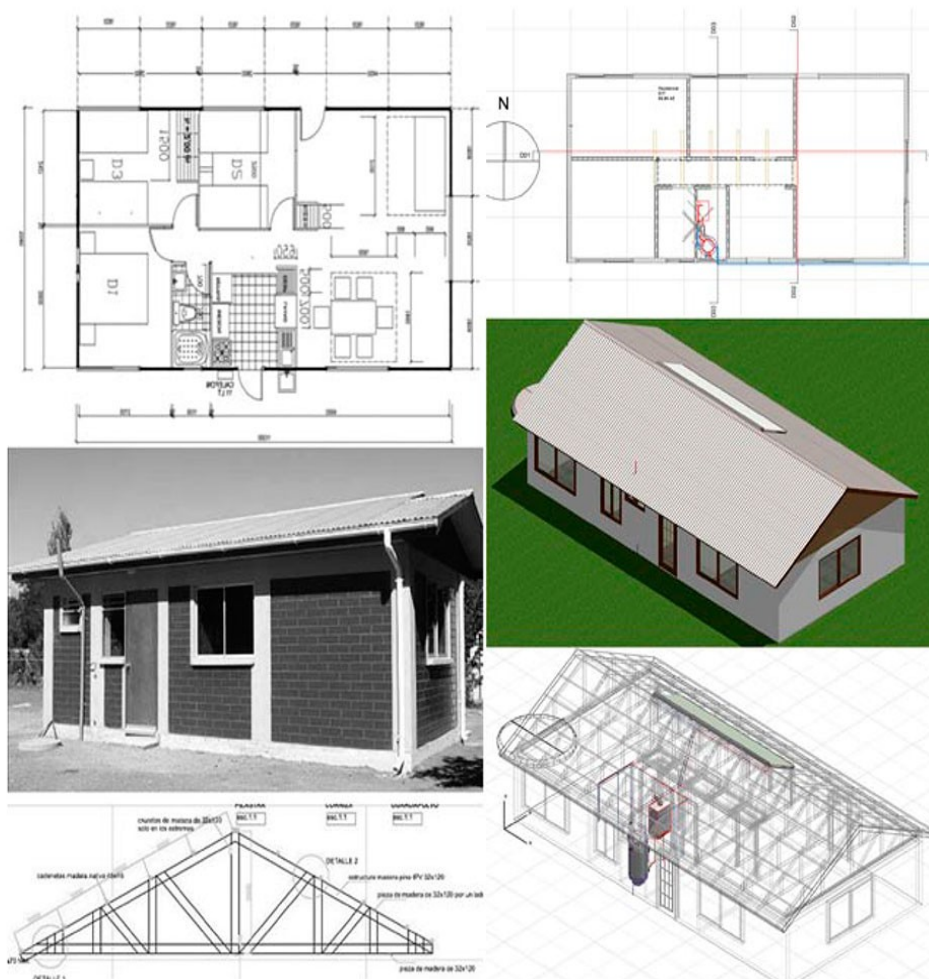


Figura 10: Planta, fotografía y detalle de techumbre de vivienda MINVU de referencia de la zona Centro-Sur de Chile (izq.). [16]. Planta, vista renderizada y transparente del modelo elaborado en Archicad con sistema Combi integrado para captación de energía solar en configuración de vivienda (der.).(Los Autores)

tipo de colector para otorgar y controlar iluminación natural al interior de la vivienda. El tanque de almacenamiento se localizó en recintos de servicios internos, por lo demás se mantuvo la distribución interna y configuración volumétrica del modelo MINVU. Se modeló la adopción del sistema Combi con su totalidad de partes, lo que exigió un sitio interior para localizar el almacenaje, redes y dispositivos de funcionamiento. En cuanto al esquema de redes, se adoptó "Sistema Indirecto con Circulación Forzada" [16], con fluido calo-transportador circulando desde el colector, llevando energía térmica al tanque de almacenamiento.

Con las condiciones manifiestas, se detalló el modelo tridimensional en BIM, considerando la inclusión de tres colectores de tubos al vacío en ala de cubierta orientada al norte, aspecto que se determina como área de captación adecuada en la etapa previa. Se consideró fijaciones a la estructura de cerchas y sellos de aguas lluvias con las restantes planchas metálicas de cubierta. Se conforma un lucernario en pasillo central para aprovechamiento de radiación y luz entre los tubos de vacío, lo cual posibilita captación solar pasiva filtrada. El lucernario considera paramentos aislados

con terminación reflectante y esclusa acristalada en el cielo para evitar fugas térmicas excesivas, a la vez practicable para ventilar en verano (figura 11). Similar aplicación ya ha sido experimentada en edificios corporativos [22]. El software permitió entender el resultado al generar vistas interiores y revisar la espacialidad lograda en las representaciones generadas.

Se modeló las instalaciones, red y equipos necesarios acorde con la disposición Sistema Indirecto con Circulación Forzada [16]. Se prevé un local de 4 m² junto a recintos húmedos de la vivienda, en donde se alojó el tanque de almacenamiento energético, termostato, controles y medidores de funcionamiento, además de la bomba de recirculación. La calefacción es por losa radiante, distribución térmica ideal para sistema Combi [8] por eficiencia, al requerirse menor temperatura en fluido (menos de 40 °C), lo que implica ahorro de energía en comparación con el uso de radiadores

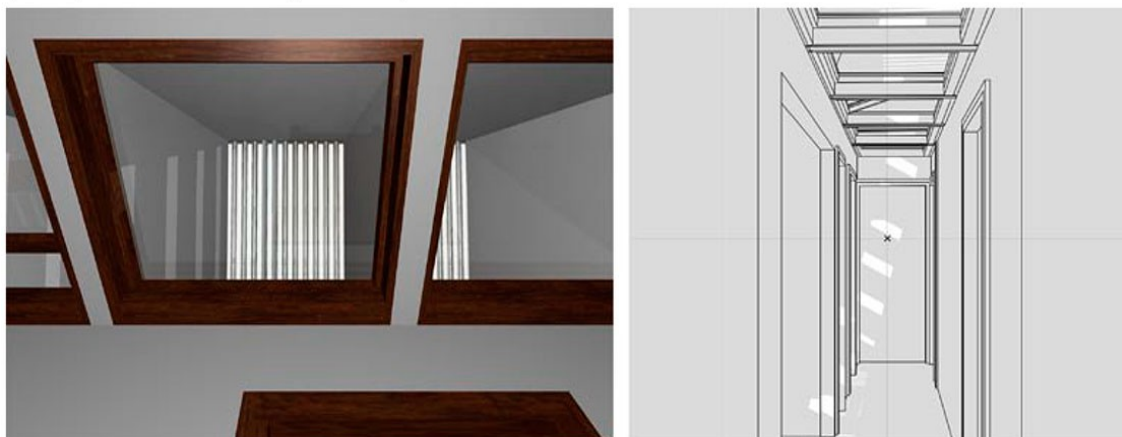


Figura 11: Vistas interiores de integración arquitectónica de colectores con lucernario. (Los Autores)

que requieren entre 700 y 900 °C, (además es calefacción definida como más confortable) [23]. De este modo, se completa el modelo constructivo, técnico y visual con menos posibilidad de error (figura 12). Se comprobó la adecuación de la tecnología a los recintos y posibilidad cierta de ejecución.

Se ejecutó una nueva simulación de desempeño energético para compararlos con los modelos esquemáticos previos. Para la comparación se recoge la simulación correspondiente a las mismas condiciones como pendiente de cubierta, orientación y número de captadores previamente desarrollado. Se observó una disminución de requerimiento energético puntualmente en el rubro calefacción, lo cual es producto de la ganancia solar y térmica obtenida en el lucernario. Mientras tanto la cantidad absorbida por los captadores térmicos y las emisiones de CO₂ se mantienen muy cercano en ambos casos. El ahorro que se evidencia es menor requerimiento de leña, de 7 820 a 5 896 kWh/año. Esta reducción representa una baja del consumo en 25 %, reflejando importancia de la captación solar pasiva. Acorde con la simulación se logró además una reducción en la emanación de gases de invernadero, con una demanda energética general equivalente a un tercio de la usual en el país, tomando en referencia viviendas de similar configuración (tabla 5).

Conclusiones

Este trabajo presenta una experimentación computacional integrada de diseño arquitectónico con cálculo energético, para incorporar sistemas de captación solar en vivienda, y así promover sistemas renovables en las

22. VIESMANN, SL. "La tecnología solar bajo una nueva luz: Los colectores como elemento decorativo". En: *Sitio Web de Viessmann*. [en línea] [consulta: 9 septiembre 2013]. Disponible en: http://www.viessmann.es/content/dam/internet-es/pdf_documents/brochures/vitosol/9447023_ti_133_vitosolar.pdf

23. RELAÑO, Antonio. "Proyecto de instalación solar para agua caliente sanitaria, calefacción y piscina en un edificio de viviendas". Director: Domingo José Santana Santana Tesis de Diploma de Ingeniería Industrial [en línea] Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos, Madrid, 2010. [consulta: 9 septiembre 2013]. Disponible en: <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/9478>

34 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

construcciones residenciales. Se revisó la modelación y análisis simultáneo de una tipología de vivienda unifamiliar localizada en Concepción, Chile, con superficie de 72 m². Definiendo paraméricamente la orientación y

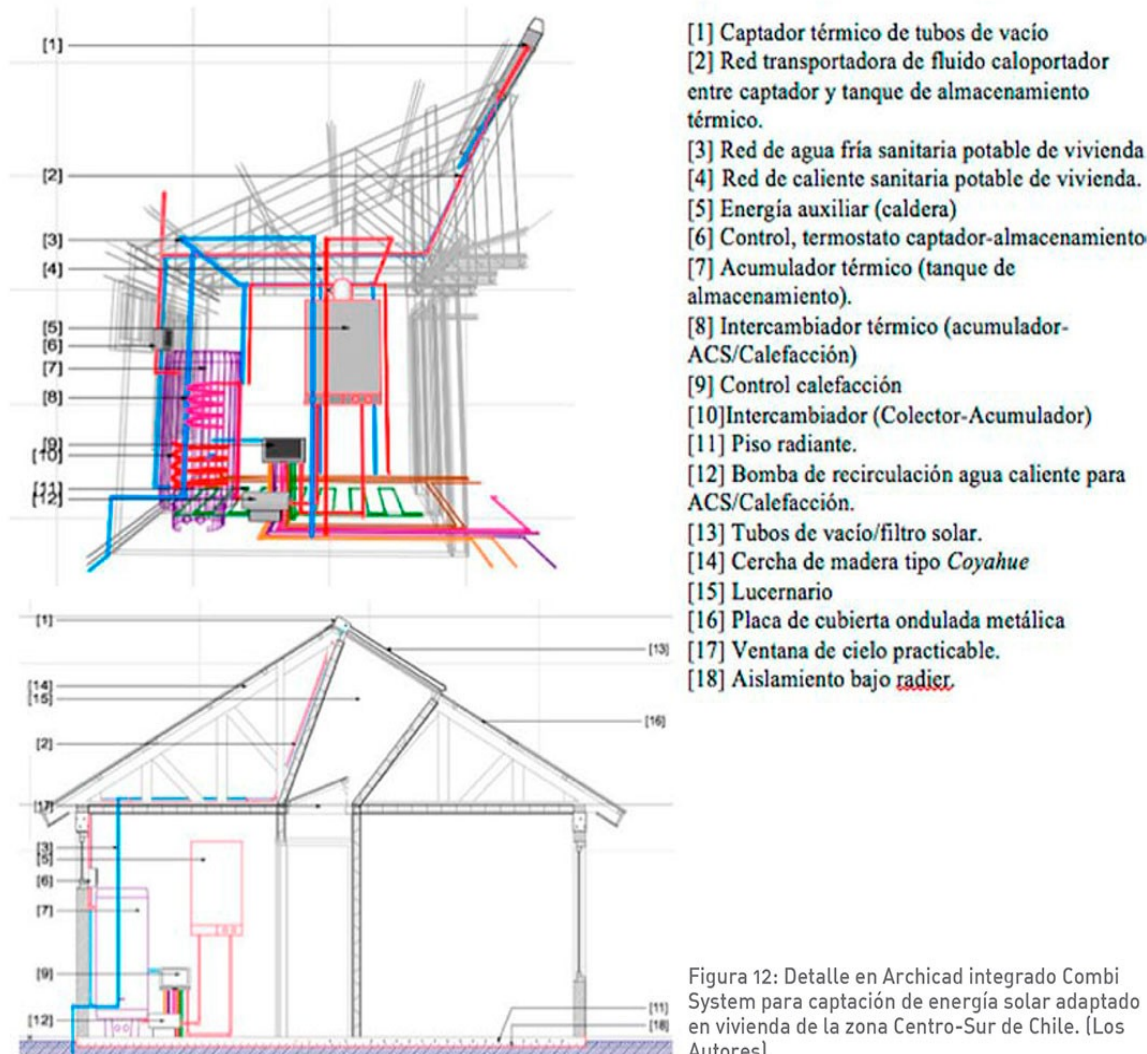


Figura 12: Detalle en Archicad integrado Combi System para captación de energía solar adaptado en vivienda de la zona Centro-Sur de Chile. [Los Autores]

Tabla 5: Comparación de requerimiento energético en modelo de análisis energético respecto a modelo de vivienda con Combi System desarrollado por completo e integrado arquitectónicamente.

	Consumo total KW/año	Consumo Calefacción KW/año	Cantidad kWh/año en sistemas captación	gasto USD/año	CO2 (kg/año)
Modelo simulación original 3 captadores, Pendiente 30°, Orientación norte	18726	9150	7426	1333	832
Modelo simulación con 3 captadores, Pendiente Cubierta 30° y Oreintación norte + alteración por referentes funcionales y constructivos MINVU + Integración arquitectónica de lucernarios-captadores	16807	7290	7290	1333	804



Figura 13: Conjunto de viviendas con sistema de colectores dimensionados e integrados en Archicad y Ecodesigner. (Los Autores)

configuración arquitectónica en relación con la dimensión y rendimiento de paneles térmicos solares, con las capacidades de modelación BIM de Archicad® y el cálculo directo en Ecodesigner®. Al variar seis parámetros combinados en 125 modelos y simulaciones relacionadas, se encontraron valores iniciales equivalentes a estudios similares, con tendencias consistentes. Se pudo revelar el impacto de la cantidad de paneles y la superficie captadora en relación con el aporte potencial en la demanda energética de la vivienda. Se determina una capacidad adecuada utilizando una fracción de la cubierta, con un área de captación máxima de 6 m² para el modelo de 72 m² planteado, lo que resulta coincidente con sugerencias de investigaciones para una tecnología solar híbrida (Combi). Los resultados mostraron la incidencia de la inclinación y orientación de la techumbre en la capacidad productiva de los colectores (15 % de pérdidas por variaciones de 30° en inclinación y orientación), descifrando las disposiciones más adecuadas.

Luego se desarrolló la configuración completa de la vivienda con una implementación solar térmica, de acuerdo con la tipología más óptima identificada en la evaluación inicial, y con un detallado de acuerdo con los sistemas constructivos vigentes. Se aplica una instalación combinada para agua caliente sanitaria y calefacción, con paneles de tubos al vacío como elemento constitutivo de cubierta. La simulación sugiere la posibilidad de abastecer el 84 % de ACS y 49 % de la demanda térmica total permitiendo un ahorro económico de hasta el 70 % anual bajo condiciones ideales. Además se utilizó las características de filtración de luz del colector para conformar un lucernario que aporte iluminación natural, y disponer los equipos de control y almacenamiento en recintos interiores. Se elaboró la representación técnica de la instalación al tiempo de lograr visualizaciones para entender la configuración arquitectónica.

Esta experiencia permitió comprobar novedosas capacidades integradas de diseño arquitectónico y análisis energético, lo que otorga relevantes posibilidades para la formulación de proyectos de edificación con un mejor

36 Con Criterio/ Diseño arquitectónico integrado de sistemas solares térmicos en techumbres de viviendas

comportamiento, a través del proceso aquí propuesto. El ejercicio aplicado con equipamiento de captación solar en viviendas regulares del centro-sur de Chile, permitió también definir alternativas eficientes de configuración arquitectónica y dimensionamiento de las instalaciones, estimando una contribución importante. Las capacidades integradas sugieren por tanto una potencialidad de formulación de soluciones energéticas adecuadas en los proyectos arquitectónicos, logrando así edificaciones más sustentables.

El caso analizado insinúa posibilidades relevantes para mejorar el desempeño ambiental de las viviendas de la zona, con la instalación de sistemas apropiados de captación solar térmica, demostrando una reducción relevante en los gastos familiares con inversiones reducidas. Se promueve disposiciones de las viviendas por orientación e inclinación de techumbre que permitirían lograr estructuras urbanas con zonas residenciales extensas con bajos consumos energéticos. Adaptando los modelos habitacionales para un crecimiento urbano más sustentable. Ciertamente se deben revisar las implicancias económicas y urbanas de las configuraciones sugeridas, como también verificar su ejecución y comportamiento efectivo.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte de tesis en desarrollo en el Doctorado en Arquitectura y Urbanismo, de la Universidad del Bío-Bío, Concepción Chile, con apoyo del proyecto CONFIN AKA-ERNC 007 de Conicyt.



*Esteban Zalamea León.
Arquitecto Universidad de Cuenca;
Magíster en Construcciones de
la Universidad de Cuenca; Dr(c)
en Arquitectura y Urbanismo de
Universidad del Bío Bío; Depto. Diseño
y Teoría de la Universidad del Bío Bío,
Concepción, Chile.
estebanzl@gmail.com*



*Rodrigo García Alvarado.
Depto. Diseño y Teoría de la
Arquitectura, Universidad del Bío Bío,
Concepción, Chile. rgarcia@ubiobio.cl*

Artículo II: ROOF CHARACTERISTICS OF INTEGRATED SOLAR
COLLECTION IN DWELLINGS OF REAL-ESTATE
DEVELOPMENTS IN CONCEPCION, CHILE



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

Zalamea, Esteban; Garcia Alvarado, Rodrigo
Roof characteristics for integrated solar collection in dwellings of Real - Estate developments in
Concepción, Chile
Revista de la Construcción, vol. 13, núm. 3, diciembre-, 2014, pp. 36-44
Pontificia Universidad Católica de Chile
Santiago, Chile

Available in: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127636986005>

- ▶ How to cite
- ▶ Complete issue
- ▶ More information about this article
- ▶ Journal's homepage in redalyc.org

redalyc.org

Scientific Information System

Network of Scientific Journals from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal

Non-profit academic project, developed under the open access initiative

Roof characteristics for integrated solar collection in dwellings of Real-Estate developments in Concepción, Chile

Características de techumbre para captación solar integrada en viviendas de conjuntos inmobiliarios de Concepción, Chile

Esteban Zalamea (Main and Contact Author)

Universidad del Bío Bío; Depto. Diseño y Teoría de la
Universidad del Bío Bío, Concepción, Chile.
estebanzl@gmail.com
Av. Collao 1202, Concepción, Chile, CP 4051381
+56 42 3111400 / 56 (9) 56595727

Rodrigo García Alvarado

Universidad del Bío Bío, Depto. Diseño y Teoría de la
Arquitectura, Concepción, Chile.
rgarcia@ubiobio.cl
56 (41) 3111409

Manuscript Code: 0363

Date of reception/acceptation: 01Jun2014/01dec2014

Resumen

Este artículo presenta un análisis de techumbres de viviendas unifamiliares recientes en Concepción, Chile, con el objetivo de determinar su potencial de captación solar integrada, buscando promover la instalación de sistemas domésticos renovables frente a la creciente demanda energética residencial. Se analiza un registro de 2.139 viviendas de la comuna construidas después del 2006 (que corresponden a un 68,28% del total en el periodo), las cuales presentan cubiertas inclinadas con una superficie media de 84,7 m² por unidad, divididas entre tres y doce alas con inclinación media de 37,48°, con un ala mayor o secundaria orientada al sol con un promedio de 33,9 m². Esta superficie recibe una radiación anual total entre 954 kWh/m² a 1.732,8 kWh/m² según azimut e inclinación, que con paneles fotovoltaicos integrados de un rendimiento regular, pueden otorgar una media de 6.317,2 kWh. Esta producción puede suplir cabalmente el promedio de consumo eléctrico anual, con remanentes temporales para la red urbana o contribuir para calefacción. Se estima también una producción dual con tecnología térmica-fotovoltaica, que puede duplicar la generación de energía útil. Los resultados expresan una adecuada relación de recolección solar integrada en techumbres con las condiciones del desarrollo residencial en la zona.

Palabras Clave: Vivienda, energía solar, techumbre, chile, integración arquitectónica.

Abstract

This paper presents an analysis of the roofs of recently built single-family homes in Concepción, Chile in order to identify their potential for integrated solar energy collection. It seeks to promote the installation of domestic renewable energy systems in the face of growing residential energy consumption. The study comprises 2,139 homes in the district, all of which are part of residential developments built since 2006 (68.28% of total homes built over this period). The houses all have pitched roofs with a mean azimuth of 37.48°. The largest or second largest roof section was identified for each housing model, facing north, east or west with an average area of 33.9 sqm. This roof surface receives a total annual solar radiation of between 954 kWh/sqm and 1,732.8 kWh/sqm (depending on size, azimuth and pitch), which, equipped with average-performance integrated photovoltaic panels, could supply a mean value of 6.317.2 kWh/year. This production could fully supply the average household annual electricity consumption, with surplus production either fed into the national grid or contributing to household heating needs. Dual production was also assessed with thermo-photovoltaic hybrid technology that could double useful energy production. Results show that the roof characteristics of new housing are compatible with integrated solar collection.

Keywords: Housing, solar energy, roofing, chile, architectural integration.

Introduction

Cities have high energy consumption rates that could be offset by tapping into renewable energy sources, taking advantage of the characteristics of the urban environment. Demand and production of renewably sourced energy could even be shared between different urban sectors (Lund, 2012). One example is the use of integrated solar energy collectors in the pitched roofs of the single-family homes common on the periphery of developing cities such as Concepción, Chile. In order to determine the production capacity of such systems, available roof area and possible contribution to domestic requirements must be quantified according to the technology available (IEA, 2012; Lund, 2012). This study reviews the characteristics of residential roofs in Concepción, taking three necessary conditions into consideration: a) the roof area must be sufficiently large and used solely for coverage purposes (and so be available for solar energy collection); b) the roof area must be safe from theft or damage; c) the roof area must have a suitable orientation for

solar energy collection in mid-latitude areas (Gagbert, 2008; Hachem, 2012; CDT, 2013).

Solar active technology must be considered like a complement to passive strategies (Hatt *et al.*, 2012). Previous studies have already identified that the specific conditions needed for large-scale solar energy collection are present in several urban zones (IEA, 2009; Hachem, 2012), although there is a lack of analyses of building integrated systems (Wall *et al.*, 2012; IEA, 2012). A methodology has been proposed for estimating the solar collection potential of roofs in new-build homes (Hachem, 2012) (but not in existing homes) and other studies have analysed buildings according to three-dimensional aerial surveys (Izquierdo *et al.*, 2007; Lukac & Zalic, 2013). However, the physical characteristics (shape, surface area, pitch, orientation and relative proportions) of existing roofs have not been reviewed (Hachem, 2012; Gagbert, 2008; MINENERGIA, 2010).

Concepcion is the central district of the main metropolitan area of the south of Chile, with an estimated population of

230,729 inhabitants (INE, 2014). The city is located close to the Pacific coast at 36.48°S, with a temperate seasonal climate and daily temperature oscillations. Recent real-estate market in the city is dominated by single-family homes on residential complexes with similar house models and a variety of roof pitches (Celis *et al.*, 2012). This study seeks to analyse the characteristics of this housing typology with in order to integrate solar energy systems to help supply residential energy demand. This article is structured showing first the methodology applied. Secondly, an analysis of real-estate house typology according to its roof geometry; then a possible demand is proposed according to local studies and statistics. Third, a possible annual energy production is established through PV (PhotoVoltaic) and PVTa (PhotoVoltaic plus thermal-air capture) technologies integrated, based to possible demands.

Methodology

This study is developed through a review of recent residential dwellings according to photographic and building records, followed by analysis of roof conditions and incoming radiation and concluding with an estimation of their relationship to residential energy demand according to statistics. The potentials of a hybrid collection and supply system are also explored.

The housing developments are identified from satellite photographs published on Google Earth 7.1.2.2041 in order to determine the areas of the city with most recent residential developments. In Concepcion, the first available satellite photograph dates back to 2002, but images only began to be updated annually in 2006, hence this was the year chosen as the starting point for analysis, which continues up until 2013. The satellital pictures for the zone were provided by DataGlobe, Cnes/Spotimage and currently by Landsat, and shows properly building disposition according verification on site. Residential developments occupying over 4,000 sqm of urban land, that involves more than ten similar houses, are easily identifiable. The projects identified within the county were then reviewed and the housing models obtained from local government records.

The next stage involved reconstructing the three-dimensional roof layout of each housing model with Archicad 17.0 software in order to calculate roof area in relation to total floor area. The geometry of roofs were then determined in order to decide most preferable section according size and orientation. Whether the bigger plane to North, East or West (called Largest Roof Section: LRS), or the second one (called Second Largest Roof Section: SLRS), selected in the case that bigger is to South. The housing development plans indicated the number and orientation of the respective houses, as well as roof sizes for each model.

The solar radiation was then estimated for the LRS and SLRS roof sections according to the formula given by local authority regulations and solar energy records for the locality for the different orientations and pitches. A fixed percentage was deducted from all the models for potential shading caused by topography, vegetation and neighbouring buildings since the housing models are all of similar height with overshadowing only likely in the marginal hours with low radiation levels. The most preferable pitch and orientation values were then determined in order to decide whether the main or secondary roof section offered maximum exposure to solar radiation in each house. This process identified the

most favourable and least favourable cases as well as most typical situations and overall totals. The total energy produced and averages for each case were calculated based on an average-performance photovoltaic system.

Lastly, the solar energy collected on the LRS and SLRS over the year was compared with average energy demands from statistical records for this housing type in the region. Additionally, a building integrated photovoltaic thermal air hybrid system (BIPVTa) was reviewed that would offer a more direct and effective domestic contribution to heating needs. Monthly supply and demand were compared under both average and best-case/worst-case scenarios for the LRS and SLRS in relation to built floor area. Finally, the potential margin of energy supply was quantified.

Development

Quantification of single-family homes on real-estate residential developments.

The satellite photographs of the district of Concepcion's urban area between 2006 and 2013 show different sectors modified with regular patterning (especially to the north and east) and on-site verification confirms these to be residential developments (Fig.1).

Fig. 1 Sectors identified as new residential complexes (in dark grey). Source: Self-Elaboration, 2014



Local authority records for building project approvals identify 22 residential complexes in these sectors with a total of 906,783.4 sqm of built floor area (corresponding to 90.6% of the districts approved housing permits for this building type). Construction details were reviewed in the nine complexes with the largest unit numbers, totalling 2,139 homes with 633,350 sqm of built floor area, equivalent to 69.8% of all the residential complexes and 68.28% of the total approved residential land area. So, this wide coverage provides a 95% statistically confidence interval with regard to the housing built over the period, thus providing an accurate representation of current housing development.

Housing characterization by models

The nine housing complexes reviewed contain 33 different detached, semi-detached or terraced housing models. The number of houses per model varies from 1 to 339 units, although they are quite similar and low amounts of units are models with little variations. The houses have a built floor area of between 57 sqm and 170 sqm each, with an average of 93.32 sqm. This average is higher than national 2006 to

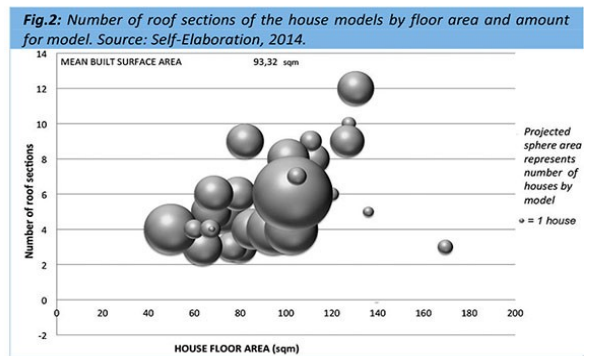
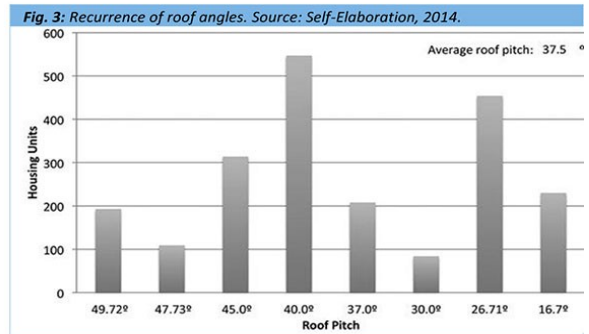
2012 household statistic of 68,98 sqm, but close to the city average for dwelling units of 88,99 sqm (MINVU, 2013). Almost all the homes (98.7%) have two floors and only two models with a total of 28 houses have three floors (none have only one floor). Construction systems are similar: All the first storeys of houses are built on reinforced brickwork while second floors are mostly lighter timber or galvanised metal structures as described by Celis & others (2012). The roofs consist of pitched planes, with structures either independent or prolongations of the level below, with triangular vertical cross section of timber or metallic roof trusses laid every 50cm to 93 cm horizontally distributed. Horizontal battens or agglomerate timber boards are fixed onto these trusses, with impermeable asphaltic felt laid on top and corrugated metal or fibre cement sheeting to finish (of between 0.4mm and 3mm thick respectively). Perimeter weatherboards, boiler or heating ventilation tubes, overhanging eaves and gable walls can also be seen (Fig.4)

According to statistics, the energy demand for single-family homes with three to four inhabitants in the city is about 142kWh/sqm yearly for space heating, 26.7 kWh/sqm yearly for electricity consumption and 21.43 kWh/sqm yearly for hot water supply (CDT, 2010). Therefore, the demand per home in these complexes would be between 1,514 kWh/sqm yearly and 4,539 kWh/sqm yearly for electricity and between 11,008.41 kWh/sqm yearly and 34,763.4 kWh/sqm yearly in total, with a mean of 17,794 kWh/sqm yearly per home.

Roof layout conditions

The total flat surface area of the roofs in the cases studied is 209,479.9 sqm (23% of the total development land area), giving an average of 69.9 sqm per house. The pitched roof area of each house is on average 84.7sqm, with a range of between 40 sqm and 130 sqm. The different models have between 3 and 12 separate roof sections per house. Most of roofs have 3 to 6 sections of plan surfaces. The larger the house, the more roof sections it tends to possess (Fig.2).

Roof pitches range between 16.7° and 49.7°, with two modal values of 40.0° and 26.7° corresponding to about 1,000 cases (47% of homes analysed). The average pitch of all the models is 37.5°, almost coinciding with the latitude of the city of Concepción: 36.5°S (the most propitious angle for photovoltaic solar collection according to slope). 54.7% of the houses have a greater pitch than the latitude, making them apt for useful thermal energy collection (Fig. 3). Generally speaking, the roof has the same pitch in each of its sections with only a few exceptions.



Determining roof sections and azimuths

Solar energy collection is proportional to the size of the collection area and dependent on pitch and orientation (azimuth) (IEA, 2009; Hachem, 2012), so integrated roof systems must select the most suitable section according to these conditions.

In the models studied, the roof section with the largest roof surface (LRS) was reviewed to identify a relationship with the total built floor area. The result ranged between 0.2 (Model I.1) and 0.62 (Model IX.6) with an average of 0.39 (Fig. 5 & 6). Calculating the amount of total building plot occupied by the house, the relationship between the LRS and the urban developed land area is 0.13 sqm of collecting surface per 1 sqm of developed land area. In order to determine the orientation of the LRS, the respective roof sections in the four largest residential complexes (1,346 houses, 43% of total case studies) were classified according to the four directions of the compass, revealing almost equal orientation results in each direction. When the LRS faced the least favourable orientation (south) the second largest roof section (SLRS) was selected in replacement, which in many models was almost the size of the largest roof section or at least well within the size range mentioned at the beginning of the paragraph (over 0.2). Figure 6 shows solar potential by model according to their LRS, SLRS and together.

Fig. 4: Images of studied houses models of I.6 (High solar potential), I.2, II.3, II.2 (Low solar potential). Source: Self-Elaboration, 2014



Fig. 5: Roofs for each model with main roof section (LRS) indicated in dark grey. Source: Self-Elaboration, 2014

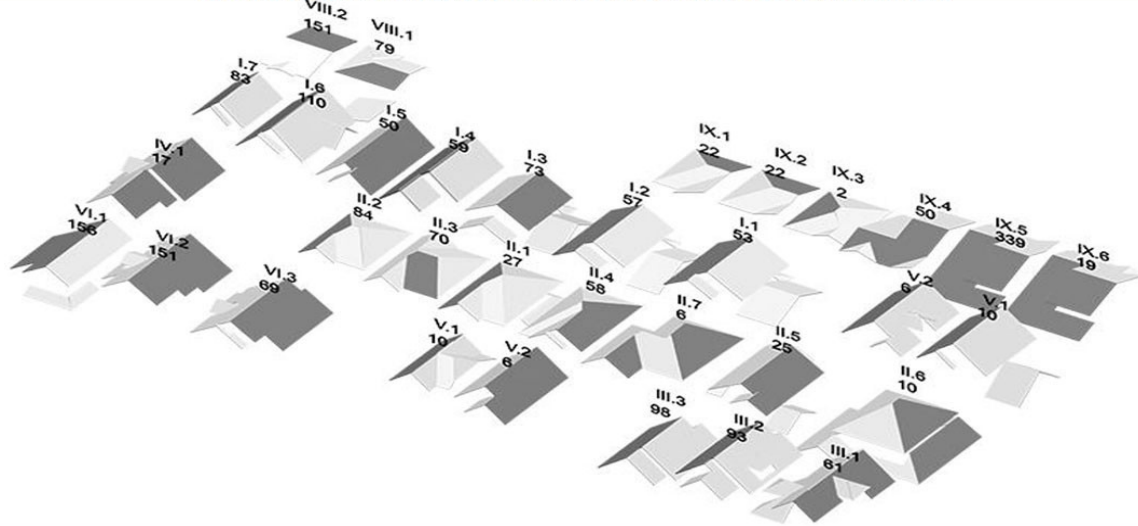
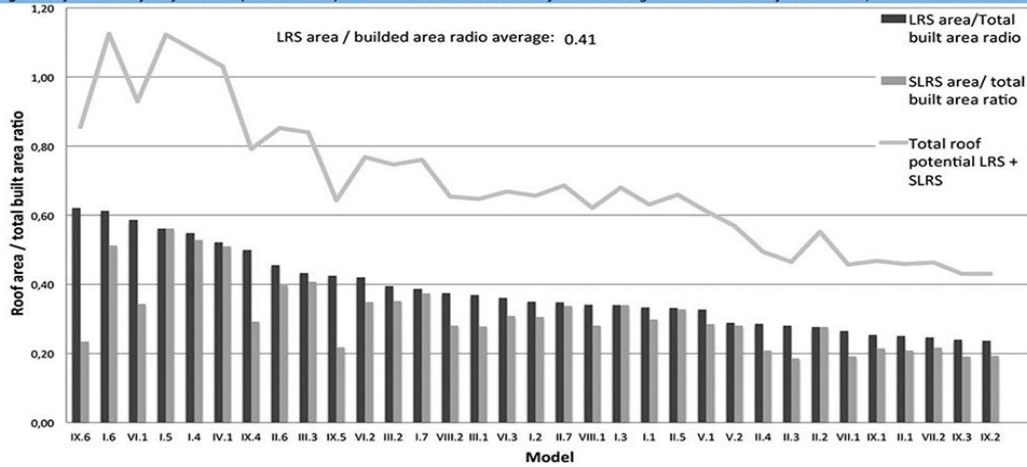


Fig. 6: Surface area of roof sections (LRS and SLRS) in relation to total built area of each housing model. Source: Self-Elaboration, 2014



Estimating incoming solar radiation on roofs

In order to determine overall energy generating potential, the annual radiation was calculated for the LRS and SLRS of each model. The two modal pitch values were used to analyse representative pitches. 1,163 of the house roofs (54.4%) were assigned the modal pitch of 43.7° while 976 (45.6%) were assigned the modal pitch of 26.8°. The monthly horizontal radiation for this latitude per unit of surface area (CDT, 2007), according to the formula given in the current regulations (MINENERGIA, 2010), is as follows in (Eq. 1). Where R_{Gm_inc-i} : Total mean monthly solar radiation on sloped surface for the month i in kWh/sqm. R_{Gm_i} : Total mean monthly solar

radiation on horizontal surface for the month i in kWh/sqm. F_{d_i} : Modifying factor of incoming radiation on sloped surface for the month i . This value is found in the Anexo II of Regulation 20365 (MINENERGIA, 2010). O_{PS} : Orientation of roof surface in relation to incoming solar radiation. PS : Losses through shading [%]. These are not factored in initially; a single percentage value is then established for all cases according to previous studies (IEA, 2007).

$$R_{Gm_inc-i} = R_{Gm_i} \times F_{d_i} \times [1 - (3,5/100000)] \times O_{PS} \times [1 - (PS / 100)] \quad [\text{Eq. 1}]$$

In this way the radiation levels are calculated for the two representative roof pitches in the equinox and solstice months in order to reveal how far from due north the LRS must deviate for the SLRS to begin to offer greater collection potential (Table 1). In this regard, it can be seen that when the LRS deviates 113° from due north, the radiation collected is similar to the SLRS deviated 90° from due north (for average roof conditions); this figure is thus taken as the statistical deviation for replacing the LRS with the SLRS. The universe of houses is arranged distributively with the LRS collecting radiation within a range of 226° around due north (between 113° east of due north and 113° west of due north), situation corresponding to a total of 1,966 homes. The remaining 1,166 homes collected more energy on their SLRS oriented within a range of 134° around due north (between 68° east of due north and 68° west of due north) (Fig. 7).

Table 1: Incoming radiation on typical roof pitches according to orientation by month. Source: Self-elaboration, 2014.

Average radiation per m2 according azimuth and pitch of roof section (kWh/m2) by equinox and solstice months		Radiation diminished according to SLRSs index (77.24%)					
Azimuth(°)	Pitch (°)	Jan	Mar	Jun	Sep	Average	
0	27.5	205.9	167.5	69.6	132.2	143.8	111.1
	43.7	186.6	171.8	81.8	137.6	144.4	111.6
22.5	27.5	202.3	164.5	68.4	129.8	141.2	109.1
	43.7	183.3	144.9	80.3	135.2	135.9	105.0
45.0	27.5	191.3	155.6	64.7	122.8	133.6	103.2
	43.7	173.4	168.7	76.0	127.9	136.5	105.4
60.0	27.5	180.0	146.5	60.8	115.5	125.7	97.1
	43.7	163.1	150.1	71.5	120.3	126.2	97.5
90.0	27.5	147.5	120.0	49.9	94.7	103.0	79.6
	43.7	133.7	123.1	58.6	98.6	103.5	79.9
113.0	27.5	113.9	92.6	38.5	73.1	79.5	79.9
	43.7	103.2	95.0	45.2	76.1	79.9	79.9
135.0	27.5	74.6	60.6	25.2	47.9	52.1	52.1
	43.7	67.6	59.1	29.6	117.9	68.6	68.6

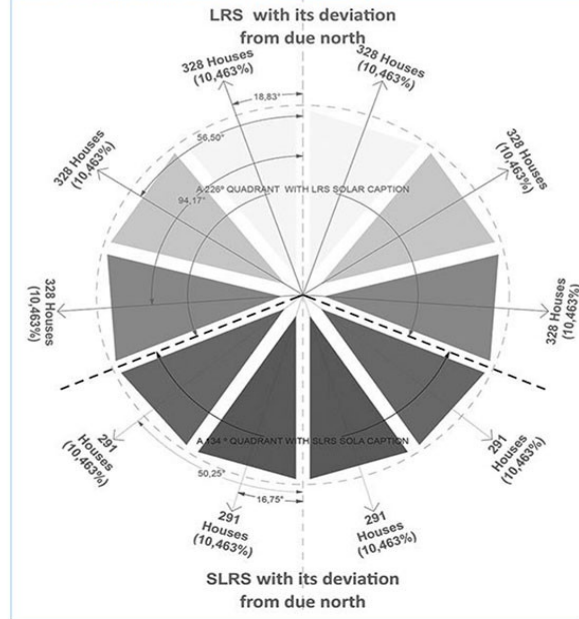
The angles of roof orientation are classified into ten different ranges. The LRS collects more solar radiation in six of these ranges and the SLRS collects more radiation in the remaining four, with a similar number of houses in each orientation range for both the LRS and SLRS (328 and 292, respectively). The six orientation ranges for the LRS cases are distributed at 37.6° deviations around due north (firstly up to 18.83°, secondly up to 56.5° and thirdly up to 94.17° either side of due north). SLRS orientations fall into ranges of 33.5° deviations around due north (firstly up to 16.75° and secondly up to 50.25° either side of due north). East and west facing roofs are assumed to receive similar solar radiation. A total of 656 homes lie within the LRS orientation ranges and 583 homes are within the SLRS ranges. Using formula [1], the monthly radiation received on the LRS and SLRS roofs is estimated for the total number of houses in each orientation range (Table 2).

The houses with LRS with deviations of less than 18.83° from due north and 43.7° roof pitch receive the most radiation, totalling 21,955.7 MWh/year. The houses with SLRS with a high deviation of 50.25° from due north and 26.8° roof pitch collect an annual total of 11,479.9 MWh. January is the month with the maximum total radiation of 19,236.0 MWh; June has the lowest collection rates for houses with LRS with 94.17° deviation angles but their total energy collection is 12.4% higher than that of the group of SLRS with 16.24° deviation angle.

The calculations for total residential roof area allow a forecast to be made of how much energy could be obtained for domestic use. Factoring in an efficiency level of 16 % for photovoltaic systems and a 25% energy loss from inverters, distribution, shading, connections, etc., a useful production of 12% is to be expected (IEA, 2004; Hachem, Athienitis & Fazio,

2011; Pelland & Poissant, 2006). The total electricity production for the 3,133 roofs is calculated at 19,788.7 MWh annually, giving an average of 6,317.2KWh per home. A home with the average built floor area of 93.71sqm could expect an annual electricity production of 67.41KWh per habitable sqm.

Fig. 7: Number of houses according to likely orientation of collecting roof section (LRS and SLRS). Source: Self-Elaboration, 2014.



Solar energy supply in comparison with domestic demand

As mentioned previously, the residential energy demand in the zone largely involves heating needs (concentrated over the winter period) and electricity consumption and hot water supply (the latter two more evenly spread over the year). For this reason, a dual system is recommended where photovoltaic roof panels provide energy to cover household electricity consumption while thermal solar collection is more efficient for providing hot water and space heating needs (Chow, 2009; Athienitis *et al.*, 2010). The annual photovoltaic electricity production in the main or secondary roof section compared with household demand per built square metre demonstrates a significant contribution to electricity needs (Fig.8). These estimates have been calculated using monthly solar radiation records including a margin of variation for more or less favourable circumstances. Although, in the least favourable cases, supply must be supplemented over a brief winter period, production levels are generally higher than household electricity demand and the surplus could either be fed into the national grid (Lund, 2012) or used for other domestic requirements.

In this context, photovoltaic thermal hybrid solar air collectors could be used, like those being tested in Canada since the 1970s (Fig. 9) (Solarwall, 2014). The design of these collectors has arisen from the fact that 85% of radiation received by the photovoltaic panels is dissipated in the form of heat, generating losses in efficiency of 0.4% per °C temperature increase (Niccolo, Del Pero & Leonforte, 2012;

Hachem C, 2012; Orazio *et al.*, 2013). Hybrid air-based technology places the photovoltaic panels over an airflow chamber to cool the photovoltaic cells and thus maximise their efficiency. Athienitis & Hachem (2012) suggest a production model with hybrid air collectors placed at an angle of between 30° and 60°, mainly 45°. If Q_e is the electricity generated and Q_u is the total thermal energy generated then the relationship $Q_u/Q_e = 3.0$ to 3.5 if airflow velocity is adequate. Finally, the relationship $3Q_u=Q_e$ is proposed for a simple calculation (Hachem, 2012), where thermal energy generated is transferred as warm air and used to heat the house interior. In summer periods the air is evacuated out of the house with a cooling effect.

Fig. 8: Graphs showing average electricity and energy demand against solar energy production per built square metre. Source: Self-Elaboration, 2014

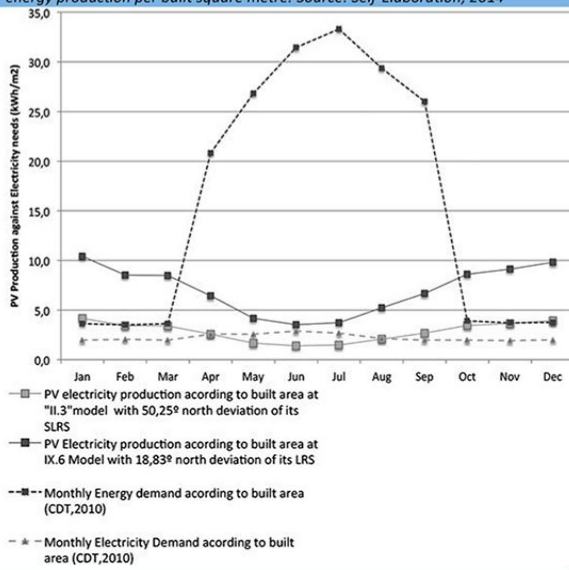
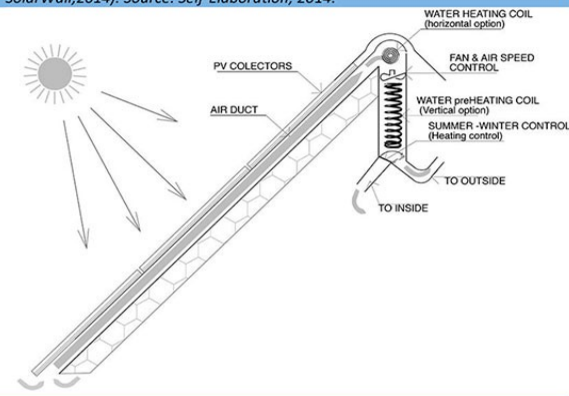


Fig. 9: Integrated hybrid collection system from Canada (Hachem,2102; SolarWall,2014). Source: Self-Elaboration, 2014.

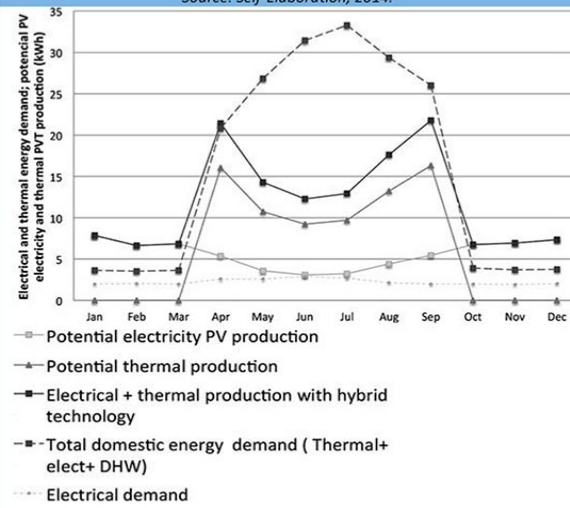


Building-integrated hybrid air systems (BIPVT/a) enable more rapid cost recuperation compared to photovoltaic technology and need smaller collection areas (Athienitis *et al.*, 2010; Siwei & Paniagota, 2012; Solarwall, 2014). Installation requires the roof surface to be replaced by impermeable metal plates laid over insulation material, an airflow chamber and finally a microperforated corrugated metal plate to collect heat and air and provide rigidity and reduce the need

for a supporting structure. Replacing the usual roof covering in this way enables a greater degree of architectural integration than when collectors are laid on top of the roof where installation could compromise roof impermeability. The aforementioned research points to the system’s market-competitive potential if it were to be developed industrially, promising low costs and energy efficiency.

Using a BIPVT/a system on a main or secondary roof section with this housing type and climate can provide a substantial contribution to domestic heating in the months close to the spring and autumn equinox, as well as over the winter period (Fig. 10). The final balance gives an average annual useful energy production of 142.6 kWh/sqm (including surplus electricity). This stands against an average total energy demand of 189.9 kWh/sqm. According to these figures, 75% of average household energy needs could be self-generated in an average 93.7sqm home with a collecting surface area of 36.8sqm and 28.4 sqm for the LRS and SLRS respectively.

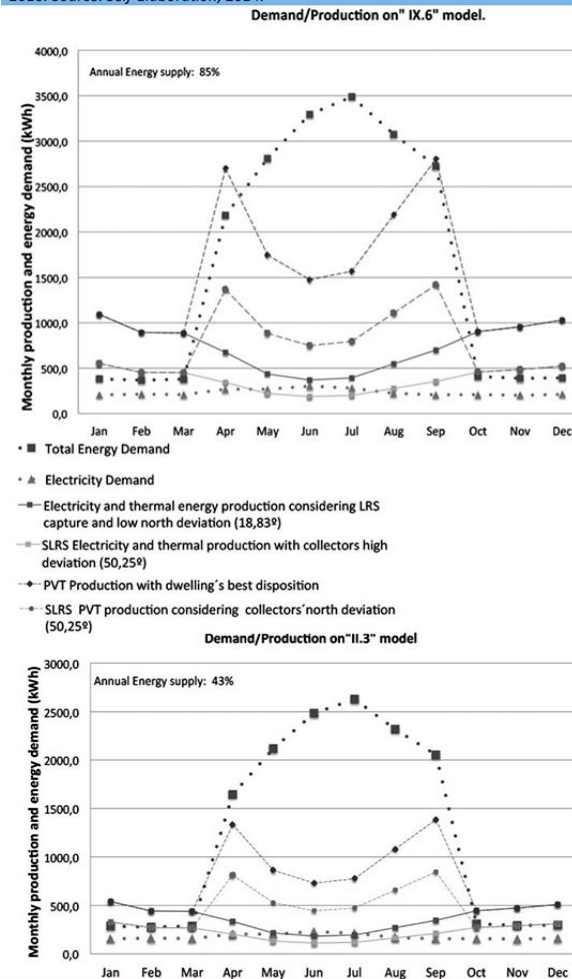
Fig. 10: Comparison of estimated energy production with thermal and electrical energy collectors against total household heating and electricity demands. Source: Self-Elaboration, 2014.



In the most favourable cases, with a higher proportion of roof collecting area in relation to building floor area and good orientation (IX.6, LRS deviated 18.83°), solar energy can supply 92% of total domestic demand, although production exceeds demands in April so the effective margin would be between 85% to 90% (Fig.11a). In least favourable conditions, with a smaller SLRS area and low or high deviation (II.3 with 50.25°), solar energy could supply 43% of total domestic demand (Fig.11b). To cover electricity needs alone, model IX.6 generates 317.1% of annual demand and model II.3 produces 148.7%. Moreover, improving efficiency by air-cooling the photovoltaic cells could also supply warm air either for space heating or ventilation needs (Athienitis *et al.*, 2010).

Conclusions

Fig. 11a & 11b: Estimated energy production for housing models with most and least favourable conditions, against demand according to built area and CDT, 2010. Source: Self-Elaboration, 2014.



A method has been put forward to quantify photovoltaic and thermal energy production by examining roofs of housing types in residential developments. Analysis was made of the solar potential of recently built single-family houses in Concepción if their main (LRS) or secondary (SLRS) roof sections (as appropriate) were covered in integrated photovoltaic systems. It has been calculated that these roof surfaces could generate a total of 19,788.7 MW/year for 2,139 homes over an area of 633,350 m², giving a production rate of 31.24 kW/m² of urban space. This would be enough to supply the full average electricity needs of each home with possible surpluses for the urban grid. An analysis of hybrid collectors (photovoltaic thermal air collectors) is also put forward, following references to a system developed in Montreal, Canada (latitude 45°N), although that enjoys different climate conditions to Concepción (37°S), but has achieved a substantial contribution (75.1%) to total domestic energy demand for both space heating and electricity supply. The supply-demand relationship for the models with most and least favourable conditions was also reviewed: those houses with larger LRS and good solar orientation (18.8° off due north), compared with those with smaller SLRS and bad orientation (50.3° off due north). With hybrid technology, these cases managed to supply 317.1% and 148.7% respectively of their domestic electricity needs and a little less than 91% and 43% respectively of their total domestic energy needs.

The results obtained are estimates based on general statistics for energy demand, usual climatic conditions and possible technologies. Cost of installation and maintenance of the systems should be also regarded, as well as the management of supplies to the grid. Although these conditions depends of politic and technological developments, this study suggest that adequate solar collection levels using integrated systems can be achieved on the roofs of a variety of recent housing models. This advocates significant potential for this dwelling type to use this renewable energy source to supply its basic domestic energy needs, as well as contribute seasonal (heating) requirements or return surplus to the urban grid for use in other areas. A more detailed analysis of energy production and demand is now needed for specific building configurations using proven technology or verified simulations. The estimative study carried out has revealed significant possibilities for recently built housing models in the zone to incorporate integrated solar energy collection.

Acknowledgment

This work is part of Conicyt CONFIN AKA-ERNC 007 research program, (Chile, Conicyt 912, 2013). We are thankful to *Dirección de Obras de la municipalidad de Concepción* throw Paulina Liberona by municipal data and *Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador, SENESCYT* for financial support.

References

Athienitis, A., Bambara James, O'Neill, B., & Faille, J. (2011). A prototype photovoltaic/thermal system integrated with transpired collector. *Solar Energy*, 85(1) 139-153.

CDT . (2013). Corporación de Desarrollo Tecnológico. Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos. Camara Chilena de la Construcción, Corporación de Desarrollo Tecnológico: Santiago, Chile.

CDT. (2010). Corporación de Desarrollo Tecnológico. Estudios de usos finales y curva de oferta de la Conservación de la Energía en el Sector Residencial. Corporación de Desarrollo Tecnológico: Santiago, Chile.

Celis, F., García, R., Maureen, T., Escorcía, O., Bruscatto, M., & Diaz, M. (2012). Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquitecturarevista*, Vol. 8, n. 1, p. 62-75.

Chow, T. T. (2010, February). A review of photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, 87(2), 365-379.

Gajbert, H. (2008). Solar Thermal Energy Systems for Building Integration, PhD Thesis, Lund University [Thesis in English].

Hachem, C., Athienitis, A., & Fazio, P. (2011, April 27). Parametric investigation of geometric form effects on solar potential of housing units. *Solar Energy*, 85(9), 1864-1877.

Hachem, C. (2012). Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods, PhD Thesis, Concordia University [Thesis in English].

Hatt, T., Saelzer, G., Hempel, R., & Gerber, A. (2012). Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar Passivhaus en Chile. *Revista de la Construcción*, 12 (22), 123-134.

IEA (2009). Cities, Towns and Renewable energy. Paris, Francia: Organization for Economic Co-operation and Development. Retrieved from <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/cities2009.pdf>. [visited 01.01.2014]

IEA (2004). Report IEA PVPS T2-05. TNC Consulting AG. Erlenbach: Swiss Federal Office of Energy. Retrieved from http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB8QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.iea-pvps.org%2Findex.php%3Fid%3D9%26elD%3Ddam_frontend_push%26docID%3D197&ei=2-UVVPkzBfWLSQTO-YKYAw&usq=AFQjCNG-aNGSNh9tS8LqLctF7lOvr9ShHw&bvm=bv.82001339,d.cWc. [visited 01.01.2014]

IEA (2012). Task 41: Solar Energy Systems in Architecture. IEA Task 41, Solar Heating and Cooling Program. Suecia: Lund University. Retrieved from: <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March20131.pdf> [visited 01.01.2014].

INE (2014). Productos Específicos Demográficos y Vitales. Retrieved from http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/familias/demograficas_vitales.php [visited 01.01.2014].

Izquierdo, S., Rodriguez, M., & Fueyo, N. (2007). A method for estimating the geographical distribution of the available roof surface area for large-scale photovoltaic energy-potential evaluations. *Solar Energy*, 82(10), 929-939.

Lukac, N., & Zalic, B. (2013). GPU-Based roof's solar potential estimation using LiDAR data. *Computers a Geoscience* 52, 34-51.

Lund, P. (2012). Large scale urban renewable electricity schemes. *Energy Conversion and Management*. *Energy Conversion and Management* 63, 162-172.

MINENERGÍA. Norma Técnica que determina algoritmo para la verificación de la contribución solar mínima de los Sistemas Solares Térmicos acogidos a la franquicia tributaria de la Ley N° 20.365. Ministerio de Energía de Chile. Retrieved from http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/02_Noticias/descargas_noticias/Norma_Tecnica_Actualizada.pdf [visited 01.01.2014].

MINVU. Observatorio Habitacional. Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile, Santiago. Retrived from http://www.observatoriohabitacional.cl/opensite_20080122171157.aspx [visited 01.01.2014].

Niccolo, A., Del Pero, C., & Leonforte, F. (2012). Optimization of solar thermal fraction in PVT systems. *Energia Procedia*, 30, 8-18.

Orazio, M., Di Pierna, C., & Di Giuseppe, E. (2013). Performance assessment of different roof integrated photovoltaic modules under Mediterranean Climate. *Energia Procedia*, 42, 183-192.

Pelland, S., & Poissant, Y. (2006). An Evaluation of the Potential of Building Integrated Photovoltaics in Canada. 31st Annual Conference of the Solar Energy Society of Canada (SESCI), Quebec.

Siwei, L., & Paniagota, P. (2012). Evaluation of turbulence models for airflow and heat transfer production in BIPV/T system optimization. *Energia Procedia*, 30, 1025-1034.

Solarwall. PV/Thermal; Hybrid solar heating + electricity. Retrieved at 2014, from SolarWall by Conserval Energy. Retrieved from <http://solarwall.com/en/products/pvthermal.php> [visited 01.01.2014].

Wall, M., Maria, M., Roecker, C., Dubois, M.-C., Mijana, H., Olaf, B., y otros. (2012). Achieving Solar Energy in Architecture-IEA SHC Task 41. *Energia Procedia*, 30, 1250-1260.

Table 2: Radiation by number of houses according to orientation of LRS and SLRS. Source: Self-Elaboration, 2014.

ANNUAL SOLAR RADIATION RECIBED (MGWh) THROUGH LRS OR SLRS OF REAL-ESTATES' DWELLINGS' ROOFS ACCORDING TO THEIR POTENTIAL																	
Azimuth(°)	Pitch (°)	# of houses	LRS (m2) or SLRS (m2)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average	TOTAL
18.83	26.8 (45.6% of 655 cases)	299,10	37,24	2264,8	1853,1	1842,0	1400,1	906,2	765,6	813,9	1135,3	1453,9	1871,2	1984,4	2136,4	1535,6	18427,0
	43.7 (54.4% of 656 cases)	356,41	37,24	2445,8	2123,2	2251,4	1805,3	1234,1	1071,9	1120,1	1503,2	1804,1	2167,3	2169,6	2259,9	1829,6	21955,7
56.5	26.8 (45.6% of 655 cases)	299,10	37,24	2036,2	1666,0	1656,0	1258,7	814,7	688,3	731,8	1020,7	1307,1	1682,3	1784,1	1920,7	1380,5	16566,5
	43.7 (54.4% of 656 cases)	356,41	37,24	2198,8	1908,8	2024,1	1623,0	1109,5	963,7	1007,0	1351,4	1621,9	1948,4	1950,6	2031,7	1644,9	19738,9
94.17	26.8 (45.6% of 655 cases)	299,10	37,24	2004,3	1640,0	1630,1	1239,1	802,0	677,5	720,3	1004,8	1286,7	1656,0	1756,2	1890,7	1359,0	16307,6
	43.7 (54.4% of 656 cases)	356,41	37,24	2164,4	1879,0	1992,4	1597,7	1092,1	948,6	991,2	1330,3	1596,6	1918,0	1920,1	1999,9	1619,2	19430,4
16.75 (SLRS caption)	26.8 (48.72% of 583 cases)	266,01	28,26	1532,4	1253,8	1246,3	947,3	613,1	518,0	550,7	768,2	983,8	1266,1	1342,7	1445,6	2103,4	12468,1
	43.7 (51.28% of 583 cases)	316,98	28,26	1654,8	1436,6	1523,3	1221,5	835,0	725,3	757,9	1017,1	1220,7	1466,4	1468,0	1529,1	1238,0	14855,7
50.25 (SLRS Caption)	26.8 (48.72% of 583 cases)	266,01	28,26	1410,9	1154,4	1147,4	872,2	564,5	476,9	507,0	707,2	905,7	1165,7	1236,2	1330,9	956,6	11479,0
	43.7 (51.28% of 583 cases)	316,98	28,26	1523,6	1322,6	1402,5	1124,6	768,8	667,7	697,7	936,4	1123,8	1350,1	1351,6	1407,8	1139,8	13677,1
TOTAL		3132,53		19236,0	16237,6	16715,5	13089,5	8739,9	7503,4	7897,6	10774,6	13304,4	16491,5	16963,5	17952,6	14806,6	164906,2
PV electricity potential (IEA/ PELLAND Y POISSANTE / HACHEM)(EN MWh annually)			12%	2308,3	1948,5	2005,9	1570,7	1048,8	900,4	947,7	1292,9	1596,5	1979,0	2035,6	2154,3	1776,8	19788,7

Artículo III: INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE
TECHUMBRES DE VIVIENDA UNIFAMILIAR PARA
INTEGRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR ACTIVA (BIPVT a)

ACE 30

Electronic offprint

Separata electrónica

INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE TECHUMBRES DE VIVIENDA UNIFAMILIAR PARA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR ACTIVA (BIPVTA)

Esteban Felipe Zalamea, Rodrigo Hernán García y Reinaldo Sánchez
Arriagada

Cómo citar este artículo: ZALAMEA, E.F.; GARCÍA, R.H. y SÁNCHEZ, R. *Influencia de la geometría de techumbres de vivienda unifamiliar para integración de energía solar activa (BIPVTA)* [en línea] Fecha de consulta: dd-mm-aa. En: ACE: Architecture, City and Environment = Arquitectura, Ciudad y Entorno, 10 (30): 57-74, 2016. DOI: 10.5821/ace.11.30.3979. ISSN: 1886-4805.

ACE

Architecture, City, and Environment
Arquitectura, Ciudad y Entorno

C

INFLUENCIA DE LA GEOMETRÍA DE TECHUMBRES DE VIVIENDA UNIFAMILIAR PARA INTEGRACIÓN DE ENERGÍA SOLAR ACTIVA (BIPVTa).

Remisión inicial: 22-05-2015

Remisión final: 03-08-2015

Palabras clave: Energía solar; Integración Arquitectónica de Colectores Solares; Vivienda; BIPVTa.

Key words: Solar Energy, Architectural Integration of Solar Collectors, Housing, BIPVTa.

Resumen:

Se revisa la integración arquitectónica de sistemas de energía solar activa (colectores híbridos con aire) en techumbres de viviendas unifamiliares recientes en Concepción, Chile, determinando la influencia de la composición volumétrica de faldones captadores. Se descifra la incidencia de orientación e inclinación respecto a trayectoria solar, considerando que si bien es recomendable enfrentar al ecuador, permite desviaciones importantes (hasta de 50 ° e incluso en 90 ° en azimut, dependiendo de inclinación). Se concluye que, la irradiación recolectada en invierno, satisface entre 73 % y 39 % de la demanda doméstica total con irradiación presente en faldones promedio de Ala de Mayor Dimensión (AMD) y Segunda Ala de Mayor Dimensión (SAMD). Luego se revisa la posible implementación Colectores Híbridos Térmicos Fotovoltaicos con fluido aire (BIPVTa) en casos extremos de capacidad por tamaño y geometría de los faldones. En la techumbre de mayor capacidad el abastecimiento alcanza el 585 % de la demanda eléctrica en verano y 41 % en invierno. Contrariamente, la configuración menos favorable en día promedio de verano, abastece el 185 % de la demanda eléctrica y en invierno se prevé solo un 10 %. Se encuentra finalmente que una vivienda con costados extensos, promueven faldones más amplios y aptos para captación solar activa.

Abstract:

Architectural integration of active solar energy systems (hybrid collectors with air) on dwelling's roofs is reviewed, in recent single housing of Concepcion, Chile. Influence of volumetric configuration of roof and sides is identified. Also roof azimuth incidence was reviewed establishing that considerable deviations are allow without losing high irradiation rates. It is concluded that irradiation levels between 73 % and 39 % of the domestic demand in a winter day is available on average Largest Roof Section (LRS) or Second Larger Roof Section (SLRS) indexes. Then, Building Integration Photovoltaic & Thermal with Air Cooling technology was hypothetically displayed in the highest LRS house and in the lower SLRS house. These analysis showed that, LRS case production reach a 585 % of the electricity demand an average day of summer and 41 % in winter. Considering the SLRS case, energy production of 185 % of the electricity demand is expected an average day of summer, but in a winter day only 10 %. Finally, a relationship between long sides of building to get larger roof sections for active solar potential was found.

1. Introducción

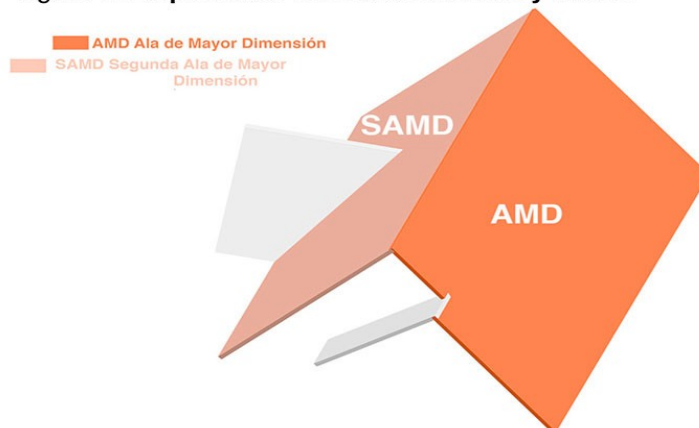
La compacidad de las edificaciones y aperturas adecuadamente dispuestas al sol se consideran condiciones importantes para la eficiencia energética de las edificaciones en climas templados y fríos (Charron y Athienitis 2006; García Alvarado y González 2014). Pero además de la eficiencia energética, incluir posibilidades de fuentes renovables dentro de las ciudades y en las propias edificaciones, se va tornando en una opción importante para lograr centros urbanos que minimicen emanaciones de CO₂ (Lund 2012). Se hace necesario así conocer capacidades tecnológicas en cada localidad ya que irradiaciones como demandas difieren. Este trabajo tiene el objetivo de detectar el posible abastecimiento energético con captación solar activa integrada en la arquitectura, concretamente en casas unifamiliares recientes en Concepción, Chile. Revisando especialmente la configuración de techumbres en relación a las posibilidades de auto-abastecimiento energético.

La energía solar recibida en las edificaciones es variable durante el día y el año, al igual que el consumo local (Lund 2012; Mikkola y Lund 2014). Lograr comunidades urbanas de bajo consumo energético en las que estén contenidas edificaciones, redes de transporte y demás funciones públicas implica abastecer distintas demandas temporales, suponiendo además una distribución y almacenamiento energético inteligente denominado *Smart Grid*. Las mencionadas redes deberían abastecerse de fuentes renovables en la mayor medida posible (Carlisle, Geet y Pless 2009; IEA 2009). En las ciudades existen tipologías de edificación con aptitud superior para recolección solar acorde a localización, dimensión, proporción y altura de las edificaciones. Normalmente sectores con menor densidad y edificaciones bajas, como lo son sectores residenciales unifamiliares, poseen una alta capacidad de captación energética y pueden procurar abastecimiento a zonas de la ciudad con demandas altas diurnas (Lund 2012; Cárdenas y Uribe 2012).

Las viviendas unifamiliares poseen una relación de superficie de recolección solar relevante en su techumbre frente a las demandas generadas. Siendo el principal elemento de la envolvente irradiada en latitudes medias como Concepción; se trata de edificaciones con condiciones para autoabastecerse y procurar remanentes energéticos (García, Wegertseder, Baeriswyl, & Trebilcock, 2014). La vivienda dentro de emprendimientos inmobiliarios se ha dimensionado como la mayor cantidad ejecutada en la actualidad, ocupando por lejos la mayor superficie de expansión reciente de la ciudad. En la comuna de Concepción, se contabilizan en los últimos seis años 3133 unidades construidas que representan el 90,6 % de permisos emitidos para la construcción de casas. Esta tipología de vivienda en la zona posee techumbres inclinadas, compuesta por secciones o faldones. De acuerdo a orientación y superficie disponible existe potencialmente un faldón que posee mayor exposición por caso para desempeñarse como captador (Zalamea y García Alvarado 2014). Bajo este precepto, por modelo de vivienda se selecciona el Ala de Mayor Dimensión (denominada AMD) como captadora potencial por superficie disponible, aunque para ser útil debe poseer una orientación adecuada. De lo contrario la Segunda Ala de Mayor Dimensión (SAMD) sería la captadora, ya que estaría dispuesta en dirección opuesta o perpendicular respecto a su AMD, es decir con una orientación adecuada (Figura 1). Las viviendas recientes registradas en Concepción poseen techumbres facetadas y con indicadores de superficie detectados promedio en AMD y SAMD de 0,39 m² y 0,30 m² por m² construido contabilizando el promedio de todos los casos levantados. En el estudio previo se determinó además que con colectores fotovoltaicos (PV) integrados en estos faldones se puede abastecer entre 348 % y 147 % de la demanda eléctrica

y entre el 91 % y 43 % de la demanda total en balance anual (Zalamea y García Alvarado 2014).

Figura 1: Esquema de definición de AMD y SAMD



Los colectores en integración arquitectónica son placas captadoras conformantes de un sistema solar activo, que además de obtener energía eléctrica, térmica o ambas, deben cumplir adicionalmente la función de algún elemento constitutivo de la edificación. Es decir funcionar paralelamente como recubrimiento, filtro solar, balaustrada, sombrilla, etc. Para ello deben desempeñar adecuadamente la función de captador y de elemento compositivo funcional o constructivo, con las prestaciones materiales de cualquier elemento constitutivo como resistencia a agentes climáticos, mecánicos y de durabilidad (IEA SHC Task 41 2012a; Munari 2009; Kaan y Reijenga 2004).

Tanto la orientación como la inclinación de los colectores influyen en la capacidad de recolectar irradiación, pero se ha demostrado que existe una tolerancia importante frente a estos requerimientos. Con desvío respecto al norte de 45 ° en latitudes similares a la de Concepción, en localidades de Grecia o Chipre se observa reducción de producción de solo 5 % con adecuada inclinación. Con desvío de 45 ° e inclinación de 16 ° inferior a la óptima, se reduce la irradiación disponible entre 6 % a 7 %. Con un desvío importante de 90 °, la reducción es 18 % en irradiación anual total disponible. Es decir, aún conserva un potencial de producción importante (Bougiatioti y Michael 2015). Reducciones similares son mencionadas por Luque y Hegedus (2011). La normativa chilena de recolección solar térmica tolera un rendimiento penalizado de hasta en 40 % como consecuencia de integrar arquitectónicamente colectores, sin que implique ello la pérdida del subsidio gubernamental (CDT 2007).

La configuración de la techumbre implica faldones con distintas formas y dimensiones, en consecuencia aptitudes para recolección solar. Es importante conocer en qué margen es posible aprovechar la irradiación acorde a configuración. Se plantea la hipótesis de captación solamente en uno de sus faldones, aquel que teóricamente más irradiación recibe. Se analiza posteriormente comportamiento de tecnología híbrida BIPVTa (Building Integrated Photovoltaic & Thermal with air fluid type), que prevé ventilación con aire de celdas PV y la energía térmica evacuada se recupera para contrarrestar demandas térmicas. Esta tecnología es factible implementar con placa metálica ondulada como base y ductos de ventilación bajo placas PV, que son placas de cobertura de techumbres habituales en viviendas de la zona. En ellas se

podría superponer celdas y placas PV adecuadas que sirvan a la vez de absorbente térmico (Solarwall 2015; Hachem 2012). Esta tecnología permite una fácil evacuación de excedentes térmicos, el almacenamiento es posible en masa térmica en los propios elementos constructivos de la vivienda o con intercambiadores aire-agua para colaborar con Agua Caliente Sanitaria (ACS). Es una tecnología que se ha descartado en zonas distantes al ecuador (Suecia) no obstante posee mucho potencial en zonas meridionales, a partir de latitudes semejantes a la franja sur de Canadá (45 ° N), en donde se ha implementado con éxito comercialmente (IEA Solar Heating & Cooling Program 2007; Solarwall 2015; Hachem 2012).

2. Marco Teórico

Tecnológicamente la irradiación recolectada por células fotovoltaicas (PV) es parcialmente transformada en electricidad (entre 4 % y 17 %); el remanente hasta en un 70 % se transforma en calor que incrementa la temperatura y disminuye la eficiencia de las células PV a razón de 0,4 % por ° C (Chow 2010). Los colectores híbridos refrigeran las células por efecto de convección, lo que genera energía aprovechable para suplir demandas térmicas, a través de fluido refrigerante líquido (normalmente glicol) o gaseoso (aire). Este estudio se enfoca en recolección del segundo tipo, considerando que es una tecnología emergente que amerita ser estudiada. Concepción presenta condiciones interesantes para su aplicación debido a la alta demanda térmica sumada a una importante radiación solar.

Tabla 1: Comparación de eficiencia de térmica-eléctrica de distintos colectores híbridos PVTa. (Los Autores).

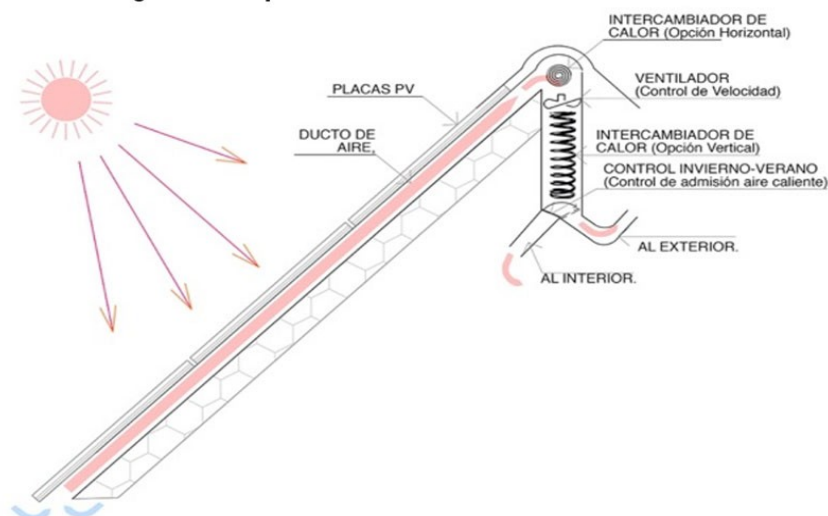
Autor	Tecnología	Eficiencia Térmica η_t (%)	Eficiencia Eléctrica η_e (%)	Observaciones
(HACHEM C.,2012)	PVTa	37,5	12,5	Basado en modelos matemáticos.
(ITO & MIURA,1993)		40,0	-	Fachada ventilada.
(TRIPAGNASNOSTOPOLOUS Y., et al, 2002)		38,0	10,2-12,2	Células de sílice cristalino en colectores no vidriados.
(NAGANO K., et al, 2003)		20,0 - 22,0 & 29,0 a 37,0	-	Comparación entre colectores. No vidriados.
(AGRAWAL B. & TIWARI G., 2010)		39,2	14,5	Promedio de eficiencia eléctrica con configuración de ductos, distinta disposición de corredores de refrigerante.
(SOLANKI SC., et al, 2009)		42,0	8,4	Colectores vidriados.
(HAURANT P., et al, 2014)		36,0	8,5	Colectores vidriados. 45º inclinación de techumbre y colectores

Más allá de la recuperación y utilización de la energía térmica obtenida por refrigeración de las celdas PV, es altamente recomendable el ventilarlas, de lo contrario pueden existir pérdidas de hasta 25 % de eficiencia eléctrica por sobrecalentamiento, especialmente durante días cálidos y soleados (IEA SHC Task 41 2012b). En consecuencia, es una oportunidad para la utilización de la temperatura que de todos modos se debe evacuar. La alternativa tecnológica híbrida

Fotovoltaica-Térmica con fluido aire (PVTa) se ha investigando ampliamente. En la Tabla 1, se señalan algunas eficiencias encontradas en la literatura. Comercialmente, el sistema está disponible en Canadá (Solarwall 2015). En estudio de esta tecnología llevado a cabo en latitud similar a Concepción (36,48 ° Lat. S), en la localidad india de Srinagar (35 ° Lat. N), coincidentemente en una zona con alta demanda para calefacción por altitud (1600 msnm), los investigadores Agrawal & Tiwari (2010) examinan diferencias de desempeño con colectores híbridos con fluido aire. El análisis concluye que el promedio en eficiencia eléctrica está en el orden de $\eta_e = 14,5\%$ y térmica $\eta_t = 39,2\%$, con inclinación de colectores a 35°. Estos márgenes son levemente superiores a aquellos encontrados por Hachem (2012) de $\eta_e = 12\%$ y $\eta_t = 36\%$. De todos modos, se considera en este análisis la segunda eficiencia mencionada por ser más conservadora.

La refrigeración de células se produce a través de cámara de aire que discurre desde el borde inferior de faldón. El aire conforme adquiere temperatura sube por presión y puede ser conducido al interior. Es necesario controlar la velocidad para optimizar eficiencia a través de ventilador mecánico. En verano, se supone que el aire luego de refrigerar las células, se disipa al ambiente o puede contribuir para calentamiento y precalentamiento de ACS. La refrigeración colabora también para mitigar sobrecalentamiento interior a manera de fachada ventilada. El funcionamiento es descrito en la Figura 2.

Figura 2: Esquema de recolección híbrida BIPVTa.



Fuente: Elaboración propia a partir de descripción de Athienitis Et. Al. (2011) y Hachem (2012) (Editorial Revista ACE).

La forma más eficiente y económica de uso de energía solar es utilizarla directamente para abastecer demandas térmicas, fundamentalmente ACS y calefacción. La producción eléctrica PV debería destinarse a suplir demandas eléctricas o venderse a la red pública para ser utilizada como tal. Este criterio de aprovechamiento optimiza la calidad de aprovechamiento por que el valor de la energía eléctrica es superior a la térmica bajo criterio de exergía (Coventry y Lovegrove 2003).

3. Metodología.

A partir de levantamiento de la geometría y las techumbres de las viviendas de la tipología de emprendimientos inmobiliarios de Concepción (Zalamea y García Alvarado 2014), se obtiene el valor de irradiación horaria que recae sobre la superficie de los faldones en indicadores promedio de AMD y SAMD en margen horario y diario. Para ello se utiliza software Trnsys® 17 y el archivo climático Meteonorm® según la localización de Concepción. Los indicadores corresponden a la relación de superficie de faldón (AMD o SAMD) de los casos de estudio sobre el total de superficie construida. Con ello, se obtienen índices de irradiación disponible. Previamente se estableció que la orientación de viviendas y faldones es variable. Para determinar márgenes de pérdidas por variación en azimut se calcula irradiación en AMD con desviaciones de 0°, 19°, 56° y 94° complementado con desviaciones características de SAMD de 0°, 17° y 50° respecto al norte, según márgenes de desviación estadísticos que permiten una compaginación con resultados anuales detectados en estudio previo (Zalamea y García Alvarado 2014). No obstante son desviaciones cercanas y comparables a desvíos utilizados típicamente en otros estudios (15°, 45°, 90°, etc.). En primera instancia, se ejecuta una comparación de irradiación para día promedio en mes desfavorable con mínima presencia de irradiación acorde con distintas orientaciones sobre promedio AMD y SAMD por m² construido. Luego se analiza comparativamente la irradiación en AMD y SAMD, en mes interestacional y en mes con presencia de mayor irradiación.

Posteriormente se realiza el mismo proceso para casos extremos específicos, aquellos que poseen una AMD máxima y otro con una SAMD mínima, calculando la irradiación existente en días promedio de mes con superior y mínima irradiación y en mes inter-estacional. De este modo se obtiene comparativamente el abastecimiento máximo y mínimo esperable en la tipología de viviendas. Mostrándose al lector la diferencia de adoptar uno u otro tipo de techumbre respecto a la posible recolección solar activa. Por último, se compara la producción térmica-eléctrica con la integración BIPVTa, frente a demandas esperadas para los casos de estudio en días promedio de los meses mencionados.

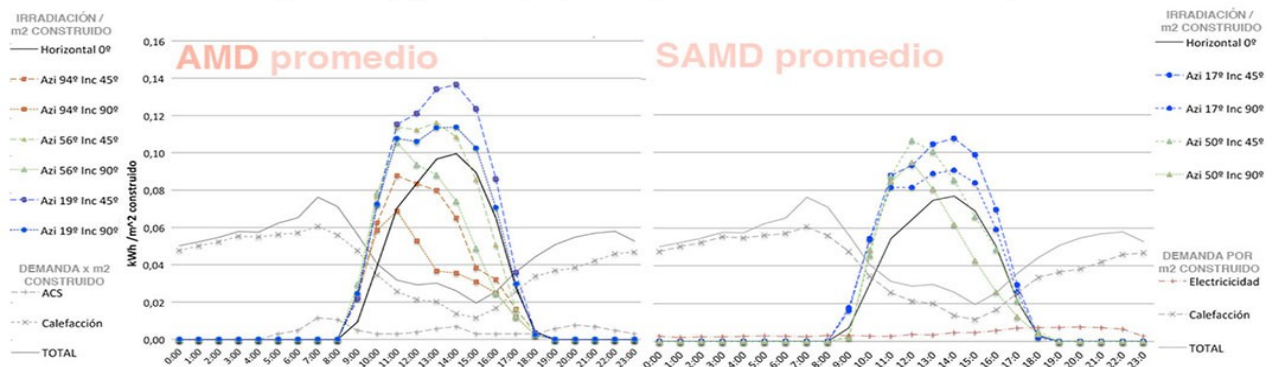
Para la recolección híbrida, se utiliza como estimación eléctrica una eficiencia de 12 % y producción térmica resultante de correlacionar producción térmica/eléctrica $Q_u/Q_e = 3$, valor sugerido en un estudio previo (Hachem 2012). La energía térmica es contabilizada como útil en día de invierno y día característico de mes inter-estacional. En verano, se desestima y se considera nulo, no obstante puede contribuir a precalentar ACS (Athienitis et al. 2011; Hachem 2012). No se puede establecer una contribución específica para esta última posibilidad, ya que resulta de la eficiencia del intercambiador de calor, dispositivo que depende de la materialidad y configuración del intercambiador, temperaturas de ingreso y egreso del fluido, caudales, etc., lo que dificulta sentar una presunción confiable; no obstante, es una alternativa que debería analizarse a futuro.

4. Irradiación horaria y margen de abastecimiento invernal posible con AMD y SAMD

Con el objetivo de ofrecer un panorama sobre la energía solar en relación con la demanda energética por m² en el mes más crítico de invierno, se generan curvas representativas horarias de irradiación en faldones AMD y SAMD promedio de la tipología. Se muestra irradiación disponible en faldones bajo la perspectiva de la demanda energética. La comparación horaria entre irradiación y demanda se grafica en las figuras 2a y 2b en las que

también se grafican variaciones de orientación e inclinación (Azi e Inc) . Denotando, a la vez la influencia de inclinación y desviación en azimut de un eventual faldón recolector.

Figuras 2a y 2b: Comparación horaria de irradiación frente a demanda, considerando recolección en AMD (derecha) y SAMD (izquierda) frente a demanda horaria (los autores).



Fuente: Elaboración Propia (Editorial Revista ACE)

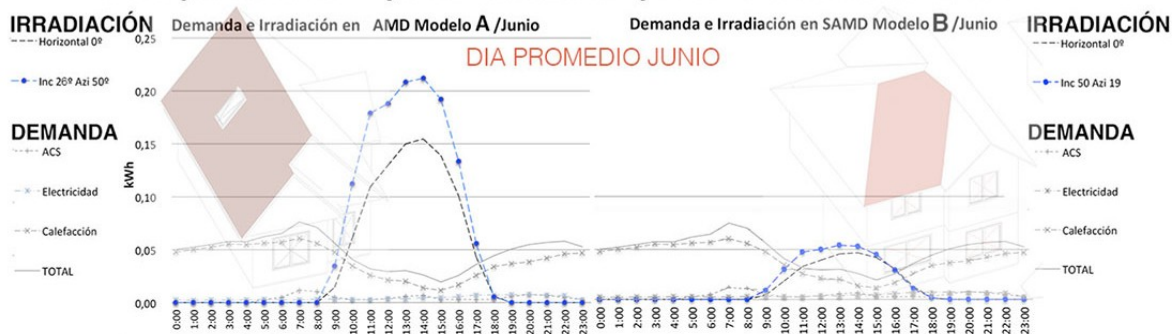
La *Figura 2a* muestra la irradiación esperada por superficie construida en indicador promedio de faldón AMD de 0,39 m² por m² construido de casa. Con pendiente de 45 ° y baja desviación (19°) en día promedio de mes de verano se observa la más alta recolección. Se estima que se puede recibir diariamente en junio 0,853 kWh/m²; no obstante con desviación de 94° respecto al norte y pendiente de 45° se reduce esta capacidad a 0,499 kWh/m² al día. Este dato refleja un potencial inferior en 42 % respecto a la situación con poca desviación e incluso 17 % inferior a superficie SAMD con poca desviación. Al ser estimación en día de invierno, la trayectoria solar en baja altitud, las pendientes pronunciadas bien orientadas presentan una alta captación, pero son penalizadas en mayor medida por desviaciones en azimut respecto a pendientes de faldones inferiores.

La *figura 2b* muestra la irradiación en indicador SAMD promedio por m² construido. Diariamente se espera reciba 0,67 kWh por m² construido considerando el ala dispuesta con desvío mínimo en azimut de 17° e inclinación de 45°. Este mismo indicador considerado horizontalmente, recibe 0,452 kWh/m² construido al día. Al comparar estos rangos con la demanda diaria doméstica promedio de junio estimada en 1,16 kWh/m², entonces la irradiación sobre indicador SAMD cubre entre 57,3 % y 38,9 % de la demanda total. Frente a un requerimiento eléctrico estimado de 0,096 kWh/m² día, se percibe entre 4 y 5 veces en energía solar durante el mes menos favorable. Esta magnitud implica que con eficiencias entre el 15 % y 20 % (factible con PV) puede ser cubierta la demanda eléctrica diaria promedio invernal.

También se compara irradiación en indicadores mínimo y máximo en AMD y SAMD de casos extremos puntuales. El indicador más alto es AMD de 0,612 m² / m² construido con pendiente de 50° procedente del que denominaremos en adelante Modelo A, el indicador mínimo se encuentra en el que denominaremos Modelo B, el cual posee en su faldón SAMD tan solo 0,125 m² / m² construidos y pendiente cercana a 25 ° (*Figura 5*). Se estudian los dos comparativamente y se encuentran curvas de potencial irradiación utilizable por m² de los casos extremos de la tipología, mostrando una comparación de producción posible frente a demandas diarias típicas (*Figura 3*). El modelo con inferior potencial por superficie y además con alta

desviación (50 °) puede obtener entre 0,27 y 0,34 kWh/m² construido diario (entre 25,5 % y 29,3 % de demanda de invierno). El modelo con superior potencial se recibe entre 0,91 y 1,32 kWh por m² construido (entre 78,3 % y 113,8 % de la demanda diaria de invierno). En resumen la opción con superior potencial recibe 1.314,6 % en irradiación respecto a demanda eléctrica. Se concluye que la energía que se obtiene en una de las alas de techumbre de la tipología más apta puede abastecer entre 3 y 12 veces la demanda en día promedio de mes con mínima irradiancia. No obstante para cubrir demandas residenciales se requiere tanto captación como distribución en espacio y tiempo eficientes con pérdidas mínimas en el caso térmico, para el caso eléctrico la conversión a electricidad, conlleva reducción de demandas superiores.

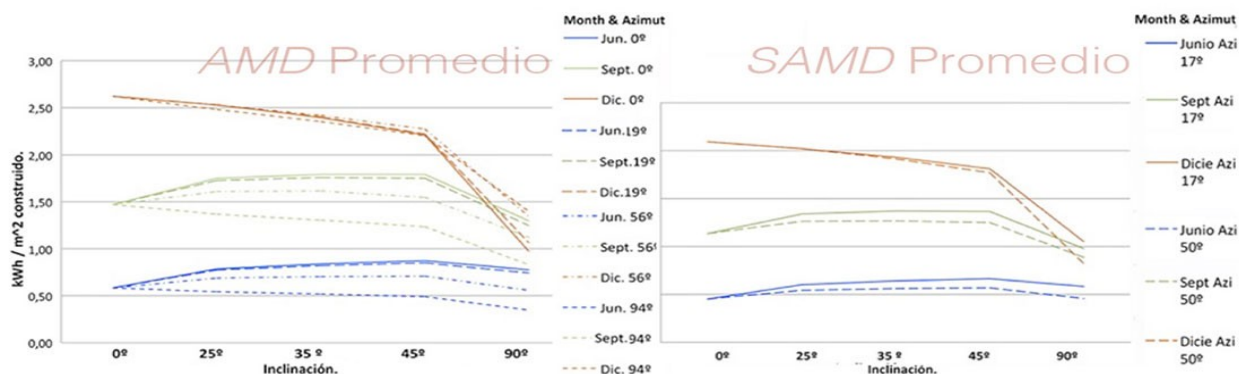
Figura 3: Comparación horaria de irradiación frente a demanda en casos extremos para día de junio: SAMD - B y desviación de 50 ° y AMD - A con desviación 19°.



Fuente: Elaboración Propia (Editorial Revista ACE)

Se grafica además la variación de irradiación por orientación e inclinación. Con captación desviada en 50 ° la irradiación se incrementa en la mañana obviamente (En latitud sur), alcanzándose un máximo alrededor de las 11 am y penalizando la incidencia neta diaria solamente en 12,5 % por causa del mencionado desvío. *Figura 4* muestra la irradiancia horaria en concordancia con variaciones en inclinación y azimut en meses extremos e interestacional sobre AMD y SAMD promedio por m² construido. Esta gráfica señala justamente que a mayores pendientes, la variación en azimut provoca una disminución consistente en la capacidad de recolección frente a las reducciones mostradas en pendientes leves; al alcanzar la disposición horizontal variaciones en azimut obviamente no implican pérdidas. Por otro lado, existe captación inferior en colector horizontal en época interestacional e invernal frente a implantar colectores verticalmente con orientación cercana al norte. El gráfico muestra mayor irradiancia captada en colectores inclinados 45 ° respecto a aquellos dispuestos horizontalmente o inclinados a 25 °, exceptuando en día promedio de verano cuando la captación cercana a la horizontal predomina. La irradiación en promedio AMD supera entre un 10 % y 25 % respecto al promedio alcanzado en SAMD, denotando sin embargo que la segunda ala posee un potencial también relevante.

Figura 4: Irradiancia recibida en AMD promedio (5a) y SAMD promedio (5b) durante día promedio de junio, diciembre y septiembre, acorde a orientación e inclinación. (Fuente: los autores).



Fuente: Elaboración Propia (Editorial Revista ACE)

5. Estimación de aprovechamiento de energía solar frente a demandas características con colectores híbridos integrados arquitectónicamente en techumbres BIPVTa.

Obtenidas las irradiaciones en consecuencia de la disposición solar de faldones y a partir de la eficiencia térmica-eléctrica de la tecnología propuesta BIPVTa, es detectable un posible margen de producción de energía *versus* abastecimiento doméstico acorde a indicadores de superficie captadora disponible en faldones estudiados. Para ello, se adoptan los casos con máximo y mínimo potencial *A* y *B*, determinando los extremos absolutos de potencial de la tipología, comparando a la vez el resultado de adoptar una tipología de techumbre frente a otra en términos de energía recolectable. Una descripción gráfica de todos los casos está disponible en el levantamiento publicado en estudio previo (Zalamea y García Alvarado 2014).

5.1. Casos de estudio

Las techumbres de los modelos *A* y *B* son representadas en *Figura 5*. La *Tabla 2* compara aspectos geométricos relevantes de ellas. El AMD de modelo *A* posee tres veces más superficie que la SAMD de modelo *B* y posee 10 % menos superficie habitable. Ambas poseen similar número de faldones, no obstante la dimensión del faldones de modelo *B* muestran mayor homogeneidad tanto en superficie como formas triangulares-trapezoidales, mientras modelo *A* posee dos faldones amplios y tres complementarios pequeños. Ambas casas presentan similar condición constructiva, en planta baja material sólido, el sistema portante de planta alta es de estructura liviana (madera y acero galvanizado) con recubrimiento de placas tingladas aglomeradas con aspecto maderado al exterior, yeso estucado y pintado al interior, aislamiento intermedio y techumbre de placa metálica ondulada de acero. Los recubrimientos de paramentos son de iguales características. La carpintería de las ventanas al exterior son de aluminio y vidrio simple. Originalmente, no poseen sistema de calefacción pero están configuradas para instalación de combustión lenta a leña. La composición descrita corresponde en buena medida a la descripción de la vivienda típica de dos plantas de la zona centro-sur de Chile (Celis et al. 2012)

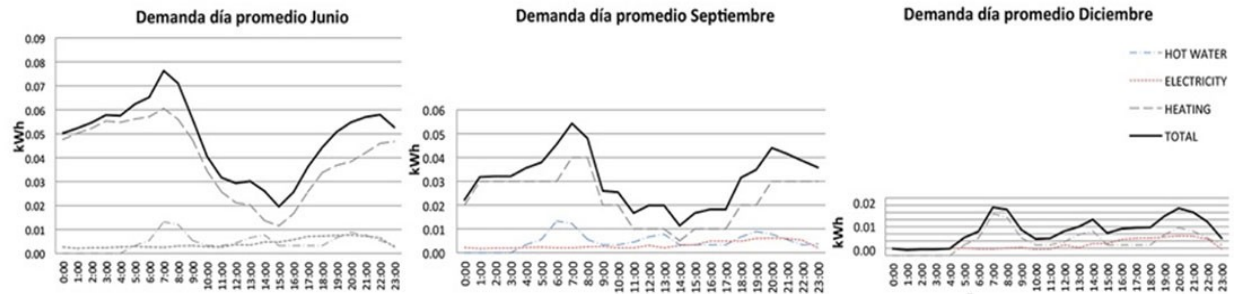
Figura 5: Plantas de techumbre y vista exterior de modelos *A* y *B*. (Fuente: los autores).



Fuente: Elaboración Propia (Editorial Revista ACE)

Las demandas para calefacción se determinan a partir de simulaciones anuales de modelos de iguales características y materialidad por m², efectuado por el grupo CON*FIN Research Group (2015). ACS se considera a partir de una demanda media de 60 l por persona o 240 l por vivienda (considerando 4 personas por habitación de acuerdo a estadística nacional; INE, 2002). La demanda eléctrica se obtiene desde encuestas de boletas de consumo. Sin embargo el lector debe considerar que las demandas energéticas de viviendas responden a múltiples factores adicionales como: capacidad socio-económica, equipamiento, fuente energética primaria y secundaria, eficiencia de dispositivos y fundamentalmente comportamiento o sensibilidad de usuarios, entre otros factores, lo cual puede distorsionar en gran medida cualquier supuesto o simulación que se plantee (Op 't Veld y Van der Aa 2014). Estas estimaciones son referenciales y cada caso debe ser analizado individualmente, con datos en lo posible más cercanos a los ocupantes reales, es decir con conocimiento oportuno de comportamiento de uso probable.

Figura 6: **Comparación de demanda residencial horaria en días característicos de invierno, verano e inter-estacional. (Fuente: los autores)**



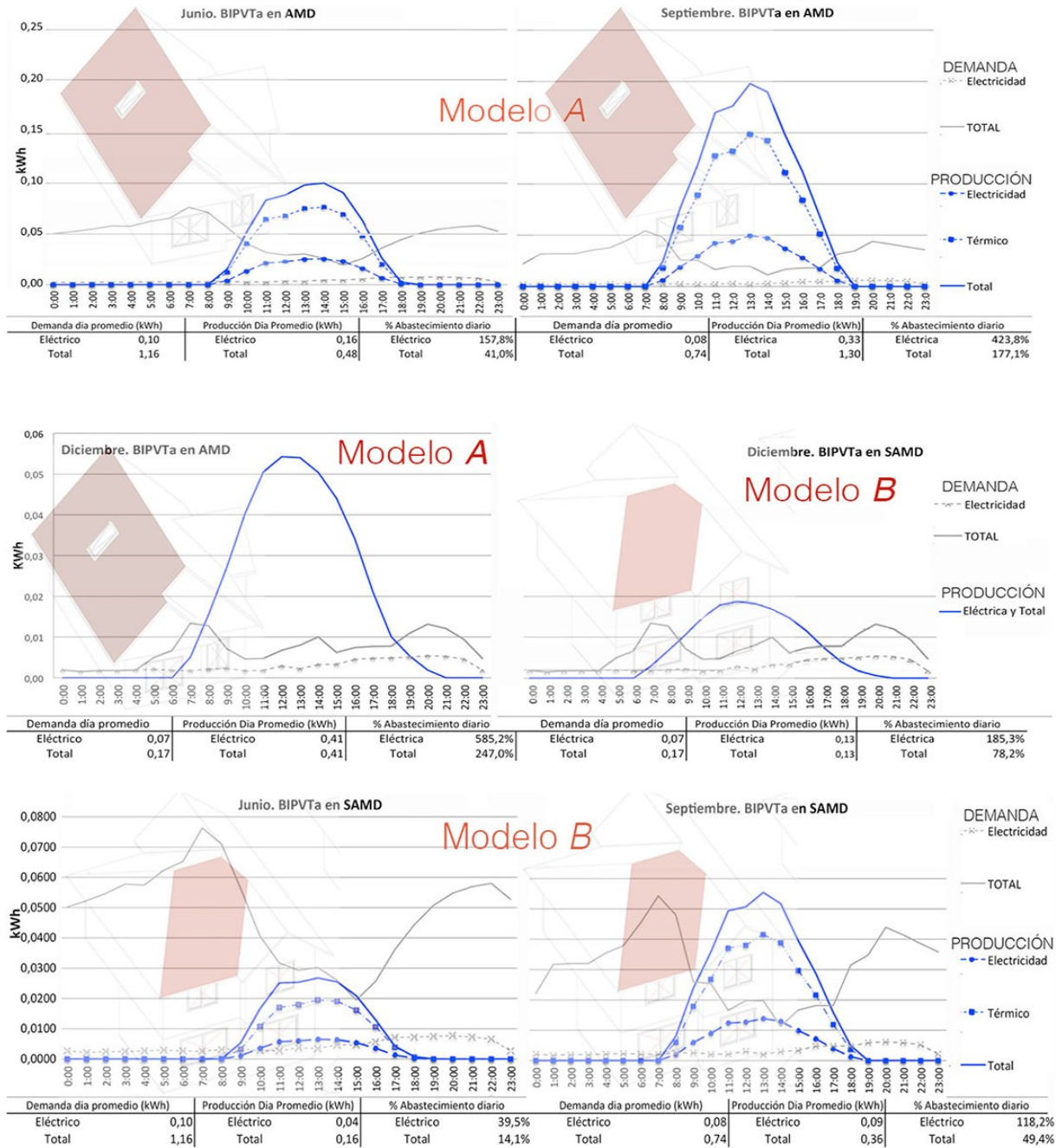
Fuente: Elaboración Propia (Editorial Revista ACE)

La *Figura 6* describe una distribución tentativa resultante de demanda promedio diaria característica y horaria (electricidad, ACS y calefacción) para días promedio por estación. Las demandas se distribuyen en requerimiento horario desde simulación de calefacción y uso esperado en familia con cuatro habitantes, suponiendo un comportamiento de dos adultos trabajando con dos hijos estudiantes (Electricidad y ACS). El requerimiento para día invernal se estima en 1,16 kWh/m², disminuyendo a 0,74 kWh/m² para septiembre y 0,17 kWh/m² en verano. En día inter-estacional y estival, el requerimiento es 63,8 % y 14,7 % respecto a la demanda de invierno. No se considera demanda para aire acondicionado ya que Concepción y la tipología de vivienda no poseen este equipamiento por lo general, se considera que se evita el sobrecalentamiento con una correcta ventilación y un adecuado sombreamiento en vanos. En comparación entre día promedio de verano y de invierno la demanda es nueve veces inferior y la irradiancia en superficie horizontal es 4,6 veces superior. Se tratan de datos promedio que pueden variar sustancialmente en días extremos de estación (un día cálido y soleado de verano o uno frío y sombrío de invierno).

5.2. Comparación entre producción con colectores solares BIPVTa (*Building Integrated Photovoltaic & Thermal Collectors air type*) y demanda residencial.

Se analiza el comportamiento hipotético de colectores híbridos con fluido aire en casos *A* y *B*. Se considera modelo con AMD superior desplegado con baja desviación de 19 ° respecto al norte (condición con buena orientación) y su contraparte modelo con captación SAMD inferior y alta desviación respecto al norte solar de 50 ° (situación con mínimo potencial). La producción se calcula horariamente en ambos modelos en día promedio de invierno, verano e inter-estacional. Se calcula el abastecimiento térmico para calefacción en días de invierno e intermedio estacional, a través de aire precalentado descrito con antelación. Los márgenes horarios encontrados se describen en *Figura 7*.

Figura 7: Comparación producción-demanda con recolección BIPVTa en techumbres con máximo y mínimo potencial en AMD y SAMD en días promedio. (Fuente: los autores).



Fuente: Elaboración Propia (Editorial Revista ACE)

El caso con mejor desempeño (captación con AMD) muestra un aprovisionamiento entre tres veces (diciembre) y cuatro veces (junio) superior respecto al modelo con captación mínima (SAMD inferior). En el modelo B se observa abastecimiento total al medio día en junio (Coincidencia entre demanda y provisión). No obstante, la demanda térmica del resto del día y noche supone que en el balance diario se cubra un poco más del 10 % en balance diario,

aunque la producción PV abastece prácticamente un 40 % de la demanda eléctrica. En día de verano promedio por el contrario, se obtiene 185 % de la demanda eléctrica y 78 % de la demanda total. En el modelo A con captación AMD permite una producción eléctrica con excedentes, incluso durante el invierno durante las horas próximas al medio día. Este caso, en verano, la producción eléctrica supera prácticamente en seis veces la demanda, con abundante exportación a la red pública. La producción térmica estival no graficada es abundante (3 veces superior a la eléctrica). Los excedentes en combinación con intercambiador de calor podrían abastecerse en gran medida demanda de ACS durante días de verano y alta irradiación, con lo cual se podría superar aún más el abastecimiento posible aquí medido.

Finalmente, al comparar las geometrías de las viviendas estudiadas, sus techos y capacidad de aprovisionamiento, se observan relaciones cercanas entre dimensión, cantidad de faldones o alas e incluso superficie total de las cubiertas. No obstante, por el diseño y partición de faldones y orientación, implica que la superficie de captación en AMD del modelo A sea prácticamente tres veces superior a SAMD de modelo B. Ello sumado a factores de inclinación y orientación, conlleva a una producción casi cinco veces superior en septiembre y tres veces en verano, en consecuencia de inclinaciones favorables (inclinación superior de modelo A potencia la captación de invierno cuando la demanda es más exigente) y la desviación en azimut inferior (Tabla 2).

Tabla 2: Relaciones de Geometría de vivienda, techumbre y abastecimiento. (Fuente: Los Autores).

Modelo	Superficie Construida (m ²)	# Alas de Techumbre	Superficie de techumbre (m)	Superficie Captadora utilizada AMD o SAMD (m ²)	Longitud de muro soporte de AMD SAMD	% Abastecimiento Día Promedio junio.	% Abastecimiento Día Promedio septiembre.	% Abastecimiento Día Promedio diciembre. (Electricidad)
A	71,9	5,0	94,6	45,0	9,3	41,0%	177,1%	585,2%
B	79,0	6,0	82,4	15,2	3,4	10,2%	37,0%	185,3%
Indicador (A/B)	0,9	0,8	1,1	3,0	2,7	4,0	4,8	3,2

Fuente: Elaboración Propia (Editorial Revista ACE)

5. Conclusiones

Se muestra un estimado de irradiancia disponible y de abastecimiento térmico – eléctrico frente a demandas energéticas características en viviendas. Se analiza tipología con mayor desarrollo en Concepción, Chile, bajo indicadores promedio y casos concretos extremos de techumbre con Ala de Mayor Dimensión (AMD) y Segunda Ala de Mayor Dimensión (SAMD). Se sintetiza que existe hasta diez veces más energía en irradiación respecto a la demanda eléctrica en mes de invierno, en recolección en indicador AMD promedio de la tipología frente a superficie construida; inclusive, con indicador SAMD promedio, existe tres veces más irradiación respecto a la demanda eléctrica. Además se observa una relevante incidencia de la orientación cuando la pendiente de faldón es elevada en días de invierno especialmente, lográndose obtener 48 %

más de energía en junio, respecto a recolección horizontal y 33 % más con pendiente de 25 °. No obstante en + AMD con desvío de 90° y alta inclinación (49°), se estima inferior irradiación respecto a SAMD bien orientada (17° de desviación).

Los dos casos extremos seleccionados se someten a estudio con captación solar activa BIPVTa. El modelo de mayor aptitud muestra en un día de verano, una producción eléctrica seis veces superior a la demanda estimada, y dos veces y media respecto a la demanda total. Esta misma vivienda bajo mínima irradiación (junio) obtiene una vez y media la demanda eléctrica y 41 % de la demanda total, considerando calefacción inclusive. Para septiembre, existe un excedente eléctrico para la venta a la red correspondiente a 75 % respecto a la demanda; y la producción total, incluyendo la térmica se supera en 177 % respecto al total; en consecuencia, parte de ella debe disiparse o utilizarse para precalentamiento de ACS. El modelo de inferior aptitud, para el mes de junio, cubre solamente 10 % de la demanda total y 40 % de la demanda eléctrica, además la venta a red eléctrica es nula y el aprovechamiento térmico alcanza a cubrir la demanda solamente al medio día. No obstante, para verano existe un excedente eléctrico en el balance diario en 185%, aunque en margen de balance global cubre solamente el 78 % de la demanda total. En términos generales, la vivienda con mejor configuración presenta un potencial de abastecimiento entre tres y cuatro veces superior frente al de inferior potencial. Adicionalmente, el caso con superior potencial, muestra regularidad formal en faldón (y también en planta), denota mayor facilidad constructiva de techumbre y evidencia facilidad para implementación de canales o ductos de aire dispuestos paralelamente bajo las placas PV.

En comparación geométrica general de ambas viviendas, existe similitud entre la superficie construida, superficie de techumbre e incluso número de faldones. No obstante, el diseño de la techumbre y sus faldones implica que por superficies generadas, pendientes y orientación, existe una producción entre 3,2 y 4,8 veces superior dependiendo la época. También se observa una correlación entre muros longitudinales largos los que tienden a provocar faldones extensos que, al disponerse enfrentando al norte o cercano al norte, tienden a lograr extensiones mas aptas de techumbre, las cuales bien orientados presentan potencial con excelente irradiación. Aunque esto también puede ser provocado con plantas irregulares, regularizando formalmente la techumbre por ejemplo con el uso de soportales.

Este estudio de irradiaciones y producciones promedio frente a demandas características posibles, debe considerar también la adopción de medidas pasivas. Los márgenes aquí detectados pueden mejorar significativamente en viviendas mas eficientes con menor demanda, logrando viviendas *Net-Zero* e incluso con balance positivo la mayor parte del año y reduciendo los pronunciados desbalances de invierno. Se logra exponer el potencial existente y la relación entre geometría-producción y un margen global importante de abastecimiento. Sin embargo, para datos más precisos, deberían simularse los casos bajo condiciones dinámicas precisas de captación solar y demandas acorde al uso específico de habitantes, lo cual permitiría entender los desbalances energéticos en días extremos estacionales en que los desbalances serían aún más pronunciados. La tecnología BIPVTa también muestra un potencial muy fuerte acorde a las eficiencias publicadas en otras latitudes. En consecuencia, los resultados favorables de este trabajo son un llamado para el estudio más profundo de la tecnología híbrida con prototipos bajo las condiciones climáticas y constructivas locales.

Agradecimientos.

Este trabajo fue parte de programa de investigación Conicyt CONFIN AKA-ERNC 007, (Chile, Conicyt 912, 2013). Se agradece a la *Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador, SENESCYT* por el aporte financiero. Y a la Lic. Cecilia Suárez Moreno, PhD (c) por la corrección de escritura.

Referencias.

AGRAWAL, B. y TIWARI, G.N. 2010. Optimizing the energy and exergy of building integrated photovoltaic thermal (BIPVT) systems under cold climatic conditions. *Applied Energy* [en línea], vol. 87, no. 2, pp. 417-426. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2009.06.011. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.011>.

ATHIENITIS, A.K., BAMBARA, J., ONEILL, B. y FAILLE, J. 2011. A prototype photovoltaic/thermal system integrated with transpired collector. *Solar Energy* [en línea], vol. 117, no. 1, pp. 403-410. ISSN 00012505. DOI 10.1016/j.solener.2010.10.008. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2010.10.008>.

BOUGIATIOTI, F. y MICHAEL, A. 2015. The architectural integration of active solar systems. Building applications in the Eastern Mediterranean region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 47, pp. 966-982. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2015.03.030. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115001835>.

CÁRDENAS, L. y URIBE, P. 2012. Acceso solar a las edificaciones: El eslabón pendiente en la norma urbanística chilena sobre la actividad proyectual. *Revista de Urbanismo*, vol. 26, pp. 21-42.

CARLISLE, N., GEET, O. Van y PLESS, S. 2009. *Definition of a « Zero Net Energy » Community*. Golden: National Renewable Energy Laboratory.

CDT 2007. *Sistemas Solares Térmicos* [en línea]. S.I.: Corporación de Desarrollo Tecnológico. ISBN 9789567911097. Disponible en: <http://informatica.cdt.cl/documentos/publicaciones/index.php?opcion=publicaciones>.

CELIS, F., GARCIA, R., TREBILCOCK, M., ESCORCIA, O. y DIAZ, M. 2012. Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquiteturarevista*, vol. 8, pp. 62-75. ISSN 18085741. DOI 10.4013/arq.2012.81.07.

CHARRON, R. y ATHIENITIS, A. 2006. Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes (AE). *ASHRAE Transaction*, vol. 112, pp. 285-296.

CHOW, T.T. 2010. A review on photovoltaic / thermal hybrid solar technology. *Applied Energy* [en línea], vol. 87, no. 2, pp. 365-379. ISSN 0306-2619. DOI 10.1016/j.apenergy.2009.06.037. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.037>.

CON*FIN RESEARCH GROUP 2015. Evaluación del Potencial Solar de Áreas Urbanas. 2015 [en línea]. Disponible en: <http://ubiobio.cl/confin/#>.

COVENTRY, J.S. y LOVEGROVE, K. 2003. electrical and thermal output from a domestic PV / thermal system. *Solar Energy*, vol. 75, pp. 63-72. DOI 10.1016 / S0038-092X(03)00231-7.

GARCÍA ÁLVARADO, R. y GONZÁLEZ, A. 2014. Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares en el centro sur de Chile 1 Form conditions and energy performance of single family housing in Central South Chile 1. *Revista INVI* [en línea], vol. 29, no. 80, pp. 111-141. Disponible en: <http://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/790/1126>.

GARCÍA, R., WEGERTSEDER, P., BAERISWYL, S. y TREBILCOCK, M. 2014. Mapa Energético-Solar de Concepción : Cartografía Urbana del Consumo Energético y Captación Solar en Edificaciones Residenciales de Concepción , Chile 1. *Norte Grande*, vol. 59, pp. 123-144.

HACHEM, C. 2012. *Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods*. S.I.: Concordia University.

IEA 2009. *Cities , Towns & Renewable Energy Cities , Towns* [en línea]. Paris: IEA/OECD. Disponible en: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Cities2009.pdf>.

IEA SHC TASK 41 2012a. SOLAR ENERGY SYSTEMS IN ARCHITECTURE integration criteria and guidelines. *English* [en línea]. S.I.: Disponible en: <http://leso2.epfl.ch/solar/pdf/SolThePh.pdf>.

IEA SHC TASK 41 2012b. Solar energy systems in architecture SHC Task 41. [en línea]. S.I.: Disponible en: <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>.

IEA SOLAR HEATING & COOLING PROGRAM 2007. Compilation and analyze of interviews DA 1-2 Preliminary Outcome of PV / T market survey interviews. [en línea]. Hårnösand: Disponible en: http://archive.iea-shc.org/publications/downloads/DA1-2_Outcome_of_PVT_market_survey_interviews.pdf.

KAAN, H. y REIJENGA, T. 2004. Photovoltaics in an architectural context. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 12, no. 6, pp. 395-408. ISSN 10627995. DOI 10.1002/pip.554.

LUND, P. 2012. Large-scale urban renewable electricity schemes - Integration and interfacing aspects. *Energy Conversion and Management* [en línea], vol. 63, pp. 162-172. ISSN 01968904. DOI 10.1016/j.enconman.2012.01.037. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.037>.

LUQUE, A. y HEGEDUS, S. 2011. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. II. West Sussex: John Wiley & Sons,. ISBN 9780470721698.

MIKKOLA, J. y LUND, P.D. 2014. Models for generating place and time dependent urban energy demand profiles. *Applied Energy* [en línea], vol. 130, pp. 256-264. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2014.05.039. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.039>.

MUNARI, C. 2009. *Architectural Integration and Design of Solar Thermal Systems*. S.I.: ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE.

OP 'T VELD, P. y VAN DER AA, A. 2014. Driving forces of energy-related behaviour in residential buildings. En: WSB2014 (ed.). Barcelona: GCNe, pp. 24-33.

SOLARWALL 2015. PV/Thermal; Hybrid Solar Heating + Electricity. [en línea]. [Consulta: 3 marzo 2015]. Disponible en: <http://solarwall.com/en/products/pvthermal.php>.

ZALAMEA, E. y GARCÍA ALVARADO, R. 2014. Roof characteristics for integrated solar collection in dwellings of Real- Estate developments in Concepción, Chile. *Revista de la Construcción Journal of Construction*, vol. 36, no. 133, pp. 36-44.

Artículo IV: ASSESMENT OF INTEGRATED PERFORMANCE
AND ROOF GEOMETRY FOR SOLAR ENERGY

OPEN HOUSE INTERNATIONAL

The journal of an association of institutes and individuals concerned with housing, design and development in the built environment. Theories, tools and practice with special emphasis on the local scale. In particular the journal has a focus on the involvement of people in the decision making and production processes in housing.

Editorial address: NICHOLAS WILKINSON RIBA AA Dipl. Eastern Mediterranean University
Faculty of Architecture, Gazimagusa, Mersin 10, Turkey
E-Mail: nicholaz.wilkinson@emu.edu.tr Fax: 00 90 392 630 2365

Open House International is covered by Thomson ISI citation index products, EBSCO Publishing Inc. AND Elsevier Scopus databases (see below)

Esteban Zalamea León
Universidad del Bío Bio, Dept. de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Collao 1202, Concepción, Chile;
E-Mail: estebanfzl@gmail.com; Tel: +56 41 3111409.

Rodrigo García Alvarado
Universidad del Bío Bio, Dept. de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Collao 1202, Concepción, Chile;
E-Mail: rgarcia@ubiobio.cl; Tel: +56 41 3111409.

Reinaldo Sánchez Arriagada
Universidad del Bío Bio, Dept. de Ingeniería Mecánica, Collao 1202, Concepción, Chile; E-Mail: rsanchez@ubiobio.cl; Tel: +56 41 2731440.

DATE: 30th October 2015

Dear Drs Esteban Zalamea León, Rodrigo García Alvarado, Reinaldo Sánchez Arriagada

LETTER OF ACCEPTANCE FOR PUBLICATION IN OPEN HOUSE INTERNATIONAL ISSN 0168 - 2601

Thank you for your manuscript , titled: **ASSESSMENT OF INTEGRATED PERFORMANCE AND ROOF GEOMETRY FOR ACTIVE SOLAR ENERGY COLLECTION IN HOUSING DEVELOPMENTS.**

This manuscript had been submitted for the consideration of the editors for possible publication in Open House International and subjected to blind evaluation by two referees. The referees evaluation reports were submitted to you whereby their comments were taken into account by you and a revised text was produced. This was subsequently checked by the same referees and your manuscript was then passed for publication.

I am therefore pleased to inform you that the above manuscript will be published in **Vol.41 No.4, 2016** publishing year. You will receive a complimentary hard copy of it, a CD ROM, and a separate pdf of your article.

Thank you for considering Open House International for the publication of your research work.

Yours sincerely,



Nicholas Wilkinson RIBA
Director and Editor in Chief, OPEN HOUSE INTERNATIONAL

Assessment of integrated performance and roof geometry for active solar energy collection in housing developments.

Esteban Zalamea León ^{1,*}, Rodrigo García Alvarado ², and Reinaldo Sánchez Arriagada ³,

- ¹ Universidad del Bío Bio, Dept. de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Collao 1202, Concepción, Chile; E-Mail: estebanfzl@gmail.com; Tel: +56 41 3111409.
- ² Universidad del Bío Bio, Dept. de Diseño y Teoría de la Arquitectura, Collao 1202, Concepción, Chile; E-Mail: rgarcia@ubiobio.cl; Tel: +56 41 3111409.
- ³ Universidad del Bío Bio, Dept. de Ingeniería Mecánica, Collao 1202, Concepción, Chile; E-Mail: rsanchez@ubiobio.cl; Tel: +56 41 2731440.

*Author to whom correspondence should be addressed.

Abstract: The roofs of houses located at middle latitudes receive significant solar radiation useful to supply their own energy demands and to feed back into the urban electricity network. However, solar panels should be properly integrated into roofs. This study analyzed roof geometry and integrated solar performance of Photovoltaic, thermal-photovoltaic, and hybrid solar collection technologies on dwelling cases selected from a sample of recent housing developments in Concepción, Chile. Hour-by-hour energy generation estimates and comparisons with demand levels were calculated for representative days during seasons of maximum, minimum as well as mid-season. These estimates took into account the roof tilt and orientation effects also. Trnsys@ software was used to determine electricity supply and F-Chart tool for thermal energy supply. The results show five times more panels can be placed on the largest and most regular shaped roof sections than on those with the smallest and most irregular shapes. The house model with the largest roof section can provide up to six times more energy than the model with the smallest second roof section in different seasons and systems. This paper thus provides new findings on the performance of solar technologies when related to home energy demands and roof geometry.

Keywords: Solar Energy; Architectural Integration of Solar Collectors; Thermal Solar Collectors; Photovoltaic Solar Collectors; Housing; Chile

1. Introduction

Single-family homes have growing energy consumption, but they also offer roof areas with significant incoming solar radiation, especially in low and middle latitudes where the greater part of the world population lives. However, domestic solar collection requires a specific relationship between the requirements and the architecture of the house where the technologies are to be applied [1]. Integrated solar capture involves the installation of devices on the building envelope and consequently the shape, size and orientation of each surface determines the capacity to hold collectors and hence to produce energy. This study reviews the potential to integrate solar collectors on the roofs of recent housing developments in Concepción, Chile. It establishes the relationship between roof geometry and its capacity to hold collectors with different technologies to provide energy for home demand. The main objective of this study is to provide estimates of energy supply for single-family housing developments with different roof configurations, while also reviewing the performance of different technologies for representative days over the course of the year. Collection areas are calculated to provide maximum production of useful energy both for home consumption and for feeding surplus back into the urban electricity supply. The consequences of roof design in terms of its shape, size, slope and technological possibilities are revealed. In order to maximise domestic energy generation potential both thermal and electrical requirements must be considered, so solar PV and solar thermal technologies are analysed as complementary technologies.

This research was carried out in Concepción, the largest urban area in the centre-south of Chile, located at 36.48° S latitude. It has an oceanic climate with daily and seasonal temperature variations and an average annual temperature of 12.4°C. Such a climate has high thermal space heating needs [2,3]. When comparing the energy demands of Concepción with northern hemisphere cities at similar latitudes in southern Europe, such as Seville (38°N) or Barcelona (41°N), higher average temperatures are detected in the latter. Hence, the resulting differences in energy requirements limit the possibility of adopting measures and solutions arising from foreign studies.

Peter Lund [4] proposes that cities must be sectorised to balance energy production–demand mismatches in different urban zones. Through this process, it is possible to trace a functional network between supply from on-site renewable sources, local energy demand and storage requirements. Recent studies measured large urban areas of roofs from aerial scans to calculate solar irradiation availability [3, 4]. Other works have proposed a design methodology for dwellings considering the solar potential of diverse roof configurations [6]. However, these processes do not select the best roof section according to solar orientation; nor do they examine its geometrical characteristics or potential to accommodate solar collectors. Several studies estimating domestic energy and exergy have been made in order to compare the performance of photovoltaic (PV), thermal liquid type (TW) and hybrid Thermal-Photovoltaic (PVTW) [7,8] in supplying potential residential energy demands [9]. However, we found no studies matching the different solar panel technologies, shapes and dimensions, their installation possibilities and the available roof surfaces against residential energy demands.

A new challenge for architecture is to resolve the technical implementation of on-site solar collection. This arises from a lack of products for building integration and/or limitations in tools for solar design. However, there is increasing research and product development within the industry [1, 9]. Many guidelines for solar energy building integration are still emerging [11–13].

SHC Task 41, 2012). Many guidelines for solar energy building integration are still emerging (Basnet, 2012; Kaan & Reijenga, 2004; Munari, 2009).

In countries of similar latitude to Concepcion (such as Greece or Cyprus), recent research on solar collector devices on existing building envelopes in traditional neighborhoods shows a reduction in energy output when collectors deviate 45° and 15° from true north. However, such deviation results in only a 6% to 7% reduction in annual electricity output; even with a 90° deviation energy output is still high, at 80% of optimum output (Bougiatioti & Michael, 2015).

In Chile, two studies have been found on the solar potential of roofs according to irradiation in Valparaiso and Concepcion respectively, both of them on residential buildings. In Valparaiso, a methodology to measure housing roof availability from aerial pictures has been developed. An estimate of instant and monthly solar irradiation capability was then determined for the overall roof area (Araya-Muñoz, Carvajal, Sáez-Carreño, Bensaid, & Soto-Márquez, 2013). The study in Concepcion took a further step forward by determining characteristic indicators for roofs, using the most suitable roof section for each house model, taking into account its habitable floor area. The implications of the respective orientations and roof tilts were considered and information compiled on the various appropriate solar capture technologies according to the available roof area. The analysis examined recent housing developments and estimated their potential energy production with BIPV and BIPVTa technologies relative to monthly domestic demand. However, these procedures did not take into account the geometry of roof section for implementing regular-shaped solar panels with specific dimensions and the subsequent implications for energy production (Zalamea & García Alvarado, 2014).

2. Materials.

2.1 Sample selection and case studies.

An universe of 2,100 units with 33 housing models of recent housing developments were geometrically analysed. Their annual combined energy demand and potential for energy self-generation were measured statistically (Zalamea & García Alvarado, 2014). Two of these housing models were then selected for a comparative study. The two units shared similar sizes and material specifications but represented the optimum and least favourable conditions for roof-level solar potential respectively. The unit with optimum conditions, called Model A and replicated in 110 identical houses, had a habitable floor space of 72m². Its roof was divided into five sections: two large and almost rectangular sections and three smaller ones, with the highest solar potential on its Largest Roof Section (LRS). Model B, the second house studied, had a floor area of 79m² and was replicated in about 70 units. It had a roof with six irregular (trapezoidal or triangular) sections. This model showed better solar potential on its Second Largest Roof Section (SLRS), thus offering lower potential due to both its shape and surface area. The floor area of both case studies was similar to the residential average for the city (Observatorio Habitacional, 2015). The models had similar building systems: brickwork load-bearing walls on the ground floor, concrete floor slabs and light-weight timber structure for the first-floor walls, faced with plasterboard on the interior and fibre-cement boards on the exterior with insulation in between. Both cases had timber and light steel roof structures covered with corrugated metal sheeting. This description coincides with typical single-family housing in the centre-south of Chile (Celis et al., 2012). The house specifications suggested similar electricity and space heating demands for both house models, while the same average number of inhabitants indicated

similar hot water supply needs. *Figure 2* shows three-dimensional roof diagrams of all the housing models studied with the selected case studies and photographs of Models *A* and *B*.



Figure 1. Housing developments since 2006 (in red) located in the central commune of the metropolitan area of Concepción, Chile.

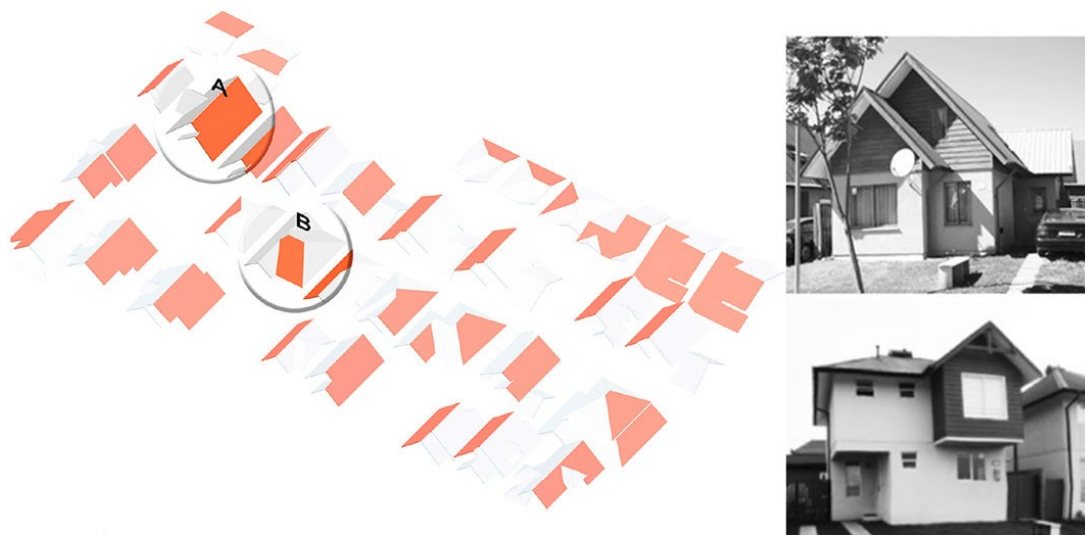


Figure 2. (a) On left: roof geometry analysis to identify the model with higher LRS (*Model A*) and lower SLRS (*Model B*). On right: photographs of *Model A* and *Model B*.

2.2 Solar active technologies

This research contemplates the use of three different solar panels: Photovoltaic (PV), Solar Thermal

liquid fluid collector (T_w) and hybrid photovoltaic-thermal liquid fluid collectors (PVT). Rectangular solar panels are chosen for integration into the building architecture; these are considered to be the most common commercially available shape. The relationship between the absorbent surface available with the feasible number of collectors and the resulting energy available according to residential energy demand levels is analysed. In some cases, there is an energy surplus or deficit on representative summer and winter days due to an imbalance between incoming radiation and changing demand levels. The PVT collectors combine the T_w and PV technologies in one single device, providing cooling to the PV cells in order to avoid overheating and consequent reduction in energy efficiency. The thermal surplus taken in by the cooling fluid is stored and used in a similar way to the typical flat thermal collector.

The proposed PV and T_w collectors are technologies that are widely available on the market. The efficiency of PV collectors depends mainly on the type of solar cell technology used. The environmental conditions and method of installation are also important factors affecting performance. The situation is similar for thermal collectors but the literature shows the performance to be more consistent between the same types of collectors (flat-plate, evacuated tube, etc.) irrespective of manufacturer. Hybrid collectors are not common. A range of efficiency is observed depending on: whether they are liquid fluid or air fluid, the trial used, storage, forecast demand and other factors (Zondag, 2008). The performance of hybrid air-cooled collectors was analysed previously for residential buildings in Concepción (Zalamea & García Alvarado, 2014). Hybrid systems with liquid cooling fluid offer superior thermal performance compared to air systems due to the higher specific heat of water so this technology is analysed in this research. *Table 1* compares published data for performance levels of the different models available of PVT w . It shows hybrid liquid fluid collectors to have efficiency levels of between 40% and 59%. A comparison of the thermal performance of the hybrid collector and the flat panel T_w collector shows the latter to have 29% less efficiency than the former with a low cooling volume and up to 50% less efficiency with a high cooling volume.

Table 1. Comparison of thermo-electricity efficiency of different hybrid collectors (Cristofari, Notton, & Canaletti, 2009; Lazarov, Schaeffer, Shishkov, & Ivanova, 2005; Tonui & Tripanagnostopoulos, 2007; Tripanagnostopoulos, Nousia, Souliotis, & Yianoulis, 2002; Zondag, 2008).

Author	Technology	Thermal Efficiency η_t (%)	Electrical Efficiency η_e (%)	Comments
(ZONDAG H,2008)		40,0 - 59,0	7,5 a 8,9	Glazed solar collectors
(ZONDAG H,2008)		0,0 - 52,0	8,5 a 9,7	Unglazed solar collectors (0 % thermal efficiency with increased cooling.)
TONUI G. & TRIPANAGNOSTOPOLULOS Y.2007	PVT w	52,0	9,0 y 10,0	Glazed collectors comparative study
(CRISTOFARI C., et al, 2009)		55,5	12,7	Polycarbonate Absorber
(LAZAROV V. et al, 2005)		48,3	11,7	Glazed Collectors with polycrystalline cells pc-S
(TRIPAGNASNOSTOPOLOUS Y., et al, 2002)		55,0	10,0 a 12,5	Monocrystaline Cells . Unglazed

3. Methods.

After the case studies were determined, the area of the roof to be occupied by rectangular solar plates was defined to provide maximum and minimum potential capture. This was done under the hypothesis that PV, T_w and PVT panels have the same dimensions and can thus be easily combined during architectural integration. These were virtually located on the optimum and least favourable roof sections of the best and worst cases (Model A and B) respectively. Then the roof area available for

solar capture and the resulting feasible number of solar panels were calculated.

Thermal energy capture is calculated according to domestic energy needs without producing surpluses, since these are difficult to store efficiently without a seasonal storage network (Gajbert, 2008), which is not likely in Concepción. However, a final alternative analysed a possible heat surplus use for alternative purposes. Electricity production aims to achieve a maximum possible production both to cover domestic needs and feed surplus energy into the urban electricity supply. The first possibility to be analysed was the placement of only PV panels, which offers the potential for full domestic electricity supply. The second study was a combination of T_w panels to cover domestic hot water needs and the remaining surface area used for PV panels to achieve maximum possible electricity production. The third option was to use PVT collectors alongside PV panels, again to supply hot water demands and achieve maximum electricity production. The final possibility was full roof occupation with hybrid PVT panels to supply hot water and space heating needs, with thermal surpluses in summer estimated for heating a swimming pool.

The performance of the hybrid collector was calculated based on a simulation carried out for the city of Concepción, resulting in an electrical output efficiency of 8% over the available radiation (Campos, 2015), congruent to the minimum range expressed in literature (*Table 1*). The F-Chart calculation method is used to estimate thermal efficiency according recommendations by the Chilean Energy Ministry (PNUD & MINENERGIA, 2014). The F-Chart is an equation-based spreadsheet aimed to estimate hot water and space heating requirements with a margin of error of between 1.1% and 4.7% for complex dynamic simulations and up to 15% for measurements taken from real situations (Haberl & Cho, 2014). Efficiency ranges reported for the *Wunder CLS 1808 Solimpeks@* model were used for the case study with thermal collector. The thermal efficiency of the aforementioned device are: $\eta_0 = 0.763$ with a coefficient of heat loss, $a_0 = 3.514 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. The shape for all the collectors is defined according to the dimensions of the *Solimpeks@ PowerTherm M 175 / 680* hybrid panel. The hybrid and thermal panels thus measure 830mm x 1660mm x 105mm, while the PV panels are 830mm x 1660mm x 45mm. Incoming and outgoing electrical conduits are assumed to coincide for thermal and hybrid collectors and are located along side of each panel. A lateral separation gap of 150 mm is calculated between each hybrid and thermal panel to allow for connections of fluid pipes necessary in this type of collector. PV collectors are located side by side.

The photovoltaic system is simulated using a constant efficiency of 12% for PV, considering a cell efficiency of 16%. There is a statistically possible reduction from inverters, maintenance or shadowing losses (Pelland & Poissant, 2006). An 8% efficiency for PV production on hybrid collectors is considered according to simulation carried out in Concepción with a *Solimpeks@* hybrid collector as mentioned (Campos, 2015). The incoming solar radiation with the corresponding tilt and orientation is determined from TRNSYS 17.0 by using its METEONORM weather database. Even the PV technology and inverter do not show an exact linear efficiency corresponding to direct and indirect irradiation. This study focuses on geometry comparisons, so low variations for these reasons were dismissed in order to simplify the analysis.

Heating and domestic hot water provision were analysed using the *f*-chart method (Haberl & Cho, 2014), which calculates the percentage of thermal demand supplied by the solar panels. The *f* factor method is determined by the expression:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

where:

$$Y = \frac{\text{Solar energy absorbed by the collector}}{\text{Monthly thermal demand}}$$

The thermal energy absorbed by the collector is given by:

$$\text{Solar energy absorbed through collector surface} = F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n \cdot \frac{F_R'}{F_R} \cdot \frac{(\overline{\tau \cdot \alpha})}{(\tau \cdot \alpha)_n} \cdot \bar{H}_t \cdot N \cdot A_c$$

$F_R \cdot (\tau \cdot \alpha)_n$ Optical efficiency factor of the solar collector.

$\frac{F_R'}{F_R}$ Correction factor gauge-exchanger set. A value of 0.95 is recommended.

$\frac{(\overline{\tau \cdot \alpha})}{(\tau \cdot \alpha)_n}$ Incidence angle modifier. Generally this is taken as a constant (0.96 for single glass and 0.94 for double glass).

\bar{H}_t Daily average incident irradiation in a month over solar capture surface area. (J/m²)

N Number of days in the month.

A_c Collector surface area [m²]

$$\text{Monthly energy demand} = V \cdot c \cdot N \cdot (t_{ac} - t_{red})$$

V Hot water average daily consumption [l/día]

c Water specific heat, 4180 [J/kg·K]

t_{ac} Hot water supplied temperature [°C]

t_{red} Water inlet temperature [°C]

$$X = \frac{\text{Energy losses by the collector}}{\text{Monthly thermal energy demand}}$$

The collector energy losses are given by:

$$\text{Collector energy losses} = F_R \cdot U_L \cdot \frac{F_R'}{F_R} \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot A_c \cdot K_1 \cdot K_2$$

$F_R \cdot U_L$ Slope of the characteristic curve of the collector.

t_a Monthly average air temperature [°C].

Δt Time variation [s].

K_1 Storage correction factor.

K_2 Correlation factor between minimum temperature of domestic hot water, public network water, and ambient temperature.

$$K_1 = \left(\frac{\text{Liquid Storage Kg}}{75 \cdot A_c} \right)^{-0.25}, \quad 37,5 < \left(\frac{\text{Liquid Storage kg}}{\text{Collector area m}^2} \right) < 300$$

$$K_2 = 11,6 + 1,18 \cdot t_{ac} + 3,86 \cdot t_{red} - \frac{2,32 \cdot t_a}{100 - t_a}$$

Residential demand is estimated by surveys of electricity bills, while space heating needs are based on simulations carried out in a previous study (CON*FIN Research Group, 2015). Hot water needs are calculated for each home at 240 litres for four inhabitants, a statistical average in the zone according to MINVU 2002 (MINVU, 2002). Demand is estimated for typical average days in the highest and lowest irradiation months and hourly consumption rates are established according to a likely use profile for a family of two adults and two student offspring. Although current demand is used to calculate updated supply, adopting passive energy-saving measures such as insulation, direct solar capture and efficient installations are also recommended to minimise energy needs (Charron & Athienitis, 2006; Cuchi, Díez, & Orgaz, 2002; S. R. Hastings & Wall, 2007).

4. Results.

4.1. Integration of PV panels.

The maximum available space for PV collectors is found on the LRS of Model *A* (with 49° tilt) and the SLRS of Model *B* (with 27.2° tilt). These results are close to average measurements for LRS and SLRS of these typologies (26.8° and 43.7° respectively) (Zalamea & García Alvarado, 2014). Thirty-four PV panels fit on Model *A*, leaving space for one skylight; only seven fit on Model *B*. The resulting percentage of occupation for the roof section is 89.3% on Model *A*, compared to 60.3% on Model *B*, and collector area against housing floor area relationships are 0.61m² and 0.12 m² respectively (*Figure 3*).

Supply and demand are expressed in *Figure 3* and *Table 7*. These are calculated incorporating deviations from the north or solar azimuth of 0°, 19°, 56° and 94°, which are the angles calculated in the previous study (Zalamea & García Alvarado, 2014).

Model *A*, on a winter's day, can supply between 92% and 163% of the electricity demand, although this represents only a 7.9% to 14.0% of total energy needs. A heat pump with high performance level (COP > 4) is an alternative to reduce emissions in the zone. However, using solely PV electricity production does not cover the high daily demands in June (winter). A summer's day produces up to six times the electricity demand and 2.4 times total energy needs. Annual net production is estimated from 8907.96 kWh to 7624.66 kWh/year, according to azimuth.

Model *B* can accommodate 9.17m² of PV capture net area, which would produce 143% of average daily electricity needs in summer and only 24.8% in winter. Deviations from the azimuth have no effect on production in the summer and cause only a minor reduction in the winter. The low production in winter would only cover electricity needs around midday with no surplus to the urban electricity supply. With an azimuth of 0° the estimated production is 1,848.10 kWh/year; while a 50° deviation, falls by only 4.7% to 1,760.64 kWh/year (*Figure 3*).

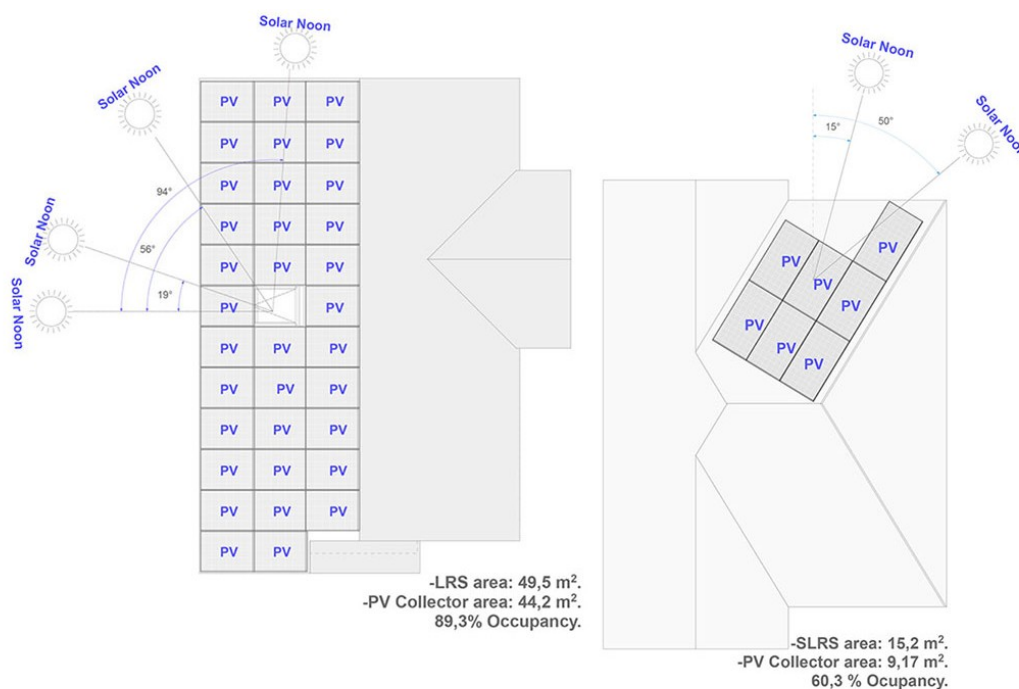


Figure 3 (a) Capacity of PV collectors in Models A y B

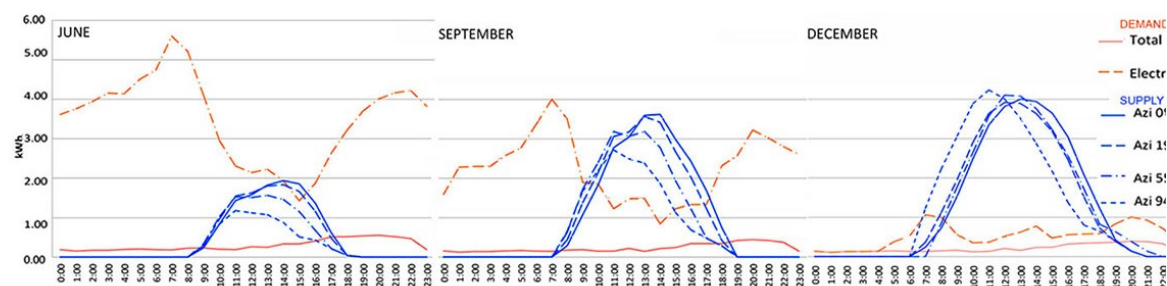


Figure 3 (b) Supply and demand curves for Models A on representative days in December, June and September.

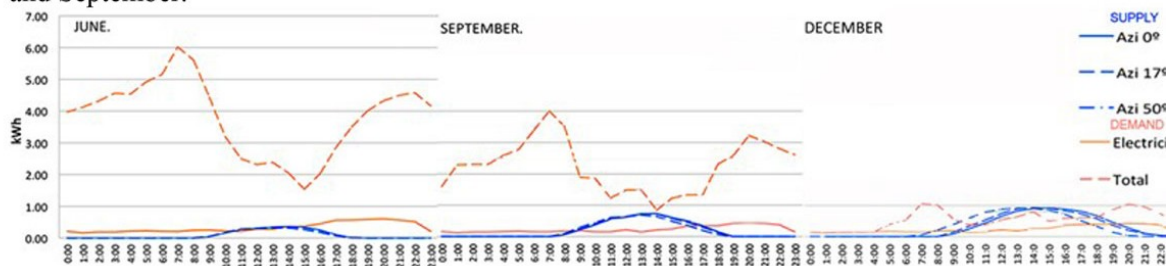


Figure 3 (c) Supply and demand curves for Models B on representative days in December, June and September.

4.2. Integration of PV plus Tw panels.

The results using thermal collectors (Tw) with PV are analysed. The percentage of solar absorption area in comparison to total roof section is reduced to 83.2% for Model A with 31 panels (28 PV and 3 Tw). In Model B, with only a minor drop in available capture area, the same total number of panels is used but thermal collectors replace two of the PV panels. The required number of thermal collectors

for a fixed demand varies according to roof tilt; the more vertically tilted the panels (for Model A), the lower the surplus summer production levels, thus allowing one more panel to be installed without the risk of overproduction. This tilt effect has been described in detail by Gajbert (Gajbert, 2008). The efficiency used was that specified for the *Wunder CLS 1808* model by *Solimpeks®* with demand set at 240 litres of hot water supply or 2,959kWh/year, with three collectors covering 77.8 % of demand; in Model B, two collectors supply 59.6% of demand. *Figure 4 (a)* shows the possible layout of collectors in both cases.

The hour-by-hour energy balance for Model A is shown in *Figure 4 (b)*. This supplies 56.2% of the annual demand of 17,200 kWh (including space heating) with a high surplus for the urban electricity supply in summer .

The following analysis considers Model B with PV plus Tw capture with a 50° azimuth deviation. F-Chart calculations recommend using no more than two thermal panels. These figures give a net supply of 16.4% of annual residential demand, if space heating is included in total demand levels. A comparison of supply and demand is displayed in *Figure 4(c)* and total energy and exergy estimates are seen in *Figure 8*.

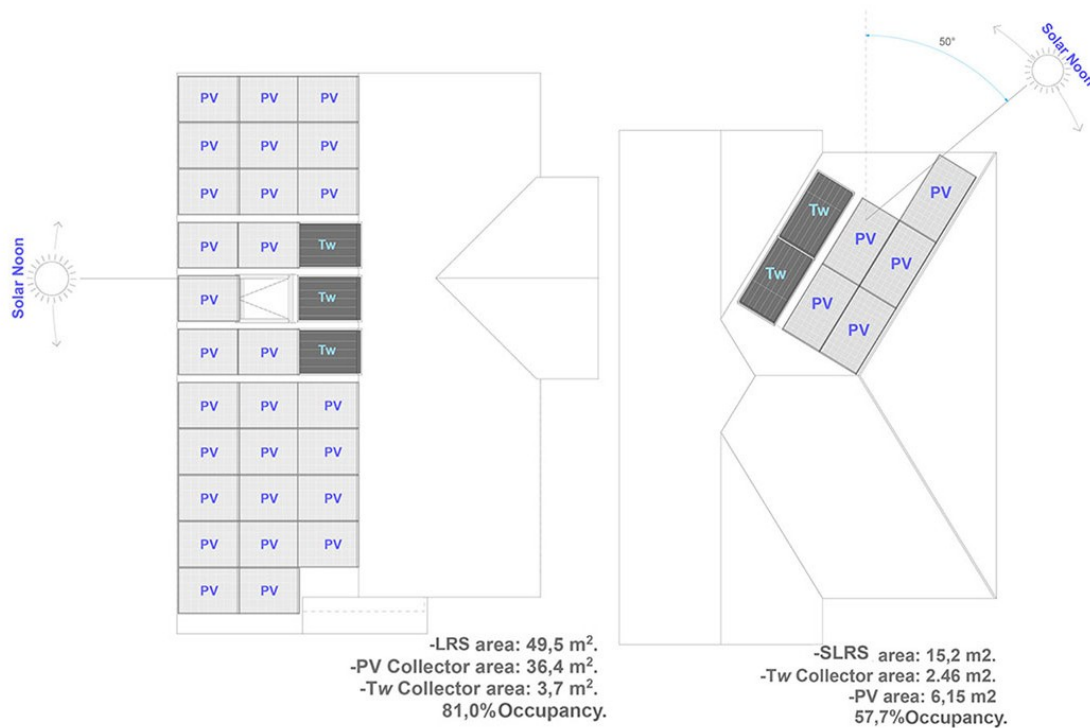


Figure 4 (a) Capacity of PV and Tw collectors in Models A y B.

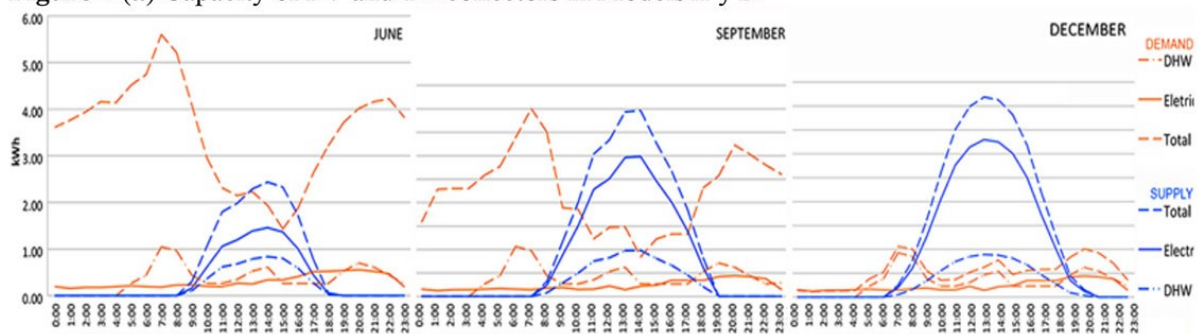


Figure 4 (b) Supply and demand curves for Models *A* on representative days in December, June and September with PV plus Tw technology.

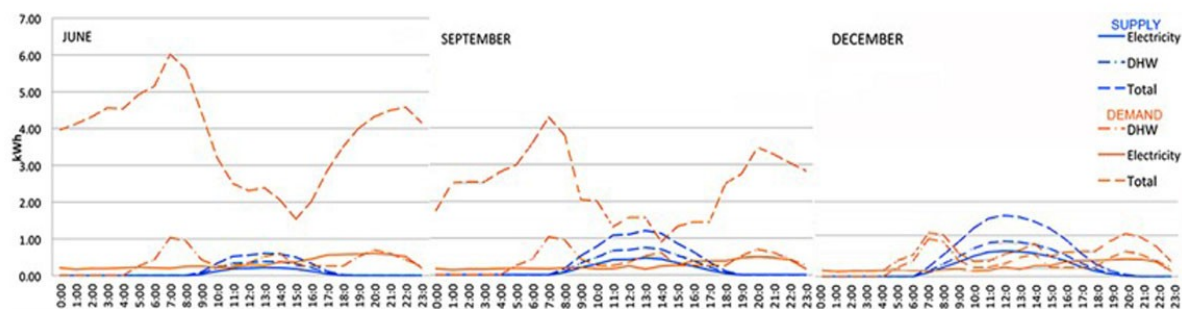


Figure 4 (c) Supply and demand curves for Models *B* on representative days in December, June and September with PV+Tw technology.

4.3. Integration of PV plus PVT panels.

PVT panels with PV units on remaining roof space are forecast to cover hot water demand, based on efficiency data for the *Solimpeks® PowerTherm* collector from simulations by Campos (Campos, 2015) and aforementioned literature. Five hybrid collectors have an optimal storage volume of 250 litres, a figure almost concordant with daily requirements. In the summer period, there is no surplus thermal energy produced; Model *A* supplies 77% of demand and Model *B* 82%, because its inferior roof tilt of 27° (*Figure 5*).

Model *A* produces 1,885 kWh, equivalent to 64.0% of annual hot water demand and 7,394 kWh of annual electricity needs, corresponding to 300.1% of annual electrical demand. It supplies 53.9% of total energy demands, which is almost the same as the PV and Tw collectors previously described. This is a good option in terms of the exergy balance, although margins are minimal. A comparison between daily average demand on months with the highest, lowest and intermediate levels of sun irradiation is shown in the second part of *Figure 5b*.

By integrating PVT collectors together with PV panels in Model *B* with an azimuth deviation of 50°, total estimated production comes to 1,260 kWh/year for electricity, and 1,817kWh/year for thermal energy, giving an overall supply of 17.9% of annual demand, including space heating. The final part of *Figure 5c* shows a comparison between daily production and demand for Model *B*.

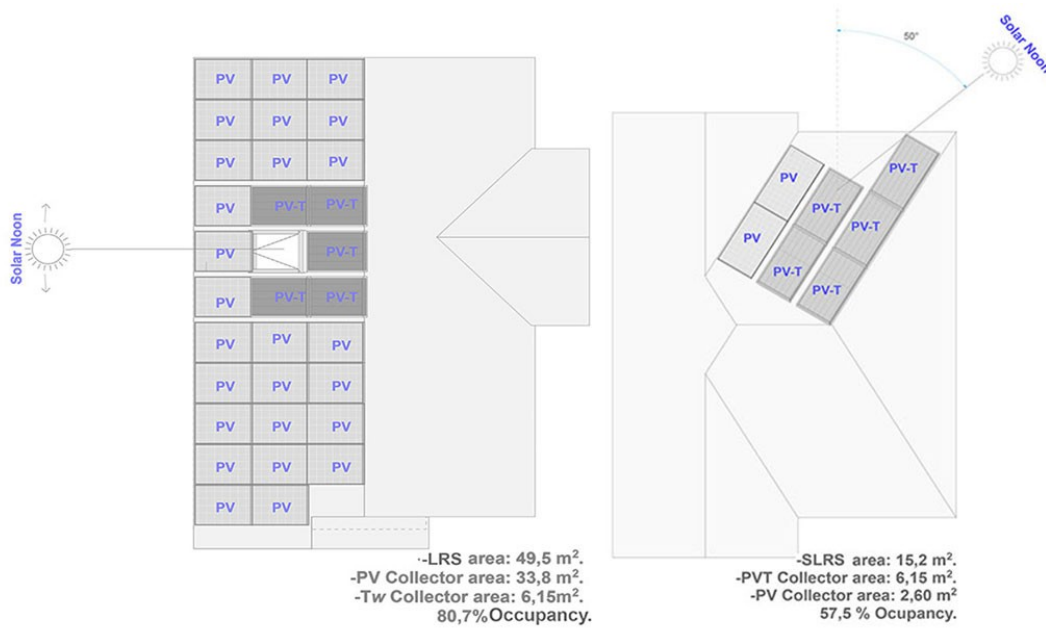


Figure 5 (a) Capacity of PV and PVT collectors in Models *A* y *B*.

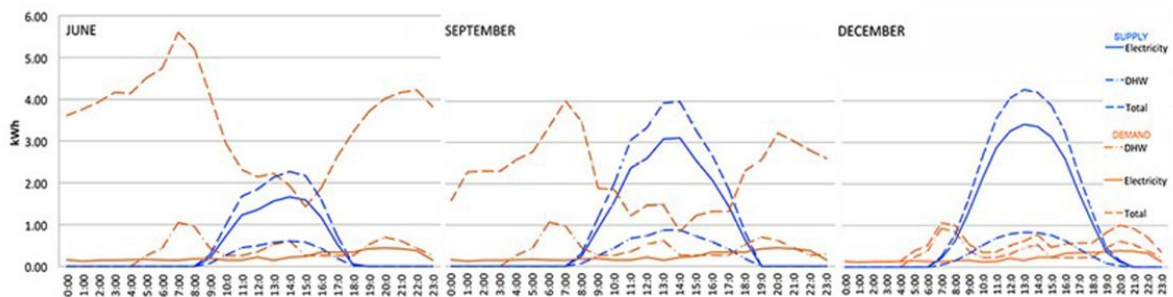


Figure 5 (b) Supply and demand curves for Models *A* on representative days in December, June and September with PV+PVT technology.

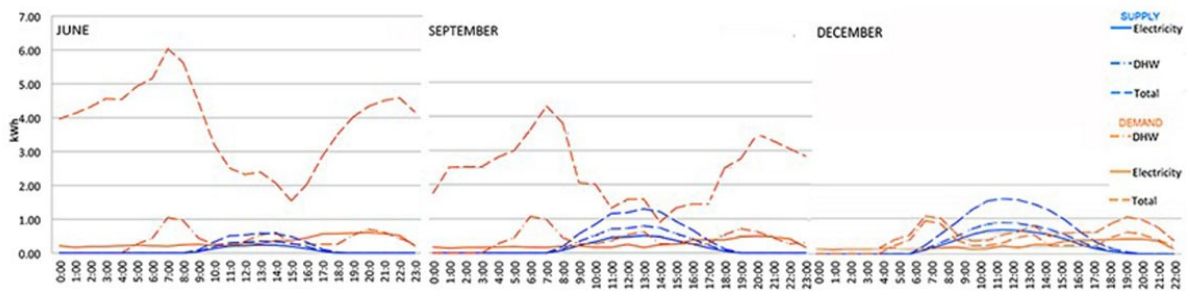


Figure 5 (c) Supply and demand curves for Models *B* on representative days in December, June and September with PV+PVT technology.

4.4. Integration of PVT panels.

The installation of PVT collectors over the whole roof section is analysed for the preferred roof sections in both case studies, examining the potential of this technology for space heating and hot water supply with Combisystem technology (IEA SHC Task 26, 2000). Summer energy surpluses are

quantified for potentially heating a swimming pool or seasonal storage may be possible using geothermic technology for district heating as mentioned previously (Wang, Zheng, Zhang, Zhang, & Yang, 2010). A separation gap must be left between hybrid panels when they are installed, as mentioned, so, in Model A, 75.1% of the roof section can be used as capture area. Model B uses 56.6% of total roof section for the capture area, lower than the area available for PV panels alone, although the difference is minimal.

When comparing production and demand in Model A, in the month of June, the energy generated fully covers hot water needs, but with only 9.1% contribution to space heating demands despite the large solar capture area. Annual thermal energy production is in the order of 14,833 kWh/year with 4,474kWh/year of electricity generated. This production level supplies 112% of total demand but there is a 285% thermal surplus in December, a wide margin that cannot be used for typical domestic demand, as seen in *Figure 6(b)*. For December, hot water demand is fully covered with daily thermal surpluses of 39 kWh and daily electricity surpluses of over 10kWh. These surpluses could be used to heat a swimming pool, providing a daily temperature increase of 1 °C for a 43 m³ pool. However, extending the F-Chart analysis to the month of January, increased air and water temperatures means thermal production is 71% higher than in December and this situation continues through till March. *Figure 6(b)* compares demand, production and surpluses for December as well as production increases in January.

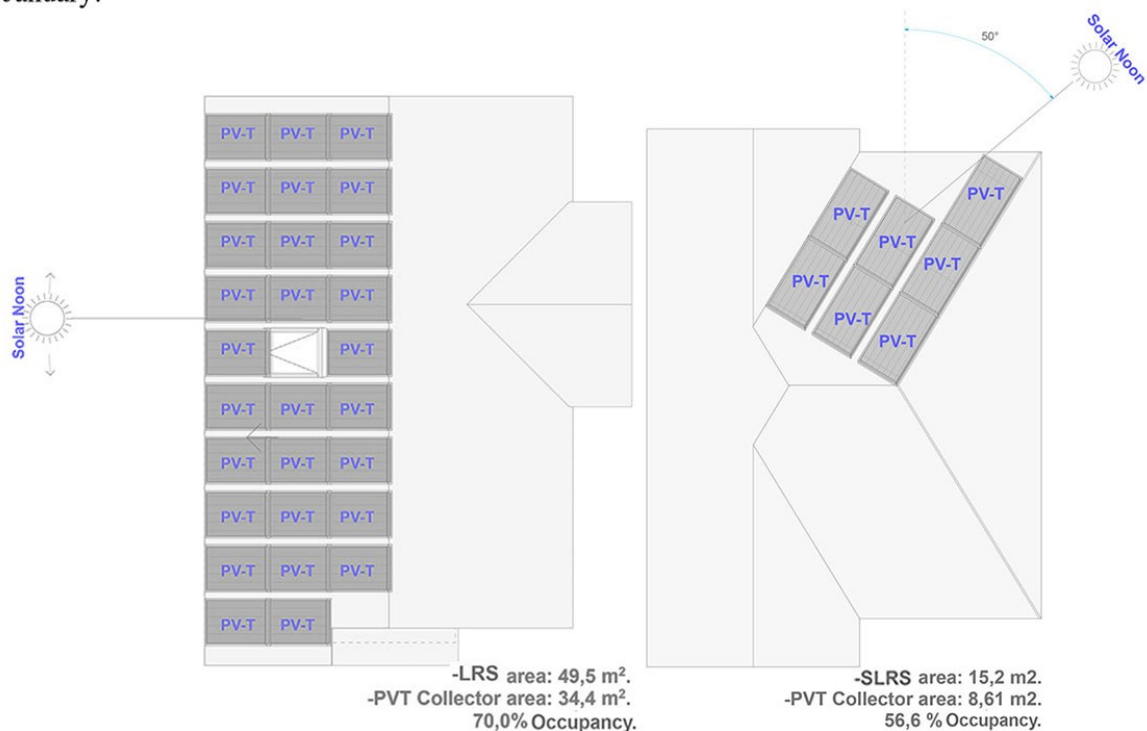


Figure 6(a) Capacity of PVT collectors in Models A y B.

Seven hybrid PVT panels fit on the SLRS of Model B. This requires a 400-litre storage capacity to avoid loss of efficiency, an excessive volume for the hot water needs of the four inhabitants but a useful contribution to space heating when using Combisystem technology. However, seven collectors create minimal thermal surpluses that could only provide 4% of annual heating demands, making this

option undesirable. Annually, 2,106 kWh of thermal energy is produced and 1,102 kWh of electricity. This would account for 18.7% of domestic thermal energy needs and 44.2% of annual electricity needs.

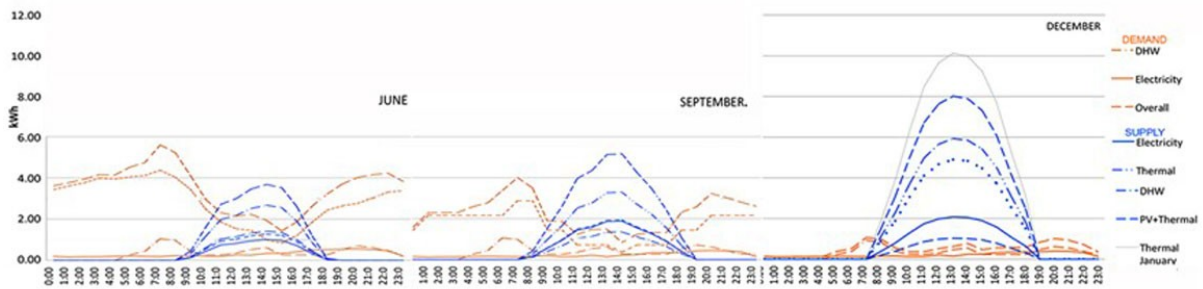


Figure 6 (b) Supply and demand curves for Models *A* on representative days in December, June and September with PVT technology.

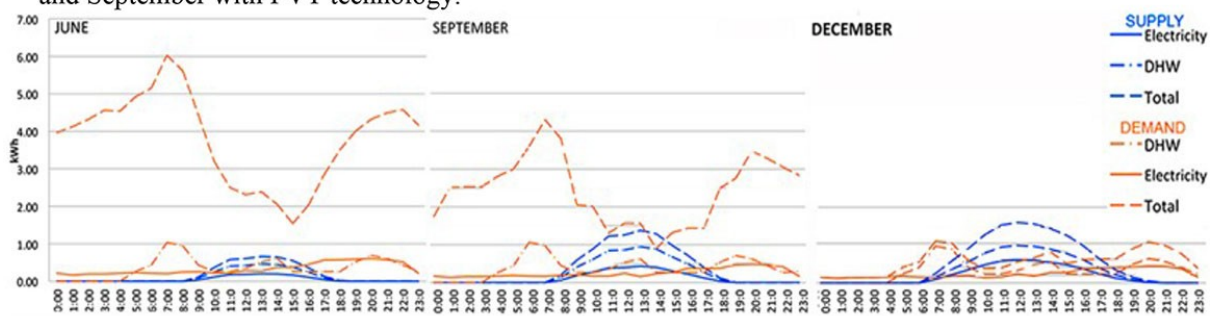


Figure 6 (c) Supply and demand curves for Models *B* on representative days in December, June and September with PVT technology.

4.5 Comparison of useful energy production and supply between different systems.

This research revealed the superior energy supply potential of Model *A* in comparison to Model *B*; generating capacity of the former is between two-fold and six-fold greater depending on the technology used and energy type supplied (*Figure 7*). This suggests that roof geometry has a strong influence on solar energy collection. When comparing technologies, installing PV panels alone offers the highest electricity production levels, while PVT panels perform the worst, with between 40% and 50% less production. Other options lie between these two, providing between 65% and 85% of electricity production compared to solely PV installation. Thermal supply is far higher with PVT panels, although part of the energy generated is surplus to typical domestic needs.

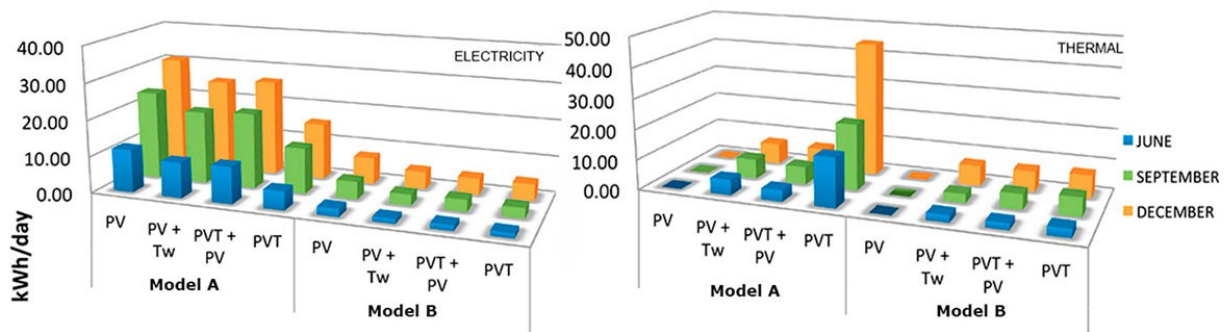


Figure 7. Electricity and Thermal energy supply in Models *A* and *B* depending on technology used.

With regard to exergy, the systems are remarkably similar. Performance is slightly better for PV technology and lower for PV plus Tw. The other two alternatives, PV plus PVT and PVT alone, demonstrated in-between performance. However, in this aspect once again Model *A* proves to be five times better than Model *B* (Figure 8 and Table 2).

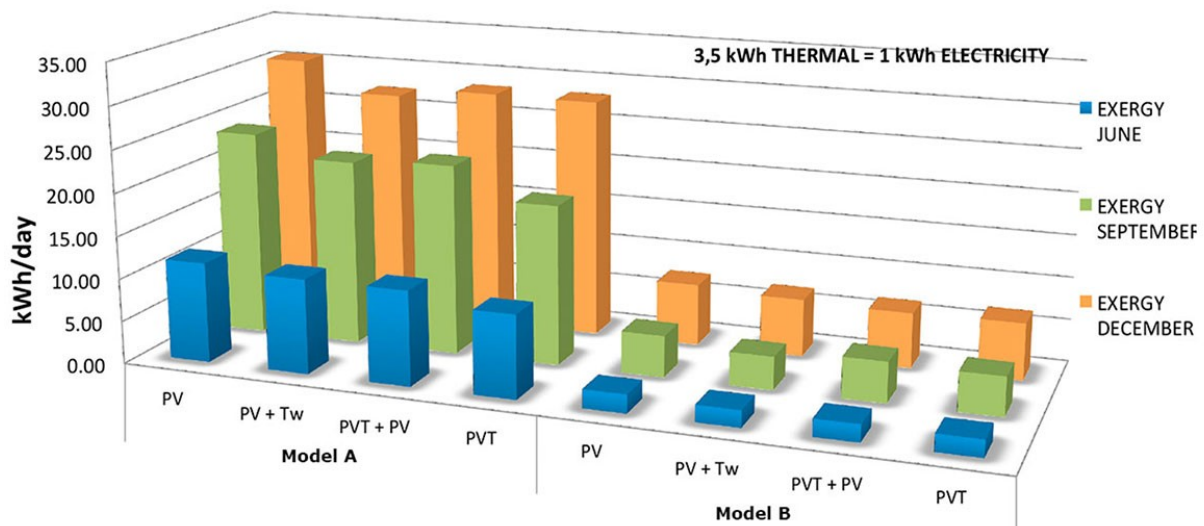


Figure 8. Comparison between exergy production for different capture technologies.

Table 2 shows size and geometric shape indicators of roofs for houses *A* and *B*. Both cases have similar habitable floor areas and numbers of roof sections. However, the LRS roof section for solar capture in Model *A* is three times greater than the SLRS on Model *B*. Also, the perimeter wall under the capture roof section is 2.7 times longer in Model *A* than in Model *B*, a similar proportion to that of the capture areas. Additionally, the greater size and regularity of the roof shape in Model *A* increases the capture surface between 4.0 and 4.9 times, depending on the technology used. Thus, Model *A* can supply between 2.9 and 5.0 times more energy than Model *B*.

Table 2. Comparison between geometric shape of roof sections and average supply in Models *A* and *B*.

Model	Geometrical parameters						# Collectors capacity by wing surface				% Cover demand			
	Built area	# Wing Roof	Collector area	OverallRoof surface m ²	# Edges on roofs	Wall Length under Colectro Wing Roof	PV	Tw+PV	PVT + PV	PVT	Only PV	Tw+PV	PVT+ PV	PVT
A	71,9	5,0	45,0	94,6	5,0	9,3	34,0	3+ 28	5 + 26	28,0	99,2%	105,5%	106,8%	185,0%
B	79,0	6,0	15,2	82,4	9,0	3,4	7,0	2 + 5	5 + 2	7,0	21,8%	34,9%	36,7%	36,7%
Index (A/B)	0,9	0,8	3,0	1,1	0,6	2,7	4,9	4,4	4,4	4,0	4,5	3,0	2,9	5,0

* Thermal overproduction for domestic demand, for alternative use.

4. Conclusions.

This study estimated the energy supply of integrated solar panels in two examples of recently built single-family homes in Concepción, Chile. The calculation related energy demands and roof conditions for implementing integrated solar systems onto the roof section offering best production potential for each house. The houses were selected due to their different roof geometries but similar floor areas and construction systems. Three solar technology alternatives were analysed to provide electricity and hot water supply without generating thermal surpluses, and a fourth hybrid alternative was considered to supply space heating as well (with thermal surplus). Comparison was made between two house models from housing developments built over the last five years in the central commune of the metropolitan area. Both models shared a similar overall roof area but one (Model A) had the most regular and largest roof section while the other (Model B) had the most fragmented and consequently smaller roof section. Analysis was performed hourly for representative days at the hottest, coldest and intermediate seasons of the year.

The roof design of Model A could hold up to 34 solar panels on the roof section that was most favourable to solar collection, while the most favourable roof section in Model B had space for only seven panels. Model A is able to accommodate almost five times as many panels as Model B since the most favourable roof section in the latter model is only its second-largest section and is irregular in shape. In contrast, Model A offered more capacity for integrated solar panels due to a more regular shape and strong size variations between its roof sections. In both cases, the need for separation gaps between thermal and hybrid panels for connecting fluid pipes led to reductions in surface area available for panels of approximately 43.4% of total roof section surface.

In energy production, both cases offered a substantial electricity contribution during the year, reaching between one-and-a-half and six times the demand in the warmest month, between 435% and 83% in the mid-season and between 163% and 28% in the coldest month. The thermal contribution was more restricted to avoid surpluses in the summer period. In Model A, the hybrid PVT system achieved a 21% contribution to space heating in winter and 45% contribution in the intermediate seasons, but with surplus production in summer. Also, it must be made clear that these systems are still experimental.

Analysis showed that the exergy of Model A had four times more potential in summer and five times in winter in comparison to Model B. Previous studies (Chow, 2010; Saitoh et al., 2003) have suggested greater exergy with PVT technology. However, in our case studies, including the necessary separation gap between the Tw and PVT solar panels meant fewer panels fitted on each roof section.

This penalised the net solar capture compared with options involving PV panels.

The different results between the models demonstrate the important role played by roof design, including roof section size and shape, when implementing integrated solar panels. Energy production is greater for roofs with larger and more regular-shaped sections with good solar orientation. Integration of panels is more straightforward for rectangular-shaped roof sections, offering greater adaptability in both constructive and visual terms thanks to the geometric parallelism of panel modules with the roof edges. In contrast, there is more leftover unused space on irregular roof sections. In terms of house layout, in the models studied longer perimeter walls provided larger roof sections. This study therefore suggests that designing a house with an extended shape and regular roof with good solar orientation and tilt could allow the integration of enough solar panels to meet total domestic energy demand and provide surplus energy to feed back into the urban electricity supply.

A verification of the technological performance and financial behaviour of the systems proposed would help refine the implications of this study. A technical study of the constructive integration and the architectural variations between different models is also needed to review possible installation options. Additionally, it is important to examine the resulting visual appearance and spatial quality of the houses with integrated solar panels.

Acknowledgments

This work is part of the research project *CON*FIN Conicyt AKA-ERNC 007*. We would also like to thank the *Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador, SENESCYT* for financial support.

References

- Araya-Muñoz, D., Carvajal, D., Sáez-Carreño, A., Bensaid, S., & Soto-Márquez, E. (2013). Assessing the solar potential of roofs in Valparaíso (Chile). *Energy and Buildings*, *69*, 62–73. doi:10.1016/j.enbuild.2013.10.014
- Basnet, A. (2012). *Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings*. Norwegian University of Science and Technology.
- Bougiatioti, F., & Michael, A. (2015). The architectural integration of active solar systems. Building applications in the Eastern Mediterranean region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *47*, 966–982. doi:10.1016/j.rser.2015.03.030
- Campos, P. (2015). *Evaluación técnico-económico de alternativas de generación energética in situ en viviendas en Concepción*. Universidad de Concepción.
- Celis, F., García, R., Trebilcock, M., Escorcía, O., & Díaz, M. (2012). Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquitecturarevista*, *8*, 62–75. doi:10.4013/arq.2012.81.07
- Charron, R., & Athienitis, A. (2006). Design and Optimization of Net Zero Energy Solar Homes (AE). *ASHRAE Transaction*, *112*, 285–296.
- Chow, T. T. (2010). A review on photovoltaic / thermal hybrid solar technology. *Applied Energy*, *87*(2), 365–379. doi:10.1016/j.apenergy.2009.06.037
- CON*FIN Research Group. (2015). Evaluación del Potencial Solar de Áreas Urbanas. Retrieved from <http://ubiobio.cl/confin/#>

- Cristofari, C., Notton, G., & Canaletti, J. L. (2009). Thermal behavior of a copolymer PV/Th solar system in low flow rate conditions. *Solar Energy*, 83(8), 1123–1138. doi:10.1016/j.solener.2009.01.008
- Cuchi, A., Díez, G., & Orgaz, C. (2002). *La Cubierta Captadora en los Edificios de Viviendas* (1st ed.). Barcelona: INSTITUT TECNOLOGIA CONSTRUCCIO.
- DiCastri, F., & Hajek, E. (1976). *Bioclimatología de Chile*. Santiago de Chile: Universidad Católica de Chile. Retrieved from <http://medcontent.metapress.com/index/A65RM03P4874243N.pdf>
<http://www.ecolyma.cl/>
- Gajbert, H. (2008). *Solar thermal energy systems for building integration*. Lund University.
- Haberl, J. S., & Cho, S. (2014). Energy Systems. *Working Group III - Mitigation of Climate Change*, (August), 139.
- Hachem, C. (2012). *Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods*. Concordia University.
- Hastings, S. R., & Wall, M. (2007). *Sustainable Solar Housing: Volume 2 - Exemplary Buildings and Technologies*. (R. Hastings & M. Wall, Eds.). London & Sterling VA: Earthscan.
- IEA SHC Task 26. (2000). *CombiSystem Overview 2000*. (J. Suter, T. Letz, W. Weiss, & J. Inabnit, Eds.). Retrieved from <http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien551.pdf>
- IEA SHC Task 41. (2012). *Solar energy systems in architecture SHC Task 41*. Retrieved from <http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/T41DA2-Solar-Energy-Systems-in-Architecture-28March2013.pdf>
- Kaan, H., & Reijenga, T. (2004). Photovoltaics in an architectural context. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 12(6), 395–408. doi:10.1002/pip.554
- Lazarov, V., Schaeffer, C., Shishkov, M., & Ivanova, M. (2005). Hybrid solar collector. *Journal of Materials Processing Technology*, 161(1-2 SPEC. ISS.), 229–233. doi:10.1016/j.jmatprotec.2004.07.029
- Lukač, N., & Žalik, B. (2013). GPU-based roofs' solar potential estimation using LiDAR data. *Computers and Geosciences*, 52, 34–41. doi:10.1016/j.cageo.2012.10.010
- Lund, P. (2012). Large-scale urban renewable electricity schemes - Integration and interfacing aspects. *Energy Conversion and Management*, 63, 162–172. doi:10.1016/j.enconman.2012.01.037
- MINVU. (2002). Datos de La Comuna de Concepción. Retrieved February 18, 2015, from <http://www.observatoriorurbano.cl/indurb/ciudades.asp>
- Munari, C. (2009). *Architectural Integration and Design of Solar Thermal Systems*. ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE.
- Observatorio Habitacional. (2015). *Viviendas unidades y superficie según mes y comuna 2002 -2013-3*. Santiago de Chile. Retrieved from http://www.observatoriorhabitacional.cl/opensite_20080122171157.aspx
- Pathak, M. J. M., Sanders, P. G., & Pearce, J. M. (2014). Optimizing limited solar roof access by exergy analysis of solar thermal, photovoltaic, and hybrid photovoltaic thermal systems. *Applied Energy*, 120, 115–124. doi:10.1016/j.apenergy.2014.01.041
- Pelland, S., & Poissant, Y. (2006). an Evaluation of the Potential of Building Integrated Photovoltaics in Canada. *Renewable Energy*, 8. Retrieved from http://canmetenergy-canmetenergie.nrcan-nrcan.gc.ca/fichier.php/codectec/En/2006-047/2006-047_OP-J_411-SOLRES_BIPV_new.pdf
- PNUD, & MINENERGIA. (2014). Algoritmo_fchart v3. Retrieved from <http://www.programasolar.cl>
- Saitoh, H., Hamada, Y., Kubota, H., Nakamura, M., Ochifuji, K., Yokoyama, S., & Nagano, K. (2003). Field experiments

- and analyses on a hybrid solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 23(16), 2089–2105. doi:10.1016/S1359-4311(03)00166-2
- Tonui, J. K., & Tripanagnostopoulos, Y. (2007). Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation. *Renewable Energy*, 32(4), 623–637. doi:10.1016/j.renene.2006.03.006
- Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, T. H., Souliotis, M., & Yianoulis, P. (2002). Hybrid Photovoltaic / Thermal Solar Systems. *Solar Energy*, 72(3), 217–234.
- Wall, M., Munari Probst, M. C., Roecker, C., Dubois, M. C., Horvat, M., Jørgensen, O. B., & Kappel, K. (2012). Achieving solar energy in architecture - IEA SHC Task 41. *Energy Procedia*, 30, 1250–1260. doi:10.1016/j.egypro.2012.11.138
- Wang, X., Zheng, M., Zhang, W., Zhang, S., & Yang, T. (2010). Experimental study of a solar-assisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas. *Energy and Buildings*, 42, 2104–2110. doi:10.1016/j.enbuild.2010.06.022
- Zalamea, E., & García Alvarado, R. (2014). Roof characteristics for integrated solar collection in dwellings of Real-Estate developments in Concepción, Chile. *Revista de La Construcción Journal of Construction*, 36(133), 36–44.
- Zondag, H. a. (2008). Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 891–959. doi:10.1016/j.rser.2005.12.012