

# UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO

DESARROLLO DE SISTEMAS PARAMÉTRICOS DE ENERGÍA SOLAR INTEGRADOS EN SOFTWARE DE DISEÑO BIM, PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES DE LA CIUDAD DE CONCEPCIÓN.

# TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

**AUTOR: ALEJANDRO BONILLA CASTRO** 

PROFESOR GUÍA: RODRIGO GARCÍA ALVARADO

**CONCEPCION, 15 de Agosto de 2016** 

Resumen

#### Resumen

La integración adecuada de tecnologías de captación solar en las construcciones residenciales ayudan a reducir significativamente los consumos de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero; considerando que la incorporación de paneles solares en etapas tempranas de diseño es una de las alternativas más eficientes para el aprovechamiento de la energía solar. Sin embargo, su empleo se ve limitado por la información parcial de algunos equipos y cálculos, que en la mayoría es más adecuada para las fases de diseño de detalle, careciendo de la descripción de aspectos sistemáticos que, ligados con el criterio de integración, permitan identificar las superficies con mayor potencial solar relacionado a la morfología, función y estructura de una edificación en etapas tempranas de diseño. Por tal motivo, el presente trabajo desarrolla una metodología para parametrizar sistemas de energía solar en viviendas integrados a un software de diseño BIM; realizando una investigación de tipo experimental, en la cual se identifican y caracterizan los sistemas solares térmicos (SST) más utilizados en la ciudad de Concepción y la tipología de vivienda unifamiliar más representativa de la zona, posteriormente se definen las características de familias BIM y se vinculan al software de diseño mediante una programación algorítmica en Dynamo. Se obtiene como resultado un método de diseño integrado que permite seleccionar productos solares y adaptarlos automáticamente en el diseño de la vivienda a través de la modelación de familias paramétricas de los componentes solares, cálculo del potencial solar de la techumbre, evaluación de los componentes según la demanda de ACS, cuantificación e integración del SST en el modelo de la vivienda, trazado de cañerías, presupuesto y visualización final. El método es validando al verificar su desempeño en dos casos de estudio mediante un análisis paramétrico que identificó cambios en el tipo y cantidad de componentes solares a utilizar en función a la inclinación del techo y orientación de la vivienda.

**Palabras claves:** Energía Solar, Sistema Solar Térmico, Análisis Paramétrico, Integración Arquitectónica, BIM.

i

Abstract

#### **Abstract**

The proper integration of solar collection technologies in the residential constructions help to reduce fuel consumption and greenhouse gas emissions; this establishes that the incorporation of solar panels is one of the most efficient alternatives to use the solar energy in early stages of design. However, they are not used for the partial information of some equipment and calculations, which usually they are suited for detailed design phases, and the lack of description of systematic aspects to identify the surfaces with higher solar potential related to the morphology, function and structure of a building in early stage of design. For this reason, this work develops a methodology to integrate solar thermal systems (STS) in BIM-software for the architectural design of single-family homes in Concepcion, Chile; Initially a characterization of solar thermal systems most used in the zone was carried out, to review formal aspects and technical features proper to single-family homes. Later, the characteristics of BIM families were defined and linked to design software with the use of an algorithmic programming generated with language Dynamo. The result was a method of integrated design that allowed to select solar products, insert and adapts automatically the parametric designs into the model, and also to calculated the solar potential, the evaluation of the components according to the demand of domestic hot water, the quantification and integration of the STS on the model, mapping of pipes, budget and final architecture visualisation. A parametric analysis on the cases of study was made to validate the method, allowed identifying changes in the type and number of solar components when the roof inclination and the solar orientation of the house is modified.

**Keywords:** Solar Energy, Solar Thermal System, Parametric Analysis, Architectural Integration, BIM.

i

# Índice

# Índice

Lista	de F	igur	as	iv
Lista	de 1	Tabla	s	<b>v</b> i
Lista	de (	Gráfic	cos	. vi
Capít	ulo	1.	Introducción	1
1.3	1	Plan	iteamiento del Problema	2
1.2	2	Preg	gunta de Investigación	3
1.3	3	Rele	evancia del Problema	4
1.4	1	Hipo	ótesis	5
1.5	5	Obje	etivo General	5
1.6	ô	Obje	etivos Específicos	5
1.7	7	Met	odología	6
Capít	ulo	2.	Marco teórico	. 10
2.2	1	Ene	rgía Solar Térmica y Arquitectura	10
2.2	2	Siste	emas Solares Térmicos	11
	2.2.	1	Instalación Solar térmica (IST)	11
	2.2.	2	Configuración de Instalación Solar térmica (IST)	13
	2.2.	3	Componentes de un Sistema Solar Térmico (SST)	16
	2.2.	3.1	Colector Solar	.16
	2.2.	3.2	Acumulador	. 18
	2.2.	3.3	Red Hidráulica	. 19
	2.2.	3.4	Fluido de trabajo	20
2.3	3	Inte	gración de Sistemas Solares Térmicos en Arquitectura	21
2.4	1	Her	ramientas para integrar Sistemas Solares Térmicos en Arquitectura	22
2.5	5	Dise	ño paramétrico BIM	24
Capít	ulo	3.	Selección de casos de estudio	. 26
3.2	1	Ider	tificación de sistemas solares térmicos más utilizados en la ciudad de Concepción.	26
	3.1.	1	Integración Arquitectónica	26
	3.1.	2	Características de los equipos solares disponibles en el mercado	27
	3.1.	3	Usos y aplicaciones del Sistema Solar Térmico	28
	3.1.	4	Desempeño del Sistema Solar Térmico	30

# Índice

3.2 Cara		acterización de las viviendas unifamiliares de la ciudad de Concepción	31
Capítulo	4.	Familias Paramétricas BIM	35
4.1	Car	acterísticas de Familias Paramétricas BIM	35
4.1	l.1	Sistema de tuberías MEP	36
4.1	L.2	Parámetros de familias	36
4.2	Vin	culación de las características de cada componente del SST al software de diseño	
BIM.	37		
4.2	2.1	Modelado 3D de la vivienda tipo.	38
4.2	2.2	Dimensionamiento de los componentes del SST.	39
4.2	2.3	Programación algorítmica en Dynamo	46
4.2	2.4	Diseño de Sistema de Tuberías MEP	49
Capítulo	5.	Comportamiento paramétrico del SST	50
5.1	Aná	ilisis Paramétrico del SST	50
5.1	l.1	Caso de estudio A	50
5.1	L.2	Caso de estudio B	54
5.2	Cos	tos asociados a los tipos de componentes solares a usar	57
5.3	Visi	ualización de la Integración del SST	60
Conclus	iones		63
Referen	cias E	Bibliográficas	66

# Lista de Figuras

Figura 1: Denominación de los sistemas de una instalación solar (Fallis, 2013b)	12
Figura 2: Denominación de los circuitos hidráulicos de una instalación solar (Fallis, 2013b)	13
Figura 3: Clasificación de los SST por la forma de circulación. (Fallis, 2013a)	. 13
Figura 4: Clasificación de los SST por el sistema de intercambio. (Fallis, 2013a)	. 14
Figura 5: Clasificación de los SST por la forma de acoplamiento. (Fallis, 2013a)	. 15
Figura 6: Instalación solar con intercambiador interno (Fallis, 2013b)	. 16
Figura 7: Colector solar plano.(www.ener-solar.cl)	. 17
Figura 8: Colectores solares de tubos al vacío.(www.ener-solar.cl)	. 18
Figura 9: Acumulador con intercambiador incorporado. (www.elbi.it)	. 19
Figura 10: Integración de sistemas solares térmicos en arquitectura. (Munari, M; Roecker, C. 20	12)
	. 22
Figura 11: Distribución de respuestas acerca de los software CAAD más usados en la fase tempr	ana
de diseño. Resultado de cinco herramientas digitales.(Horvat, M. ; Wall, 2012)	. 24
Figura 12. Integración arquitectónica. Se aconseja seguir líneas generales del edificio (figura de	la
derecha). (MINVU, 2013)	27
Figura 13: Aplicaciones de sistema solar forzado en viviendas unifamiliares. Fuente: www.ener-	
solar.cl www.enersoft.cl)	29
Figura 14: Caso de estudio A. Vivienda unifamiliar de condominio Antilhue. (El Autor)	33
Figura 15: Caso de estudio B. Vivienda pareada de 103 m² en sector Las Princesas. (El Autor)	34
Figura 16: Modelo 3D de vivienda tipo (Caso de estudio A). (El Autor)	. 39
Figura 17: Relación de herramientas digitales mediante programación algorítmica. (El autor)	. 46
Figura 18: Programación algorítmica para definir la superficie con mayor potencial solar y extra	er
datos de inclinación y azimut para el dimensionamiento del SST. (El Autor)	. 47
Figura 19: Programación algorítmica para definir el punto de inserción de las familias	
paramétricas. (El autor)	. 48
Figura 20: Integración del SST en la vivienda mediante la programación algorítmica creada en	
Dynamo. (El Autor)	. 48
Figura 21: Vinculación de las familias paramétricas del SST mediante el diseño de sistemas de	
tuberías MEP. (El Autor)	49

### Lista de Figuras

Figura 22: Variación de orientación en vivienda tipo A de acuerdo al ángulo azimut del faldón de	la
cubierta donde se ubica el colector solar. (El Autor)	51
Figura 23: Variación de orientación en vivienda tipo B de acuerdo al ángulo azimut del faldón de	la
cubierta donde se ubica el colector solar. (El Autor)	54
Figura 24: Integración de colectores planos en caso de estudio A	61
Figura 25: Integración de colectores Heat pipe en caso de estudio A	61
Figura 26: Integración de colectores planos en caso de estudio B.	62
Figura 27: Integración de colectores Heat pipe en caso de estudio B	62

Lista de Tablas

# Lista de Tablas

Tabla 1: Características de los equipos solares utilizados en la ciudad de Concepción. (El Autor)	28
Tabla 2: Especificaciones técnicas de los colectores solares. (El Autor)	29
Tabla 3. Características geométricas de la cubierta de casos de estudio. (Zalamea & Alvarado,	
2014)	32
Tabla 4: Parámetros de Familias. (El Autor)	37
Tabla 5: Cálculo de número de personas por vivienda. Fuente: ( <i>Reglamento de la Ley 20.365,</i> 201	10)
	40
Tabla 6: Contribución solar mínima para cada zona climática. Fuente: (Ley 20.365)	41
Tabla 7: Radiación solar anual en la ciudad de Concepción. (El Autor)	43
Tabla 8: Dimensionamiento del SST en Excel. (El Autor)	44
Tabla 9: Base de datos de familias paramétricas de los componentes del SST. (El Autor)	44
Tabla 10: Resumen de familias paramétricas a usar y comprobación de contribución solar mínima	a
del SST. (El Autor)	45

#### Lista de Gráficos

# Lista de Gráficos

Gráfico 1: Número de viviendas por tipología. (El Autor)	32
Gráfico 2: Tipo de colector plano de acuerdo al ángulo de azimut. (El Autor)5	52
Gráfico 3: Tipo de colector Heat pipe de acuerdo al ángulo de azimut. (El Autor)5	53
Gráfico 4: Comparación de Fracción solar generada por tipos de colectores solares. (El Autor) 5	53
Gráfico 5: Tipo de colector plano de acuerdo al ángulo de azimut. (El Autor)5	55
Gráfico 6: Tipo de colector Heat pipe de acuerdo al ángulo de azimut. (El Autor)5	56
Gráfico 7: Comparación de Fracción solar generada por tipos de colectores solares. (El Autor) 5	57
Gráfico 8: Costos de Colector Plano y acumulador en caso de estudio A. (El Autor)5	58
Gráfico 9: Costos de colector Heat pipe y acumulador en caso de estudio A. (El Autor)5	58
Gráfico 10: Costos de Colector Plano y acumulador en caso de estudio B. (El Autor)5	59
Gráfico 11: Costos de colector Heat pipe y acumulador en caso de estudio B. (El Autor)	5C

# Capítulo 1. Introducción

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. Cristian Cuevas de la Universidad de Concepción y Prof. Peter Lund de Aalto University, Finlandia, además de la coordinación de la Dra. Paulina Wegertseder, técnicos, ayudantes y tesistas de postgrado. El proyecto matriz está destinado a desarrollar una metodología consistente y probada de evaluación del potencial solar urbano, considerando diversas tipologías de edificación en la ciudad de Concepción y Helsinki.

El presente trabajo recibió un apoyo parcial por parte del proyecto, asumiendo el estudio de solamente viviendas unifamiliares procedentes de emprendimientos inmobiliarios desarrollados dentro de los últimos siete años en la comuna de Concepción. Se utilizan datos de tipologías arquitectónicas y antecedentes del proyecto general, pero se desarrolla de manera independiente una metodología para parametrizar sistemas de energía solar integrados a un software de diseño BIM, basado en las características tecnológicas particulares de los sistemas solares térmicos y su aplicación en dichas viviendas como casos de estudio; bajo la dirección del Dr. Rodrigo García Alvarado de la U. del Bío-Bío. Es importante señalar que el avance de la tesis ha sido presentado en reuniones internas del grupo de investigación, y se ha enviado como artículo para ponencia al Congreso Sigradi que se realizará en Buenos Aires en noviembre de 2016, con el título de "Difusión de Sistemas de Energía Solar Integrados en Proyectos de Viviendas mediante Familias BIM + Dynamo".

Para el autor ha sido un incentivo el participar y dimensionar estas tecnologías para un ámbito en el que tiene relevancia actual el aprovechamiento energético renovable y su incorporación en viviendas desde el punto de vista arquitectónico. Bajo este principio, el enfoque de este trabajo de investigación va dirigido a la integración de sistemas solares térmicos (SST) en etapas tempranas de diseño de un proyecto con el uso de herramientas digitales que permiten vincular de manera paramétrica las características arquitectónicas del modelo con el dimensionamiento del SST, la

metodología implementada es extrapolable en gran medida al igual que la experiencia y métodos a un contexto diferente.

#### 1.1 Planteamiento del Problema

En un ámbito generalizado se puede decir que el patrón de desarrollo de nuestra sociedad no es sostenible, tanto por el agotamiento de las fuentes naturales, como por el impacto ambiental. Por tal motivo es necesario hacer frente a este problema usando el ahorro energético como una de las armas más eficaces (Lecuona et al., 2005). La actividad que se realiza en los edificios constituye el consumidor más importante en nuestra sociedad, ya que son responsables de más del 40% de uso de energía primaria total de todo el mundo y el 24% de emisiones de gas de efecto invernadero CO2 (M Wall, Windeleff, & Lien, 2008).

A nivel local, la demanda energética en una vivienda tipo en Concepción muestra que al menos 70% de la energía es para calefaccionar (La mayor parte de la calefacción se consume en leña y con muy baja eficiencia) y un 11% para abastecer A.C.S, de un total de 13,500 kWh/año (Fissore, 2009); el gasto de calefacción promedio mensual por familia alcanzó un promedio de \$24.208 al mes (Bustamante, Cepeda, Martínez, & Santa María, 2009). De igual manera es importante señalar que la utilización de las distintas fuentes de energía en la producción de agua caliente sanitaria de los hogares chilenos se reparte aproximadamente en un 70% de uso de gas licuado, un 25% de gas natural, y el 5% restante entre electricidad, leña y otros combustibles (Fallis, 2013b).

Ante este panorama, es relevante 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. 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; también se ha analizado producción energética, especialmente fotovoltaica, acorde a inclinación y orientación de colectores, y se ha medido resultados de producción energética de instalaciones arquitectónicamente integradas; 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 que a su vez muestren resultados arquitectónicos consecuentes (Zalamea & García, 2014).

Actualmente los métodos que señalan, describen y recomiendan implementar sistemas de energía solar térmica, fotovoltaica o híbrida en edificaciones carecen de la descripción de aspectos sistemáticos que ligado con el criterio de integración, permitan en etapas tempranas del diseño identificar las superficies con mayor potencial solar relacionado a su morfología, función y estructura de una edificación asociado de este modo el potencial con el rendimiento de cada tecnología satisfaciendo finalmente necesidades como ACS, Calefacción y electricidad (Horvat, M.; Wall, 2012).

Aunque existe un gran número de herramientas de diseño solar disponibles en el mercado hoy en día, la mayoría son más adecuadas para las fases de diseño de detalle; debido a su complejidad y nivel preciso de información necesaria para la entrada al EDP (Early Design Phase) (Horvat & Dubois, 2012).

Un caso excepcional en este panorama es el desarrollo de objetos paramétricos 3D ArchiCAD (año 2010) por parte de BFE, ISAAC, que tienen como objetivo simplificar la elaboración y presentación de material fotovoltaico en representaciones arquitectónicas. Estas herramientas gráficas pretenden apoyar a arquitectos y diseñadores que necesitan un sistema sencillo para representar sus proyectos e ideas de fotovoltaica integrada a nivel visual. Este objeto es compatible sólo con Graphisoft ArchiCAD y Autodesk AutoCAD, lo que hace limitado su uso con otros programas BIM como el software de diseño de edificios Revit®, además que las características de los objetos son referenciales y no están acorde al mercado y condiciones locales de Chile.

# 1.2 Pregunta de Investigación

La situación descrita anteriormente induce a generar la siguiente interrogante: ¿Cómo integrar en un software de diseño de edificios BIM las características tecnológicas particulares de los sistemas de energía solar más utilizados en las viviendas unifamiliares de la ciudad de Concepción, con el fin de lograr la integración arquitectónica de un sistema solar térmico en la etapa conceptual de un proyecto?, con el propósito de obtener datos cuantitativos de los elementos paramétricos de los sistemas solares.

#### 1.3 Relevancia del Problema

Es claro que el uso de la energía solar puede ser una parte importante del diseño del edificio, que a pesar de las tecnologías solares disponibles y las posibilidades que presentan para reducir la demanda de energía, estos sistemas no son utilizados en la mayoría de los edificios hoy día. De acuerdo a lo expresado en la encuesta realizada para el documento IA SHC Task 41: Solar energy and Architecture, los sistemas de energía solar no tienen tanta demanda para ser utilizados al inicio de los proyectos por las siguientes causas: Factores económicos asociados a la inversión y costo de mantenimiento, factores relacionados a la falta de conocimiento técnico por parte de los arquitectos y fabricantes y factores relacionados a la arquitectura (estética) debido a la mala calidad arquitectónica de su integración en la envolvente del edificio. De este último factor se deriva la falta de herramientas simples que puedan cuantificar e ilustrar la influencia de varias aplicaciones de energía solar en un primer escenario de diseño que permita hacer cambios del proyecto (M Wall et al., 2008).

Estos cambios se deben realizar al inicio del proyecto, donde aproximadamente el 80% de las decisiones de diseño que influyen en rendimiento de energía de un edificio son hechos por el arquitecto en la informática; el restante 20% son hechos por ingenieros en las fases posteriores del diseño. Por lo tanto, es fundamental para los arquitectos el poder utilizar una evaluación de desempeño rápido y confiable de energía a muy temprana etapa del proceso (GRAPHISOFT, h 2009).

En este sentido, se ve la importancia que tienen las herramientas digitales, que además de mejorar drásticamente la velocidad de la entrega del documento de diseño, también ofrece diversos productos que pueden utilizarse para facilitar y mejorar la comunicación entre los actores en el proceso de diseño y construcción.

El desarrollo de este proyecto de investigación permitirá ampliar los conocimientos existentes referentes al tema, complementando las teorías y herramientas ya propuestas con la finalidad de generalizarlas en el uso del software de diseño de edificios. De esta manera se daría respuesta a la solicitud de los arquitectos referente a "la necesidad de "ver" y personalizar los componentes solares activos directamente en su edificio modelo" (Horvat & Dubois, 2012), igualmente se hace

5

un aporte a la promoción de un menor consumo de energías fósiles, y un mejoramiento del confort residencial, incorporando sistemas renovables y análisis de desempeño en el diseño de viviendas.

1.4 Hipótesis

Establecer una descripción paramétrica de los sistemas de energía solar e integrarlos de manera generalizada a un software de diseño de edificios BIM permite su incorporación en la etapa inicial de los proyectos arquitectónicos, respondiendo a los requerimientos tecnológicos y aspectos sistemáticos particulares de los componentes solares más utilizados en la ciudad de Concepción.

1.5 Objetivo General

Desarrollar una metodología para parametrizar sistemas de energía solar integrados a un software de diseño BIM, basado en las características tecnológicas particulares de los sistemas solares térmicos más utilizados en viviendas unifamiliares de la ciudad de Concepción; con el fin de lograr una integración arquitectónica de estos sistemas en la etapa conceptual de un proyecto de vivienda unifamiliar tipo.

1.6 Objetivos Específicos

 Identificar los sistemas solares térmicos más utilizados en las viviendas unifamiliares de la ciudad de Concepción, con el fin de conocer las propiedades y características físicas de sus componentes.

II. Caracterizar las viviendas unifamiliares de la ciudad de Concepción, para identificar las condiciones formales más representativas de los emprendimientos inmobiliarios de la zona.

III. Definir las características de familias BIM, desglosando las relaciones paramétricas y alcance dentro del software de diseño de edificios.

IV. Vincular las características y propiedades específicas de cada componente del sistema solar térmico al software de diseño BIM, que permita parametrizar dichas propiedades con los requerimientos específicos del diseño de una vivienda unifamiliar tipo. V. Validar el comportamiento del Sistema Solar Térmico en el diseño de una vivienda unifamiliar tipo a través del software de diseño BIM, mediante un análisis paramétrico que explore opciones de integración en función de diferentes posibilidades de orientación de la cubierta.

# 1.7 Metodología

Se realizará una investigación de tipo experimental, en la cual se definen cinco objetivos específicos que se desarrollaran de manera sucesiva para obtener la información necesaria para aclarar el objetivo general propuesto. En primera instancia se realizará un trabajo de identificación y caracterización de los sistemas solares térmicos más utilizados en la ciudad de Concepción y de la tipología de vivienda unifamiliar más representativa de la zona para seleccionar los casos de estudio, posteriormente se integrarán los sistemas solares térmicos en el diseño paramétrico de la vivienda unifamiliar tipo mediante la creación de familias BIM de los componentes del sistema.

Por cada objetivo específico se tomarán en cuenta diversos factores relacionados a: variables, actividades, método e instrumento; de esta manera se obtendrá el siguiente procedimiento metodológico:

Objetivo Específico I	Identificar los sistemas solares térmicos más utilizados en las viviendas unifamiliares de la ciudad de Concepción, con el fin de conocer las propiedades y características físicas de sus componentes.
Variables	Ubicación, aplicaciones, integración a la arquitectura, costos, proveedores, características físicas y tecnológicas, requerimientos técnicos, métodos de instalación y descripción de aspectos sistemáticos.
Actividades	<ul> <li>Buscar los sistemas solares térmicos más utilizados en viviendas unifamiliares en la ciudad de Concepción y explorar sus aplicaciones.</li> <li>Investigar las características y propiedades particulares de cada componente que conforma los sistemas solares térmicos encontrados.</li> <li>Examinar las ventajas y desventajas que presenta cada sistema utilizado con sus componentes, y definir si hace falta información necesaria para generar los modelos paramétricos de los componentes analizados.</li> </ul>
Métodos	<ul> <li>Visitas de campo a viviendas unifamiliares que utilizan sistemas de energía solar.</li> <li>Revisión de páginas Web, referencias bibliográficas, consultas con expertos, proveedores de equipos.</li> <li>Construir tablas comparativas con las características de los elementos estudiados.</li> </ul>

Instrumentos	Páginas web, fichas técnicas, manuales de instalación de sistemas solares, catálogos de productos de energía solar y creación de tablas de datos.				
Aporte a la Investigación	Seleccionar los sistemas solares térmicos más utilizados y definir los componentes a analizar en la investigación.				

Objetivo Específico II	Caracterizar las viviendas unifamiliares de la ciudad de Concepción, para identificar las condiciones formales más representativas de los emprendimientos inmobiliarios de la zona.
Variables	Ubicación, tipología, morfología, características de cubierta, potencial solar.
Actividades	<ul> <li>Buscar datos estadísticos referente a la tipología de viviendas unifamiliares a nivel nacional y regional.</li> <li>Revisar el inventario de conjuntos inmobiliarios de la ciudad de Concepción</li> <li>Seleccionar un modelo tipo de vivienda unifamiliar que represente las características arquitectónicas más comunes en los conjuntos inmobiliarios de la ciudad de Concepción</li> <li>Modelado 3D de la vivienda unifamiliar tipo, con la morfología encontrada en la búsqueda de información catastral.</li> </ul>
Métodos	<ul> <li>Revisar el Sistema de Catastro Municipal Electrónico (Dirección de Obras Municipales de Concepción).</li> <li>Revisión de páginas Web, referencias bibliográficas, consultas con expertos.</li> <li>Empleo de recursos informáticos (software BIM) para el modelado 3D de vivienda unifamiliar tipo.</li> </ul>
Instrumentos	Información catastral, planos, fotografías, Software de diseño de edificios Revit®.
Aporte a la Investigación	Seleccionar el modelo de vivienda unifamiliar tipo a utilizar en la investigación para incorporar el sistema solar térmico.

Objetivo Específico III	Definir las características de familias BIM, desglosado las relaciones paramétricas y alcance dentro del software de diseño de edificios.
Variables	Tipología de familias, aplicaciones, parámetros, relación con otros componentes.
Actividades	<ul> <li>Investigar sobre la clasificación de familias BIM y sus aplicaciones en el software de diseño de edificios</li> <li>Buscar la configuración de parámetros y utilización de fórmulas para la creación de familias BIM.</li> <li>Averiguar la relación entre los parámetros energéticos de una familia BIM y el análisis energético del edificio.</li> </ul>

Métodos	<ul> <li>Revisión de páginas Web, referencias bibliográficas, consultas con expertos.</li> <li>Explorar la configuración de familias existentes en el software de diseño BIM.</li> </ul>
Instrumentos	Software de diseño de edificios Revit®, referencias bibliográficas, páginas web.
Aporte a la Investigación	Seleccionar los tipos de familia a utilizar para integrar los sistemas solares térmicos en el software de diseño BIM.

Objetivo Específico IV	Vincular las características y propiedades específicas de cada componente del sistema solar térmico al software de diseño BIM, que permita parametrizar dichas propiedades con los requerimientos específicos del diseño de una vivienda unifamiliar tipo.
Variables	Adaptabilidad, parámetros físicos y tecnológicos, características de la vivienda, cálculos de demanda de ACS.
Actividades	<ul> <li>Clasificar la información de cada componente a desarrollar.</li> <li>Modelar en 3D los componentes seleccionados del sistema de energía solar estudiado, incorporando los parámetros ya identificados.</li> <li>Sistematizar configuraciones de los componentes con el software de diseño BIM.</li> </ul>
Métodos	<ul> <li>Análisis de los requerimientos tecnológicos de cada componente del sistema solar térmico estudiado.</li> <li>Empleo de recursos informáticos (software) para la incorporación de nuevos componentes paramétricos al programa.</li> <li>Realización de programación algorítmica que permita dimensionar e insertar los componentes del SST en la vivienda tipo.</li> </ul>
Instrumentos	Software de diseño de edificios Revit®, Dynamo, Planilla de cálculo para dimensionamiento del SST, referencias bibliográficas, páginas web, consulta con expertos en el área.
Aporte a la Investigación	Generar familias BIM de los componentes del Sistema Solar Térmico e insertarlos en el modelo 3D de la vivienda mediante una programación algorítmica que vincula las características de la cubierta con el dimensionamiento del SST para representarlo en un Sistema de Tuberías MEP.

Objetivo Específico V	Validar el comportamiento del Sistema Solar Térmico en el diseño de una vivienda unifamiliar tipo a través del software de diseño BIM, mediante un análisis paramétrico que explore opciones de integración en función de diferentes posibilidades de orientación de la cubierta.
Variables	Características climáticas, características arquitectónicas de la vivienda, demanda y consumo de ACS de la vivienda, dimensionamiento de los

	componentes del SST, aspectos formales de integración en la arquitectura.
Actividades	<ul> <li>Evaluar los requerimientos de capitación solar de la vivienda unifamiliar mediante un software de simulación energética.</li> <li>Seleccionar e incorporar en el diseño arquitectónico los componentes paramétricos del SST propuesto de acuerdo a los requerimientos ya planteados.</li> <li>Analizar el dimensionamiento del SST en función de la variación de parámetros asociados a la orientación de la vivienda.</li> <li>Mostrar el aspecto formal de la vivienda con la incorporación del sistema solar térmico, mediante la visualización de imágenes renders.</li> <li>Demostrar el empleo de las familias BIM del sistema solar térmico para la generación de documentación necesaria para hacer el presupuesto de instalación del sistema</li> </ul>
Métodos	<ul> <li>Realizar análisis paramétrico que permita visualizar los requerimientos de captación solar de la vivienda en diferentes orientaciones de la cubierta.</li> <li>Realizar una programación algorítmica que permita vincular las características de la vivienda con el dimensionamiento del SST.</li> </ul>
Instrumentos	Software de diseño de edificios Revit®, Dynamo, Ladybug, referencias bibliográficas, páginas web, consulta con expertos en el área.
Aporte a la Investigación	Determinar la relación paramétrica entre las características arquitectónicas de la vivienda y el dimensionamiento de los componentes del SST, identificando las relaciones entre si y el impacto que puede tener en el diseño. Generar datos asociados a: Fracción solar del SST, integración arquitectónica y cómputos para elaborar el presupuesto de instalación.

Capítulo 2: Marco Teórico

10

Capítulo 2. Marco teórico

Para contextualizar la investigación en el ámbito global de la energía solar es necesario definir los

principios de este tipo de energía y conocer su vinculación con la arquitectura, por tal motivo en

este capítulo se expone el estado del arte referente a dicho tema. Se hace un recorrido por temas

asociados a energía solar y sistemas solares térmicos, logrando especificar sus componentes y

funcionamiento además de las posibilidades de su integración arquitectónica en una edificación

mediante las herramientas digitales presentes en la actualidad.

2.1 Energía Solar Térmica y Arquitectura

El sol es la fuente principal de vida en la Tierra, puede satisfacer todas nuestras necesidades, si

aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el

planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que

todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia. La cantidad de energía que el sol vierte

diariamente sobre la tierra es diez mil veces mayor que la que se consume al día en todo el

planeta. (Madridsolar, 2006)

Ante esta premisa, es necesario destacar que según el catastro de consumos energéticos y

captación solar de las edificaciones residenciales realizado para la comuna de Concepción se

evidencia en primer lugar una estrategia de análisis urbano para promover la utilización de

energías renovables en las ciudades. Asimismo, la cartografía realizada permite determinar zonas

urbanas con gastos relevantes, pero también posibilidades sustanciales de aprovechamiento solar.

(Garc, Rada, Trebilcock, & Wegertseder, 2013)

De igual manera, Dubois & Horvat (2010) señalan que es evidente que la superficie de los edificios

ofrece una gran oportunidad para la producción de grandes cantidades de energía. En muchos

lugares, la incidencia de energía solar en el techo de una casa típica excede a su consumo de

energía; por lo tanto, existe la posibilidad de que un edificio pueda lograr, en promedio, cero

consumos de energía si se optimiza la utilización de la energía solar para producir electricidad y

calor.

Capítulo 2: Marco Teórico

La producción de calor se logra mediante el uso de energía solar térmica, la cual consiste en la utilización de la energía procedente del Sol para transferirla a un medio portador de calor, generalmente agua o aire (Madridsolar, 2006). La mayor ventaja de la energía solar es que en comparación con otras formas de energía es limpia y puede ser suministrada sin ninguna contaminación ambiental. (Kalogirou, 2004)

Una de las formas de aprovechamiento de esta fuente de energía y que ha sido empleada tradicionalmente, la constituye los sistemas solares mediante la producción de agua caliente sanitaria (ACS) con colectores solares planos, catalogándola quizás en la aplicación moderna de energía renovable más inmediata y conocida (Lecuona et al., 2005).

#### 2.2 Sistemas Solares Térmicos

Un sistema solar térmico transforma la energía radiante emitida por el sol en energía térmica y la acumula, en forma de agua caliente, para pasar al sistema de apoyo antes de su posterior consumo. El sistema de apoyo, por su parte, es el encargado de cubrir las diferencias térmicas que el aporte solar no alcance a proveer al sistema. (Fallis, 2013b)

# 2.2.1 Instalación Solar térmica (IST)

En el esquema básico de funcionamiento de una instalación solar térmica para preparación de ACS, pueden diferenciarse los siguientes sistemas:

- **Sistema de captación**: transforma la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura de un fluido de trabajo.
- Sistema de acumulación: almacena el agua caliente hasta que se precise su uso.
- **Sistema de intercambio:** realiza la transferencia de energía térmica entre el fluido de trabajo, que circula por el circuito primario, y el del circuito secundario (agua de consumo).
- Sistema de apoyo (auxiliar o de respaldo): complementa el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir el consumo previsto. En algunos aspectos, este sistema no se considera incluido en el SST.
- Red hidráulica: está constituido por todos los circuitos hidráulicos que son los conjuntos de cañerías, con su aislante, accesorios, bombas, válvulas, etc. que interconectan los distintos

sistemas y mediante la circulación de fluidos producen la transferencia de calor desde el sistema de captación hasta el consumo.

 Sistema eléctrico y de control: aplica las estrategias de funcionamiento y de protección organizando el arranque y parada de bombas, las posibles actuaciones de las válvulas de tres vías (si las hubiera) y cualquier otra actuación electromecánica que se prevea (Figura 1).

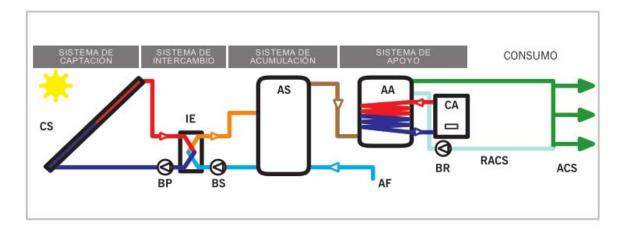


Figura 1: Denominación de los sistemas de una instalación solar (Fallis, 2013b)

Asimismo, se pueden distinguir tres circuitos hidráulicos distintos:

- **Circuito primario:** permite la circulación del fluido a través de los colectores que recogen la energía térmica y la transporta hasta el intercambiador.
- **Circuito secundario:** recoge en el intercambiador la energía captada por el circuito primario y la transfiere al depósito de acumulación.
- Circuito de consumo: transporta agua potable de consumo y comprende desde la acometida de agua fría, pasando por los sistemas de acumulación y de apoyo, hasta la red de distribución que alimenta a los puntos de consumo (Figura 2).

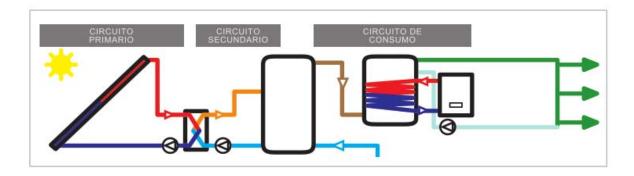


Figura 2: Denominación de los circuitos hidráulicos de una instalación solar (Fallis, 2013b)

### 2.2.2 Configuración de Instalación Solar térmica (IST)

Entre la gran variedad de esquemas de funcionamiento que se podrían utilizar, interesa seleccionar esquemas que hayan sido experimentados y de los que se conozca, además de su comportamiento y prestaciones, toda la información relativa a las condiciones de funcionamiento y sus efectos inducidos (Fallis, 2013b).

En este sentido, las IST pueden clasificarse, entre otros criterios, atendiendo al principio de circulación, al sistema de intercambio y por la forma de acoplamiento. El primer caso se refiere al mecanismo mediante el cual se produce el movimiento del fluido el circuito primario, existiendo dos tipos: la circulación forzada y la circulación natural o más comúnmente conocida por termosifón (Figura 3).

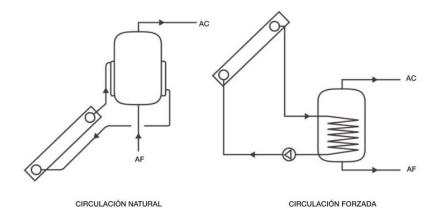


Figura 3: Clasificación de los SST por la forma de circulación. (Fallis, 2013a)

Por el sistema de intercambio se refiere a la forma de transferir la energía del circuito primario de colectores al circuito de consumo. Esta transferencia se puede realizar de forma directa, siendo el fluido de trabajo de colectores la misma agua de consumo, dando lugar a los llamados sistemas directos o, manteniendo el fluido de trabajo de colectores en un circuito independiente, sin posibilidad de ser distribuido al consumo, dando lugar a los sistemas indirectos (Figura 4).

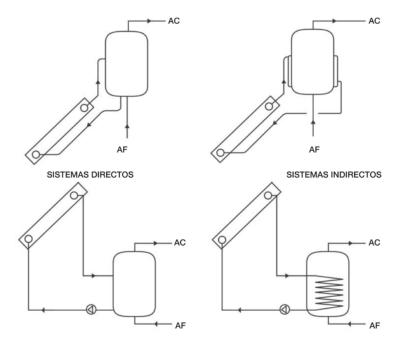


Figura 4: Clasificación de los SST por el sistema de intercambio. (Fallis, 2013a)

El ultimo criterio corresponde a la forma de acoplamiento entre colector y acumulador, pudiéndose distinguir tres opciones (Figura 5):

- Compacto: Cuando todos los componentes del sistema se encuentran montados en una sola unidad, aunque físicamente puedan estar diferenciados.
- Integrado: Cuando dentro del mismo sistema se realizan las funciones de captación y acumulación de energía, es decir, colector y depósito constituyen un único componente y no es posible diferenciarlos físicamente.
- Partido: cuando existe una distancia física relevante entre el sistema de captación y el de acumulación. (Fallis, 2013a)

En esta investigación se hará énfasis en la configuración de sistemas solares térmicos que permitan obtener una integración arquitectónica del sistema en una vivienda. De acuerdo a la clasificación presentada, se estudiará un Sistema Solar Térmico de circulación forzada (indirecto) con acoplamiento de colector y acumulador de forma partida.

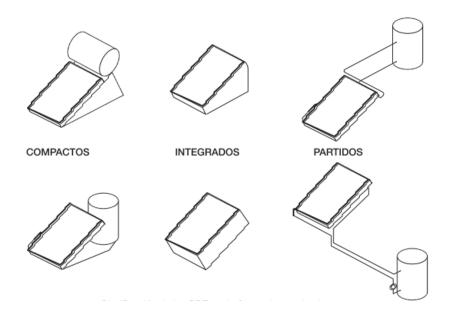


Figura 5: Clasificación de los SST por la forma de acoplamiento. (Fallis, 2013a)

Se tomarán en cuenta las Instalaciones con intercambiador incorporado al acumulador (interacumuladores). En este tipo de instalación el fluido calentado por el sistema de captación entra en el intercambiador interno, que está sumergido en el agua del acumulador, pierde calor y sale para volver a ser calentado por los colectores. El agua del acumulador en contacto con el intercambiador interno se calienta, disminuye su densidad y asciende en el interior siendo sustituido por agua más fría que también se calienta; se produce en el acumulador un movimiento del agua caliente hacia arriba, y fría hacia abajo, que establece la estratificación de temperaturas (Figura 6).

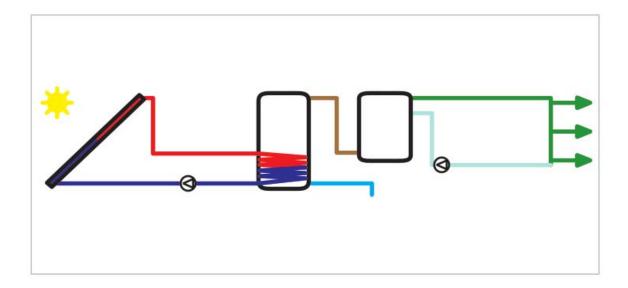


Figura 6: Instalación solar con intercambiador interno (Fallis, 2013b)

# 2.2.3 Componentes de un Sistema Solar Térmico (SST)

Los SST incluyen una serie de elementos necesarios para el correcto funcionamiento y control de la instalación. Todos los materiales del SST deberán soportar las máximas presiones de trabajo que puedan alcanzarse en el SST, así como, después de alcanzar la presión máxima, el SST debe volver a su forma normal de funcionamiento, sin que el usuario tenga que hacer ninguna actuación (MINVU, 2013).

#### 2.2.3.1 Colector Solar

El colector solar térmico es el dispositivo que transforma la radiación solar en energía térmica (calor); ésta se transfiere a un fluido caloportador aumentando su temperatura. Es el principal componente del sistema de captación y el elemento más representativo de las instalaciones solares térmicas. Además de producir el calor de manera eficiente, el colector debe estar diseñado para soportar la continua exposición a condiciones exteriores tales como lluvia, nieve, granizo, polvo, etc. y para resistir las altas y bajas temperaturas a las que va a estar sometido.

Existen diferentes tipos de colectores y con distintas tecnologías de fabricación. En términos generales, se pueden clasificar en dos tipos principales: Colectores solares planos y Colectores solares de tubos al vacío.

• Colector solar plano: Es un colector diseñado para aplicaciones de aprovechamiento térmico con temperaturas inferiores a 100°C. En estos colectores, la radiación solar incidente sobre la cubierta transparente alcanza al absorbedor que transfiere la energía al fluido de trabajo (MINVU, 2013). El captador plano está formado por una placa metálica que se calienta con su exposición al Sol; esta placa es de color negro de forma que no refleja los rayos del Sol, normalmente la placa está colocada en una caja con cubierta de vidrio (Figura 7).

Por el interior de la caja se hace circular agua a través de un serpentín o un circuito de tubos de forma que el calor se trasmite al fluido. El efecto que se produce es similar al de un invernadero, la luz del Sol atraviesa la placa de vidrio y calienta la placa ennegrecida. El vidrio es una "trampa solar", pues deja pasar la radiación del Sol (onda corta) pero no deja salir la radiación térmica que emite la placa ennegrecida (onda larga) y como consecuencia, esta placa se calienta y trasmite el calor al líquido que circula por los tubos. (Madridsolar, 2006)



Figura 7: Colector solar plano.(www.ener-solar.cl)

 Colector solar Tubos al vacío: Estos colectores están conformados por tubos de vidrio en cuyo interior se produce el vacío. El vacío funciona como un aislante térmico disminuyendo significativamente las pérdidas de calor por conducción y convección. En los colectores del tipo "Heat Pipe", el tubo de vacío lleva en su interior una placa absorbedora de cobre-aluminio con un tubo hueco cerrado por los dos extremos, sometido también al vacío y con una pequeña cantidad de una mezcla de alcohol dentro del mismo. Al calentarse, esta mezcla se evapora ascendiendo hasta el extremo a menor temperatura, donde se enfría al ceder su calor latente al agua del circuito primario y, por tanto, se condensa y desciende de nuevo por gravedad (MINVU, 2013).

Este tipo de colector con su buen aislamiento puede funcionar en temperaturas más altas con muy pocas pérdidas de calor. Además, este tipo de colector solar puede entregar calor incluso cuando los niveles de radiación son bajos, lo cual ocurre en invierno y durante los períodos nublados (Figura 8). Los tubos individuales pueden girarse en un ángulo de inclinación del amortiguador óptimo, permitiendo gran flexibilidad en su colocación (Gajbert, 2008)



Figura 8: Colectores solares de tubos al vacío.(www.ener-solar.cl)

### 2.2.3.2 Acumulador

Los acumuladores solares pueden disponer de un intercambiador incorporado y realizar la doble función de intercambio y acumulación, normalmente se les denomina interacumuladores y disponen de un intercambiador de calor incorporado, éste está diseñado para transferir el calor del fluido del circuito primario al agua contenida en el acumulador (Figura 9). Hay distintos tipos de intercambiadores de calor internos, como los de doble envolvente o los de haz de tubos, pero los más usados son los de serpentín. (Fallis, 2013b)

Capítulo 2: Marco Teórico

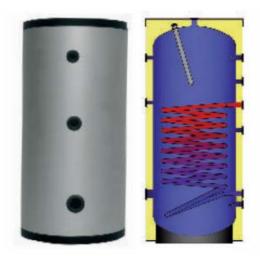


Figura 9: Acumulador con intercambiador incorporado. (www.elbi.it)

La ubicación del tanque es una decisión de diseño importante. Por un lado, es razonable localizar dentro de la envolvente aislante del edificio. Las pérdidas de calor de hasta un depósito muy bien aislado por lo tanto no se pierden en el aire ambiente, pero permanecen dentro del edificio. Tuberías cortas mantienen la circulación de las pérdidas de calor pequeño. Una buena localización para el tanque podría ser en o al lado del cuarto de baño. La superficie del tanque caliente mejora la comodidad en el baño (Gajbert, 2008).

#### 2.2.3.3 Red Hidráulica

Se incluyen en la red hidráulica al resto de elementos necesarios para interconectar todos los componentes y constituir los circuitos primarios, secundario y de consumo. Entre estos componentes se encuentras:

- Intercambiador de calor: es el componente que separa circuitos con distintos fluidos y permite
  realizar la transferencia de calor entre ellos. Permite utilizar mezclas de agua con
  anticongelante como fluido de trabajo en el circuito primario evitando de esta manera los
  problemas de heladas.
- Bomba de circulación: Las bombas de circulación, accionadas por un motor eléctrico, se encargan de mover el fluido en el circuito. Son del tipo en línea, de rotor seco o húmedo, y deberán ajustarse a las condiciones de operación para su mejor y eficiente funcionamiento.
- Cañerías: Estas interconectan hidráulicamente todos los componentes y canalizan el movimiento de los fluidos. En los circuitos del sistema se debe utilizar cañerías de cobre, de

acero inoxidable o de acero negro. Las cañerías de materiales plásticos no deberían utilizarse en circuitos primarios a no ser que existan plenas garantías de que van a soportar las condiciones extremas de presión y temperatura del circuito.

- Estanque de expansión: Es el dispositivo que absorbe las variaciones de volumen y presión en un circuito cerrado causadas por las variaciones de temperatura del fluido circulante. Corresponde a un depósito dividido en dos partes mediante una membrana elástica. A un lado de la membrana se encuentra el fluido de trabajo correspondiente en estado líquido y en el otro aire o un gas inerte como el nitrógeno.
- Purgador de aire automático: Es un dispositivo que permite la salida del aire de los circuitos.
   Este puede ser manual o automático y debe resistir la temperatura máxima del fluido, por lo que el flotador no debe ser de plástico sino de acero inoxidable.
- Equipos de medida: La instalación solar térmica debería disponer de los elementos de medida necesarios para visualizar directamente los principales parámetros funcionales: temperaturas y presiones. Adicionalmente las medidas de caudal y energía proporcionarán la información necesaria para evaluar las prestaciones de la misma. Entre estos equipos se encuentra: termómetros, manómetros, caudalímetros y contadores de energía.

#### 2.2.3.4 Fluido de trabajo

En el circuito secundario y en el de consumo siempre se utiliza el agua de consumo como fluido de trabajo, sin embargo, en el circuito primario se pueden utilizar otros fluidos para el transporte de energía por la red hidráulica del SST.

El agua de la red, de uso sanitario o de consumo siempre va a ser uno de los fluidos de trabajo y en Chile se caracteriza por ser un agua de moderada a dura, con grandes diferencias dependiendo de la zona geográfica o de quién sea el suministrador. De igual manera, en el circuito primario se puede utilizar una mezcla de agua con anticongelante que permite proteger de heladas al circuito. Los productos comerciales, a veces, incorporan aditivos para proteger interiormente el circuito frente a la corrosión, sobre todo cuando se utilizan distintos materiales.

Capítulo 2: Marco Teórico

#### 2.3 Integración de Sistemas Solares Térmicos en Arquitectura.

En los últimos años la energía solar ha sido reconocida en muchos países como la energía renovable más prometedora para aplicaciones en la construcción, por lo que se han instalado más captadores solares térmicos en la envolvente de los edificios. Sin embargo, en ocasiones repetidas se ven como elementos técnicos añadidos a la arquitectura del edificio; por lo que se podría decir que no se evidencia una calidad en la integración arquitectónica de los sistemas solares térmicos. (Munari Probst & Roecker, 2013)

La calidad de la integración arquitectónica se define como el resultado de una integración coherente y controlada de los colectores solares simultáneamente desde todos los puntos de vista, funcionales, constructivos y formales (estética). Es decir, cuando el sistema solar está integrado en la envolvente del edificio (como la cubierta, revestimiento de fachadas, protección solar, etc.), debe llevarlo correctamente sobre las funciones y limitaciones asociadas a los elementos de la envolvente que está reemplazando (calidad constructiva funcional), preservando la calidad del diseño global del edificio. Si no se conserva la calidad del diseño (es decir, el sistema es solo integrado de manera constructiva y funcionalmente en la piel del edificio sin un control formal), sólo podemos llamarlo como un sistema de construcción integrado.

El uso multifuncional de elementos solares tomando una o más funciones de la envolvente puede requerir un esfuerzo extra a los diseñadores del edificio, requiriendo algunas modificaciones en el diseño original del colector, de manera que puede restringir su uso en algunas partes del edificio. Como se ve, integrar la nueva función "colector solar" de la envolvente del edificio requiere una comprensión de dónde, cómo, y qué colectores pueden hacerse compatibles con los otros elementos de la envolvente, materiales y funciones. La integración de colectores solares desde un enfoque formal o estético, está relacionado directamente a los siguientes aspectos:

- La posición y dimensión de los colectores deben ser coherente con la composición arquitectónica de todo el edificio (no sólo en la fachada relacionada)
- Los materiales, texturas y color de la superficie del colector deben ser compatibles con la envolvente del edificio.
- El tamaño del módulo y la forma del colector tienen que ser concurrente con la composición del edificio y con las diversas dimensiones de los otros elementos de las fachadas. (Figura 10)



Figura 10: Integración de sistemas solares térmicos en arquitectura. (Munari, M; Roecker, C. 2012)

Los aspectos antes señalados, hace evidenciar que dominar todas las características de un sistema solar térmico integrado en ambas perspectivas de la producción energética y el diseño del edificio no es tarea fácil para el arquitecto. Las características formales del sistema son fuertemente dependientes de la tecnología solar específica, que impone a los componentes de los módulos solares, con sus formas específicas y materiales (Munari Probst & Roecker, 2013). Además, expertos en este campo han observado que una mala calidad arquitectónica de la integración en la envolvente del edificio puede obstaculizar la aceptación y propagación de tecnologías solares. (Maria Wall et al., 2012)

En este sentido, la integración de sistemas de energía solar y tecnologías en los edificios nuevos y existentes será grandemente facilitada en el futuro si los arquitectos están informados, conscientes y comprometidos en el desarrollo de la energía solar en edificios. De igual manera deben ser conscientes de las posibilidades, limitaciones y características de los sistemas de energía solar. (Dubois & Horvat, 2010)

#### 2.4 Herramientas para integrar Sistemas Solares Térmicos en Arquitectura

Los métodos y herramientas utilizadas en la EDP (Early Design Phase) deben apoyar las decisiones y permitir el desarrollo del proyecto en el diseño y la construcción, así como la evaluación de la integración de diversas tecnologías solares en la arquitectura. En informática, el arquitecto puede

Capítulo 2: Marco Teórico

explorar varias geometrías de construcción, orientaciones y configuraciones de la fachada y contar con la recomendación de parámetros de entrada derivados de una ayuda contextual basada en librerías en cuanto a materiales, construcción, objetivos de rendimiento, etc. La salida necesaria en esta fase sólo puede construir cargas sin consideraciones detalladas de sistemas mecánicos y el consumo real de energía (Dubois & Horvat, 2010).

En este escenario, las aplicaciones BIM son creadas para apoyar el proceso de diseño del conjunto, ofreciendo el mayor potencial para optimizar la utilización de sistemas pasivos y activos, así como su integración arquitectónica (Horvat & Dubois, 2012).

De acuerdo a la revisión del panorama de software disponible para arquitectos realizado por Dubois & Horvat (2010), se pudo identificar que entre las herramientas CAAD revisadas, Allplan y PV de DDS-CAD se desarrollan explícitamente para el dimensionamiento de sistemas PV (fotovoltaico) o ST (solar térmico). También, puesto que EnergyPlus permite la simulación de componentes solares activos para simulación de sistemas de agua caliente de PV y ST (p. ej., colectores solares) todos los programas CAAD que están vinculados con EnergyPlus a través de un plugin o exportación funciones (ArchiCAD, Google SketchUp, MicroStation, Revit, Vectorworks) permiten cálculos de sistemas solares activos.

Finalmente, el informe indica que ninguna de las herramientas de visualización reseñadas admite el diseño explícito de sistemas de PV o ST. Esta es sin duda un área que necesita mucho desarrollo en el futuro. Sin embargo, una empresa llamada ISAAC (Institute for Applied Sustainability to the Built Environment) ha desarrollado recientemente un objeto CAD 3D para acelerar el procedimiento de representación al integrar PV en objetos arquitectónicos con el fin de facilitar y estimular el uso de sistemas de BiPV (edificio fotovoltaico integrado) por arquitectos y diseñadores y mejorar la calidad arquitectónica de los sistemas de BiPV. El objeto de CAD, que es todavía un prototipo, se puede utilizar con ArchiCAD y AutoCAD, dos herramientas de modelado utilizadas compatibles con la mayoría de las herramientas de visualización mencionadas en esta revisión (Dubois & Horvat, 2010).

A pesar de que Revit no es compatible con el prototipo creado por ISAAC, la Figura 11 expresa que es uno de los programas de diseño BIM más utilizados por los arquitectos como herramienta para

el diseño solar en una fase temprana de diseño (Horvat, M.; Wall, 2012). Por tal motivo se utilizará como software de diseño para integrar un sistema solar térmico a un modelo 3D generado a través del diseño paramétrico BIM.

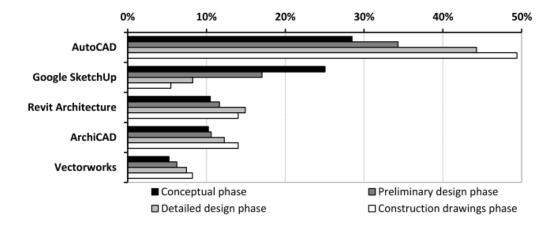


Figura 11: Distribución de respuestas acerca de los software CAAD más usados en la fase temprana de diseño. Resultado de cinco herramientas digitales.(Horvat, M.; Wall, 2012)

### 2.5 Diseño paramétrico BIM

La base del diseño paramétrico es la generación de geometría a partir de la definición de una familia de parámetros iniciales y la programación de las relaciones formales que guardan entre ellos. Consiste en la utilización de variables y algoritmos para generar un árbol de relaciones matemáticas y geométricas que permitan no sólo llegar a un diseño, sino generar todo el rango de posibles soluciones que la variabilidad de los parámetros iniciales nos permita. (Morales, 2012)

BIM (Building Information Modeling) podría redefinir la forma de generar ideas de diseño, por tender un puente sobre creatividad formal con diseño e innovación tecnológica. Esto se logra a través de una estrecha integración de herramientas generativas con capacidades paramétricas, a través de la introducción de digital materialidad con el comportamiento físico y objetos digitales enriquecidos en base de datos inteligentes.

Capítulo 2: Marco Teórico

La definición paramétrica de componentes arquitectónicos se convierte en elementos modificadores que facilitan la exploración de signos y prueba hipótesis de proyecto contra los criterios de validación establecidos; BIM en conjunto con el diseño paramétrico permite el proceso de diseño alternativo que es paralelo a los procesos tradicionales de creación y elaboración. En este sentido, los diseñadores pueden rastrear cambios en el diseño y ver cómo inciden otros componentes de la familia, combinar o anidar componentes paramétricos no sólo permite una facilidad de modelado y una mayor flexibilidad, sino también permite entender cómo los cambios afectan un diseño general. (Zarzycki, n.d.)

Esta propiedad de objetos paramétricos se convierte en una característica fundamental de los modelos de construcción BIM, no sólo en la comprensión de conjunto de los modelos, sino también en la aplicación como herramientas exploratorias y generativas para el diseño arquitectónico. Esta doble capacidad de los modelos BIM, permite que los diseñadores introduzcan consideraciones de la construcción en las primeras etapas de diseño y más tarde, debido a la definición paramétrica de los componentes, desarrollen variaciones y generen alternativas al final del proceso de diseño, combinando el acto de conceptualizar con el acto de hacer. (Zarzycki, n.d.)

Las definiciones y planteamiento teórico presentado en este capítulo permiten sustentar el empleo del diseño paramétrico BIM como medio para realizar una descripción de los componentes solares térmicos e integrarlos en la etapa inicial del diseño arquitectónico, con la finalidad de lograr establecer una alternativa de solución al problema planteado en esta investigación.

Capítulo 3: Selección de casos de estudio

# Capítulo 3. Selección de casos de estudio

Este capítulo identifica los Sistemas Solares Térmicos (SST) más utilizados en la ciudad de Concepción y hace una descripción de las características particulares de cada uno, con esta información y mediante el uso de algunos parámetros de selección se determina el tipo de sistema y los componentes a emplear en el diseño del SST. Igualmente se hace una caracterización de la vivienda tipo en la zona, basándose en estudios previos sobre la tipología arquitectónica de las viviendas unifamiliares en Concepción, se precisan los parámetros arquitectónicos comunes y se representan en el modelo tridimensional de los casos seleccionados.

# 3.1 Identificación de sistemas solares térmicos más utilizados en la ciudad de Concepción

Actualmente, a nivel local existen diversas empresas dedicadas a la promoción y venta de equipos relacionados a energía solar térmica; a través de un levantamiento de información realizado en la ciudad se evidencia que existe una diversa gama de equipos que tienen como función principal abastecer a las viviendas de Agua Caliente Sanitaria (ACS) mediante el aprovechamiento de la energía solar (Tabla 1). A continuación, se presentan los criterios de selección para determinar el tipo de SST que se adapta de mejor manera a los objetivos planteados al inicio de esta investigación:

#### 3.1.1 Integración Arquitectónica

Entre las consideraciones arquitectónicas planteadas en este trabajo, la integración es el criterio que tiene mayor importancia para seleccionar el tipo SST a emplear, se pretende que éste cumpla con los requisitos expresados en el punto 2.3 en cuanto a aspectos funcionales, constructivos y formales; de este modo se busca simplificar la instalación y, por lo tanto, reducir costes y complicaciones constructivas; además de no permitir un impacto visual negativo.

Ante estos requerimientos, el sistema forzado es el más idóneo para lograr esta integración en la vivienda, debido principalmente a que el acumulador se instala en su interior y no en la cubierta como es el caso del sistema termosifón; asimismo la configuración de los colectores les permite

adaptarse a las características formales de la cubierta (Figura 12). Igualmente, todo el proceso está controlado por un dispositivo electrónico o regulador encargado de automatizar y coordinar la circulación del agua del circuito primario (interior de los colectores) mediante el sistema de bombeo, garantizando el máximo rendimiento en el intercambio, así como la seguridad del sistema. (MINVU, 2013)

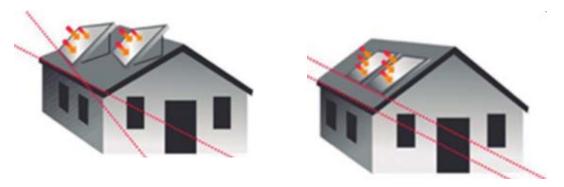


Figura 12. Integración arquitectónica. Se aconseja seguir líneas generales del edificio (figura de la derecha). (MINVU, 2013)

#### 3.1.2 Características de los equipos solares disponibles en el mercado

Este criterio de selección responde a lo expresado en el punto anterior, ya que, para lograr una integración arquitectónica del SST es necesario contar con equipos de características particulares que permitan cumplir con ese objetivo; por tal motivo, fue necesario incluir en el levantamiento de información datos sobre los proveedores de los equipos e instaladores de estos sistemas en la ciudad de Concepción. El resultado de esta búsqueda (Tabla 1) evidencia que el mercado está definido por la promoción y venta de dos tipos de sistemas: Termosifón y Sistema forzado, ambos compuestos por colectores planos y colectores de tubos al vacío (Heat Pipe).

Se optará por utilizar el sistema forzado como caso de estudio de acuerdo a las características de los proveedores locales, también es conveniente considerar los dos tipos de colectores solares encontrados, ya que ambos tienen demanda en la población y su uso depende de factores asociados al costo y preferencias del instalador lo cual no influye en el tema de la integración arquitectónica. Igualmente se incorporan al sistema los otros equipos que lo constituyen: acumulador, bomba de circulación, conexiones, entre otros.

Tabla 1: Características de los equipos solares utilizados en la ciudad de Concepción. (El Autor)

			SISTEMA SOLAR TÉR	MICO / OFERTA DE C	OLECTORES SOLARE	S TÉRMICOS EN CONCE	PCIÓN			
N°	Proveedor	Tipo de Sistema Solar	Tipo de Colector	Modelo	Marca	Dimensiones (mm)	Área (m2	Peso (kg) vacío	Rendimiento Optico	Costo \$
1	ENERSOFT	Termosifón/Presurizado	Colector Plano	PFP 150L	Sun Rain (R.P.C)	2000*1000*80	2			936540
				TZ58/1800-15E	Sun Rain		1,53	62		538560
2	ENERSOFT	Termosifón / Presurizado	Heat Bine	TZ58/1800-20E	Sun Rain		2,34	78	>=55%	720060
2	ENERSOFI	Termositon / Presurizado	Heat Pipe	TZ58/1800-24E	Sun Rain		2,74	87	>=33%	861300
				TZ58/1800-30E	Sun Rain		3,31	108		1007820
3	ENERSOFT	Siste ma Forzado	Heat Pipe	ZELIOS VDF 15	Chaffoteaux	15 tubos panel de 1380*1910*178 (D=70mm)	2,63	51		480000
3	ENERSOFI	Sistema Pol Zado	neat ripe	ZELIOS VDF 20	Chaffoteaux	20 tubos panel de 1840*1910*178 (D=70mm)	3,5	68		615230
				BST 200	ELBI	1260*500	200 lts			1032900
4	ENERSOFT	Sistema Forzado	Acumulador Vitrificado ACS	BST 300	ELBI	1400*550	300 lts			1226280
				BST 500	ELBI	1695*650	500 lts			1477740
5	ENERsolar	Sistema Forzado	Colector Plano	Wunder CLS 2108	Solimpeks	1988*1041*90	2,07	37,2	76,30%	227418
6	LIVERSOID			Wunder CLS 2510	Solimpeks	1988*1218*90	2,42	44	76,30%	261400
7	ENERsolar	Sistema Forzado	Acumulador	KBS 300		650*1570	300 lts	128		731920
8	LIVENSOIGI	Sistema i Gizado	Acumulador	KBS 500		750*1800	500 lt	182		904444
9		Termosifón	Acumulador (funciona con	Marvel TSC 150	Marvel	900*400	150 lts	67 vacio - 212 full		
10	ENERsolar		colectores CLS)	Marvel TSC 200	Marvel	900*480	200 lts	86 vacio - 277 full		
11			colectores etal	Marvel TSC 300	Marvel	1340*480	300 lts	107vacio - 367 full		
12	INGEFOT	Termosifón	Heat Pipe	AMPH-GR- 58/1800/20	Eagle	Colector 20 tub de 58*1800 c/u	216 lts			520000
13	INGEFOT	remositori	пеастре	AMPH-GR- 58/1800/30	Eagle	Colector 30 tub de 58*1800 c/u	325 lts			648186
14	A&N Ingenieria	Sistema Forzado	Colector Plano	K420LC	KBB Solar Collectors	1098*1058	2,01	29	74,80%	
15	According to the same of the s	Sistema i dizado	Heat Pipe (Buscar Especi.)							
_										
16	RIOVALLE	Sistema Forzado	Heat Pipe	ILHC-5818	Riovalle	1894*1490*135 (18 tubos de 1800*D=58)	2,67	56	72,50%	
17	MOVALL	5131611181 012800	neat Pipe	ILHC-5830	Riovalle	1894*2310*135 (30 tubos de 1800*D=58)	4,37	92,6	72,50%	

De manera específica, se trabajará con los siguientes modelos de colectores de tubos al vacío: Zelios VDF 15, Zelios VDF 20, ILHC – 5830; igualmente se tomarán como colectores planos los modelos: Wunder CLS 2108, Wunder 2510 y acumuladores marca: BST 200, BST 300, BST 500. Las especificaciones técnicas de estos equipos son extraídas de los catálogos de cada fabricante según la oferta de los proveedores y están expresadas en laTabla 2, con esta información se construirá una base de datos con la familia BIM de cada componente, las cuales son el primer paso para la integración del SST mediante el diseño paramétrico.

# 3.1.3 Usos y aplicaciones del Sistema Solar Térmico

Estos sistemas pueden incorporarse en edificaciones de diferente uso, a nivel comercial se pueden utilizar en colegios, hoteles, centros deportivos, entre otros; en los cuales se logra producir importantes ahorros en la generación de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y Temperado de piscinas. Su uso en edificaciones industriales radica principalmente en el pre calentamiento del agua requerida para diversos procesos de manufactura y sanitización, además de reducir la demanda de combustible en camarines, baños y casinos de la empresa.

Tabla 2: Especificaciones técnicas de los colectores solares. (El Autor)

ESPECIFICACIONES TÉCNIC	AS	COLEC	TORES TUBOS AL	COLECTORES PLANOS			
CARACTERÍSTICA	UNIDAD	ZELIOS VDF 15	ZELIOS VDF 20	ILHC - 5830	WUNDER CLS 2510	WUNDER CLS 2108	
Numero de tubos de vacío		15	20	30			
Peso	Kg	51	68	92,6	44	37,2	
Dimensiones	mm	1380*1910*178	1840*1910*178	1894*2310*135	1988*1218*90	1988*1041*90	
Presión de ejercicio	bar	6	6		10	10	
Contenido de líquido	I	4,3	5,7				
Absorción	%	95	95		97	97	
Emisividad	%	5	5		3	3	
Superficie bruta	m²	2,63	3,51	4,37	2,42	2,07	
Superficie de abertura	m²	1,58	2,12		2,24	1,92	
Superficie de absorción	m²	1,51	2,01	2,4	2,23	1,9	
h		0,816*	0,821*				
K, w/(m²k)		2,735*	2,824*	2,46	3,514	3,514	
$K_2$ w/( $m^2k^2$ )		0,0074*	0,0047*	0,0007	0,008	0,008	
Temperatura de estancamiento	°C	206	206	250	211	211	
Material del vidrio				Borosilicato 3,3	Vidrio templado	Vidrio templado	
Transmitancia del vidrio	%				91	91	
Grosor del vidrio	mm				4	4	
Aislante					Lana mineral	Lana mineral	
Conductividad térmica	w(mk)				0,037	0,037	
Rendimiento óptico	%			72,5	76,3	76,3	

A nivel residencial es apto para aplicaciones de ACS, aporte en calefacción y temperado de piscinas; siendo la primera opción la que tiene mayor demanda en los usuarios que contratan a las empresas instaladoras de estos equipos solares y es la que profundizaremos en esta investigación (Figura 13). Es atractiva en el mercado por ser una alternativa más barata en el tiempo y es de fácil manejo, además que es apropiada su instalación en aquellos sectores de la población que tradicionalmente no han incorporado aún sistemas de calentamiento de agua sanitaria en la vivienda, por el costo significativo de la reposición de combustible y los costos asociados al mantenimiento.





Figura 13: Aplicaciones de sistema solar forzado en viviendas unifamiliares. Fuente: <a href="www.enersoft.cl">www.enersoft.cl</a>)

Capítulo 3: Selección de casos de estudio

#### 3.1.4 Desempeño del Sistema Solar Térmico

Para tener un indicio sobre el desempeño real del sistema solar forzado, se toma como referencia la investigación desarrollada en el proyecto de investigación AKA-Conicyt ERNC-007: "Evaluación del potencial solar en áreas urbanas", el cual es desarrollado por la Universidad del Bío-Bío, la Universidad de Concepción y la Universidad de Aalto, Finlandia. El estudio denominado "Experimental validation of SDHW systems and parametric study on their performance based on dwelling characteristics" busca validar modelos de distintas tecnologías de sistemas solares térmicos residenciales y, en base a ellos, determinar su eficiencia anual en función de parámetros de la vivienda (Jerez, Cuevas, & Fissore, n.d.).

Uno de los colectores evaluados corresponde al modelo Wunder ALS-2510 la empresa Solimpeks, es cual es uno de seleccionados en la Tabla 1 de este trabajo. Los resultados numéricos concuerdan con los experimentales, el modelo de colector y de cañerías entrega resultados precisos sobre su eficiencia y el modelo de acumulador predice resultados que pueden ser utilizados para obtener valores estimativos de la energía entregada por el sistema, cuyo error es menor a mayor radiación incidente y flujo en el colector. Los resultados experimentales y teóricos de los ensayos realizados en el SST forzado para el conjunto colector-cañerías arrojan que el modelo sobreestima levemente la eficiencia de este conjunto; la diferencia entre lo predicho y lo experimental es menor a 2% en todos los casos. Al momento de validar el sistema completo, la diferencia entre el valor predicho de la eficiencia del conjunto colector-cañerías y el experimental alcanza un 1,7% para el SST forzado; mientras que la diferencia en la eficiencia total del sistema es solamente de un 1,2%. (Jerez et al., n.d.).

Finalmente se concluye que los modelos de colector y cañerías entregan resultados satisfactorios y se aprecia que estos modelos si pueden ser utilizados en la estimación de la eficiencia anual de un SST, ya que la precisión de sus resultados es mayor en días cuya radiación incidente es mayor; igualmente concluye que para el caso base de simulación anual, la eficacia del sistema de colector plano es del 45% (Jerez et al., n.d.). Estos datos sirven como soporte y validan la utilización de este tipo de sistema como solución a la instalación de ACS en edificaciones de uso residencial.

Capítulo 3: Selección de casos de estudio

### 3.2 Caracterización de las viviendas unifamiliares de la ciudad de Concepción.

En este apartado de la investigación se busca identificar las características arquitectónicas que definen el diseño tipo de las viviendas unifamiliares en la ciudad de Concepción, con la finalidad de modelar los aspectos formales que definirán el diseño del Sistema Solar Térmico a integrar en la vivienda seleccionada.

Se realiza una revisión de estudios asociados a la tipología arquitectónica de las viviendas unifamiliares, dentro de los cuales se tomará como referencia el registro de la autoridad local para la construcción de proyectos inmobiliarios aprobados durante los años 2006 y 2013 (Dirección de Obras Municipales de Concepción 2014), donde se identifican 22 complejos residenciales con un total de 906,783.4 m² de superficie construida (correspondiente a 90.6% de los permisos de vivienda aprobados). Para el análisis son prioridad aquellos con mayor dimensión y más unidades, se seleccionan los conjuntos de casas que ocupan 633.350.1 m², es decir, el 69.8% del crecimiento detectado; esta superficie corresponde a 2.139 casas en 9 conjuntos inmobiliarios. Esta amplia cobertura proporciona estadísticamente un 95% intervalo de confianza con respecto a las viviendas construidas durante el período, proporcionando así una representación precisa del desarrollo actual de la vivienda. (Zalamea & Alvarado, 2014)

Los nueve complejos inmobiliarios revisados contienen 33 modelos diferentes de vivienda unifamiliar, pareada o adosada. El número de viviendas por cada modelo varía de 1 a 339 unidades, presentan pocas variaciones entre sí y tienen una superficie construida entre 57 m² y 170 m² cada una, arrojando un promedio de 93,32 m². En el Gráfico 1 se hace un filtro de las cinco tipologías de viviendas que presentan mayor número de unidades de acuerdo a la muestra total (Zalamea & Alvarado, 2014).

Tomando como base los datos encontrados, y aplicando el criterio de repetición por construcción, se seleccionan las dos viviendas con mayor número de unidades edificadas en la ciudad de Concepción: Vivienda 103 m² ubicada en el sector Las Princesas y vivienda S-94 perteneciente al condominio Antilhue (Gráfico 1).

Capítulo 3: Selección de casos de estudio

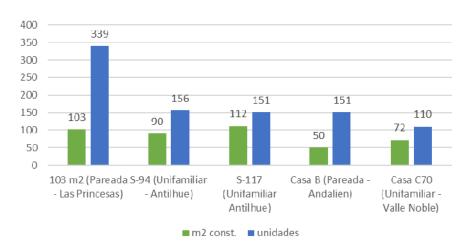


Gráfico 1: Número de viviendas por tipología. (El Autor)

Se aplica este criterio para identificar la tipología más representativa en la zona, porque la cantidad de unidades repetidas da indicios de los patrones más comunes y permite conocer información detallada de la configuración geométrica del modelo referente a: tipo de cubiertas, pendiente de cubiertas, m² de construcción, entre otros (Tabla 3); posteriormente el modelo tridimensional de la vivienda tipo permite visualizar diferentes escenarios de orientación al momento de integrar el SST, siendo esta una condición particular de cada caso de aplicación.

Tabla 3. Características geométricas de la cubierta de casos de estudio. (Zalamea & Alvarado, 2014)

Características	Unidad	Tipo A	Тіро В
Nombre		Vivienda S-94	Vivienda 103 m²
Ubicación		Condominio Antilhue	Sector Las Princesas
Superficie primer piso	m²	51,82	60,53
Superficie total	m²	90,25	103
Nº de plantas		2	2
Superficie horizontal de techo	m²	69,21	77,74
Superficie inclinada de techo	m²	94,61	91,76
Cantidad de alas		4	6
Superficie de ala mayor	m²	52,96	43,78
Inclinación de ala mayor	grados	40	26,71
Segunda ala mayor	grados	30,93	22,43
Nº de habitaciones	unidad	3	3
Nº de baños	unidad	2	2

Las inclinaciones de alas de techumbre de las viviendas seleccionadas muestran dos pendientes moda de 40º (Figura 14) y 26.71º (Figura 15), lo cual coincide con la pendiente tipo de aproximadamente 1.000 casos estudiados por Zalamea y Alvarado (2014) de un total de 2.139 unidades (47% de la muestra). Ambos casos presentan diferente superficie de construcción y distribución de las plantas, sin embargo, están conformadas por el mismo programa de espacios: 3 habitaciones, 2 baños, sala de estar, cocina, living – comedor. Esta condición permite diseñar el SST con una demanda de Agua Caliente Sanitaria igual para los dos casos de estudio, con posibilidades de explorar variaciones en el sistema por las diferencias de pendiente de la cubierta y orientación de la vivienda.

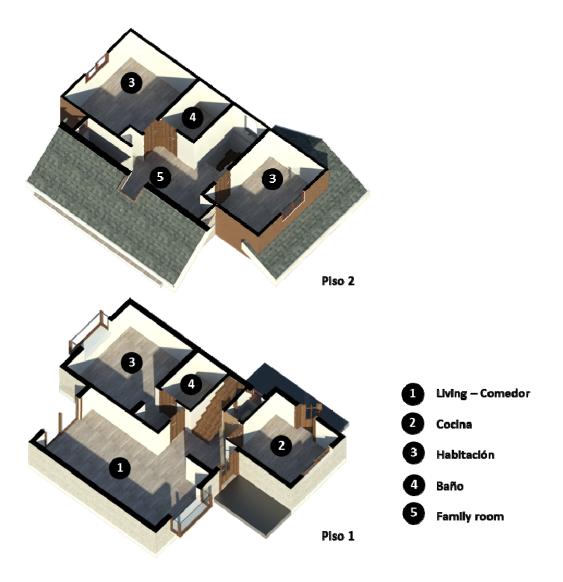


Figura 14: Caso de estudio A. Vivienda unifamiliar de condominio Antilhue. (El Autor)

Capítulo 3: Selección de casos de estudio

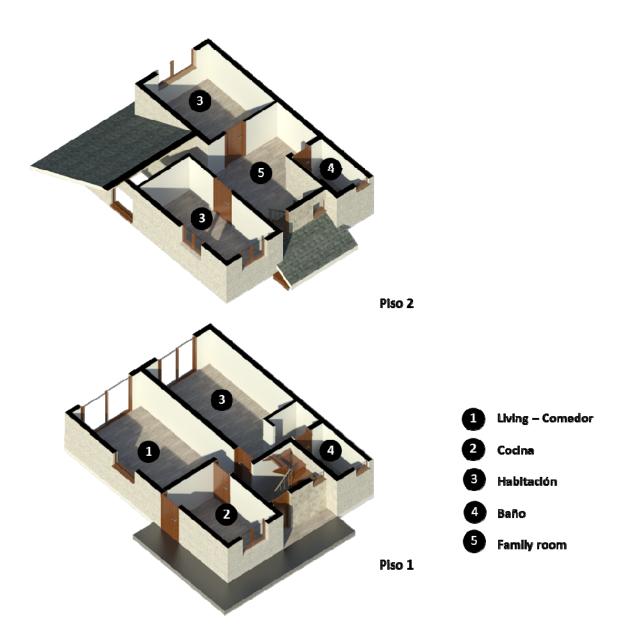


Figura 15: Caso de estudio B. Vivienda pareada de 103 m² en sector Las Princesas. (El Autor)

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

# Capítulo 4. Familias Paramétricas BIM

Este capítulo contempla el desarrollo y aplicación del proceso metodológico para parametrizar los sistemas solares seleccionados en un software de diseño BIM a través del empleo de familias paramétricas. Se inicia con la definición y características de este tipo de componentes y se realiza su vinculación en función a cuatros pasos: modelado 3D del caso de estudio, dimensionamiento del sistema solar térmico, programación algorítmica y finalmente el diseño de un sistema de tuberías MEP. De igual manera se presentan los resultados obtenidos de su aplicación en el caso de estudio A.

#### 4.1 Características de Familias Paramétricas BIM.

Una familia es un grupo de elementos con un conjunto de propiedades comunes, llamadas parámetros y una representación gráfica asociada. Los distintos elementos que pertenecen a una familia pueden tener valores diferentes en algunos o todos sus parámetros, aunque tienen siempre el mismo conjunto de parámetros (sus nombres y significados). Estas variaciones dentro de la familia reciben el nombre de tipos de familia o simplemente tipos.

En base a su geometría se pueden clasificar en dos grandes grupos: Familias 2D y Familias 3D, estas últimas se refieren directamente a los componentes constructivos de un proyecto, elementos con los cuales se crea el modelo tridimensional del mismo (Revit los clasifica en elementos de modelo). Debido al comportamiento específico de las familias en el entorno del proyecto, estas se pueden dividir en paramétricas y no paramétricas; en esta investigación se hará énfasis al uso de familias paramétricas por tener la capacidad de realizar modificaciones a la geometría del elemento, ya sea en términos de dimensiones o en función de materiales (Revit, 2010). Esta propiedad será aprovechada para representar los diferentes tipos de componentes identificadas en la Tabla 4, que conforman el SST a integrar en el modelo tridimensional de la vivienda mediante el diseño de sistemas de tuberías MEP.

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

#### 4.1.1 Sistema de tuberías MEP

Para la representación del Sistema Solar Térmico (SST) se creará un sistema de tuberías en Revit MEP mediante la colocación de componentes mecánicos en un modelo para después asignarlos a un sistema de suministro o de retorno. Posteriormente, con la utilización de herramientas de diseño se podrá determinar el mejor enrutamiento para las tuberías que conectan los componentes del sistema.

En el diseño del SST se pueden identificar tres subsistemas de tuberías que trabajan en conjunto con la utilización de los mismos componentes, estos son: sistema de agua fría, sistema de agua caliente y el sistema hidrónico; este último está conformado por el circuito de tuberías que conecta los captadores solares con el acumulador, y se utiliza para el intercambio de calor mediante la circulación de un líquido por dicho circuito de tuberías (energía térmica). De esta manera se relacionarán los diferentes componentes del SST identificados como familias de acuerdo a los esquemas de funcionamiento señalados en el punto 2.2.1, empleando una herramienta BIM para integrarlo al diseño paramétrico de la vivienda.

#### 4.1.2 Parámetros de familias.

Los parámetros de familia definen comportamientos o datos de identidad que afectan a todos los tipos de la familia; las diferentes categorías tienen distintos parámetros de familia, que dependen de la estimación que hace Revit sobre cómo se va a utilizar el componente (Autodesk Revit 2014). En los sistemas de tuberías MEP ya especificados, se pueden identificar las familias paramétricas a emplear en el diseño del sistema general, al hacer una clasificación por cada circuito de tuberías se distinguen dos categorías de familias: equipos mecánicos y accesorios de plomería.

Estas categorías están conformadas por diferentes tipos de componentes, cada uno tiene una representación gráfica asociada y un conjunto idéntico de parámetros, denominados parámetros de familia. En la Tabla 4 se hace un resumen de los parámetros de cada tipo de familia a usar en el proceso de diseño del SST, con el fin de tener las propiedades de cada uno y seleccionar el que mejor se adapte a los requerimientos de la vivienda.

CATEGORIA **FAMILIA** TIPO MODELO DIMENSIONES MATERIAL EXT. SISTEMA MEP **MODELO 3D** Tubo de Heat Pipe - 01 Zelios VDF-15 1380\*1910\*178 cristal/Perfiles de aluminio Tubo de Heat Pipe - 02 Zelios VDF-20 1840\*1910\*178 cristal/Perfiles de aluminio Tubo de Heat Pipe - 03 ILHC-5830 1894\*2310\*135 cristal/Perfiles Colector Sistema de aluminio Solar Hidrònico Vidrio 1988\*1041\*90 Plano - 01 Wunder CLS 2108 Templado Equipos Mecánicos Vidrio Plano - 02 Wunder CLS 2510 1988\*1218\*90 Templado AC - 200 BST 200 1260\*500 Sistema AC - 300 BST 300 1400\*550 Acumulador Hidrònico, A/C, A/F AC - 500 BST 500 1695\*650 M\_Lavabo-Sistema A/C, 485mm x 355mm 485mm x 355mm Ceramica Empotrado A/F M Sanitario-6,1 Lpf Ceramica Sistema A/F Cisterna **Aparatos** Sanitarios M Bañera-Sistema A/C. 1675mm x 915mm 1675mm x 915mm Fibra de vidrio Maestro A/F

Tabla 4: Parámetros de Familias. (El Autor)

# 4.2 Vinculación de las características de cada componente del SST al software de diseño BIM.

La aplicación del diseño paramétrico como medio de integración entre el SST y la configuración arquitectónica de la vivienda seleccionada implica generar una sinergia entre los diferentes elementos y parámetros que interactúan en el cálculo y adaptación del sistema propuesto. Para obtener esta relación, es necesario emplear diferentes herramientas digitales que de manera

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

independiente cumplen una función, pero que al lograr relacionarlas entre sí puedan apoyar un trabajo colaborativo entre los diferentes actores que buscan un objetivo común.

En este sentido, se propone desarrollar una metodología basada en las capacidades BIM, en la cual se producen y explotan datos del edificio para hacer posible la integración del enfoque ambiental y trabajo colaborativo, con el fin de apoyar una exploración fluida e informada, evaluación y comparación de los diferentes desarrollos durante el diseño esquemático (Salgueiro & Ferries, 2015). Con el empleo de las herramientas Revit®, Dynamo y Excel se logra vincular las características arquitectónicas con el dimensionamiento del SST e integrarlos de manera paramétrica; Revit representa el software de diseño BIM que servirá como base para el modelado paramétrico, al combinarlo con Dynamo como software de programación algorítmica se puede observar la influencia de variables externas en la forma arquitectónica durante estas primeras etapas de diseño.

Metodológicamente se plantea la realización de cuatros pasos específicos, en los cuales cada uno presenta una función necesaria para cumplir con el objetivo planteado en la investigación; estos son: Modelado 3D de la vivienda en software de diseño Revit, Dimensionamiento de los componentes del SST mediante una tabla de cálculo Excel, Programación algorítmica en Dynamo y Diseño de sistema de tuberías MEP. Al parametrizar los cuatro procedimientos planteados se obtiene una programación en la cual se pueden observar los cambios en el modelo a medida que se varíen los parámetros establecidos.

## 4.2.1 Modelado 3D de la vivienda tipo

Aprovechando las herramientas del modelado paramétrico en el software de diseño Revit se realiza el modelo de la vivienda Tipo A de acuerdo a las características especificadas en el punto 3.2, estableciendo relaciones entre los componentes a partir de restricciones geométricas y dimensionales preestablecidas; de esta manera se potencia la posibilidad de examinar variantes sin la necesidad de rehacer cada vez el trabajo de representación (Figura 16).

El uso de familias paramétricas de cada uno de sus componentes, especialmente de la cubierta, permite controlar la ubicación de las entidades del modelo al igual que la modificación de los

parámetros a conveniencia del diseño, de esta manera se obtienen los datos de geometría y orientación necesarios para el dimensionamiento e integración del SST.



Figura 16: Modelo 3D de vivienda tipo (Caso de estudio A). (El Autor)

## 4.2.2 Dimensionamiento de los componentes del SST.

El objetivo principal de este punto es determinar el área de captación y la capacidad del acumulador que constituirán el SST a instalar para abastecer las necesidades de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en viviendas unifamiliares. Se hacen los cálculos en función a lo especificado en el Reglamento de la Ley 20.365 y se representan en una tabla de Excel en la que se insertan los valores de entrada necesarios para obtener los cálculos finales.

Para realizar estos cálculos es primordial determinar ciertos valores de entrada (inputs) relacionados a: Demanda diaria, demanda de la vivienda, demanda de energía anual, f solar, eficiencia del SST y la radiación anual que depende de datos extraídos del modelo 3D de la vivienda como ángulo de inclinación de la cubierta y azimut; estos últimos pueden variar de acuerdo a las características particulares de cada vivienda y son clave al momento de evaluar posibilidades de adaptación del SST.

Se estimará la demanda diaria de agua caliente sanitaria a una temperatura de referencia de 45°C y se consideraran los consumos diarios de Agua Caliente Sanitaria por persona igual a 40 L/día (Cp)

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

para viviendas unifamiliares (Reglamento de la Ley 20.365, 2010). Igualmente, el número de personas que habitan una vivienda se hace de acuerdo a los valores de la Tabla 5, los cuales sirven como base para calcular la demanda de ACS de una vivienda (Dv) de acuerdo a la siguiente expresión:

Tabla 5: Cálculo de número de personas por vivienda. Fuente: (Reglamento de la Ley 20.365, 2010)

Nº de dormitorios	1	2	3	4	5	>5
Nº de personas	1.5	3	4	6	7	Nº de dormitorios

Una vez obtenida la demanda de ACS de la vivienda (Dv) se procede a calcular la Demanda de energía anual (DEacs), la cual representa la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura del caudal de agua de consumo desde la temperatura de entrada de agua fría hasta la temperatura de uso en los puntos de consumo (Fallis, 2013b). Se calcula mediante la siguiente formula:

$$DEacs = Q(Tu) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (Tu - Taf)$$

Donde:

DEacs = Demanda de energia anual

Q (Tu) = Caudal de agua de consumo

 $\rho$  = Densidad del agua

Cp = Calor específico del agua

Tu = Temperatura de consumo del agua

Taf = Temperatura de entrada del agua de red

La fracción solar del sistema (Fs), también denominada cobertura o contribución solar, es la representación de la demanda de energía que es cubierta mediante energía solar. Uno de los criterios de cálculo inicial es seleccionar la mejor instalación que justifica, como mínimo, el cumplimiento de las condiciones establecidas en la normativa donde se logre una contribución solar mínima determinada en función de la localización geográfica (Fallis, 2013b).

En este caso, la (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, 2009) define que la ciudad de Concepción pertenece a la Zona Climática C y, por consiguiente, exige una Contribución Solar Mínima de 57% (Tabla 6). Este será el valor que se tomará como base para dimensionar el SST en un primer paso, posteriormente se establecerá el valor más óptimo de acuerdo al área de captación de los colectores solares.

Tabla 6: Contribución solar mínima para cada zona climática. Fuente: (Ley 20.365)

Zona Climática	Radiación Solar Global Media Anual (H) (KWh/m² año)	
Α	1948 ≤ H	75
В	1701 ≤ H < 1948	66
С	1454 ≤ H < 1701	57
D	1208 ≤ H < 1454	48
E	961 ≤ H < 1208	39
F	961 < H	30

La estimación precisa de la eficiencia del SST entra en un proceso complejo de cálculo de prestaciones en el que todas las variables están interrelacionadas, pero su estimación aproximada facilita mucho las primeras evaluaciones y los órdenes de magnitud del tamaño de las instalaciones (Fallis, 2013b). Debido a que esta investigación se enfoca en el dimensionamiento del SST para integrar en la arquitectura de una vivienda en las primeras etapas del diseño, se tomará como referencia los datos concluidos en el trabajo denominado "Experimental validation of SDHW systems and parametric study on their performance based on dwelling characteristics" ver punto 3.1.4, donde la evaluación de un Sistema Solar Térmico con colector plano mediante simulación anual arroja una eficiencia 45% del sistema en general.

Este valor coincide con las estimaciones aproximadas según Fallis (2013) donde señala que el rendimiento medio anual de la instalación solar depende del rendimiento medio de los colectores solares, que se encuentra habitualmente comprendido en el rango 40-60%. Igualmente se estima que el resto de los componentes de la instalación introducen pérdidas térmicas adicionales que contribuyen a disminuir este rendimiento, estas pérdidas nunca deberían ser superiores al 20% y,

Universidad del Río-Río Sistema de Ribliotecas - Chil.

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

por lo tanto, se pueden estimar valores del rendimiento medio anual para la instalación completa

dentro del rango de 30 a 50%.

Hasta ahora los datos obtenidos son definidos principalmente por la cantidad de personas que

habitan en la vivienda a evaluar y las características y propiedades del agua a calentar con el SST.

Sin embargo, para obtener el cálculo final de área de colectores solares es necesario tener el valor

de la Radiación solar anual sobre un plano con la misma orientación e inclinación que los

colectores, que en este caso es la cubierta de la vivienda (debido a que se maneja el criterio de

integración arquitectónica), este dato está definido por la pendiente de inclinación de la

techumbre y el azimut. Estos valores de radiación anual son tomados de la base de datos

Meteonorm del Aeropuerto Carriel Sur de Concepción (WMO Index number 856820) a través de

una tabla creada con diferentes ángulos de inclinación y azimut (Tabla 7).

Finalmente, la superficie de captación (Ac) permite seleccionar el tipo y cantidad de colectores

solares a utilizar de acuerdo a las familias paramétricas cargables de los colectores solares, y se

determina en base a la siguiente expresión:

Ac \* Ht \*  $\eta$ NST = Fs \* DEacs

Donde:

Ac = Área de colectores

Ht = Radiación global anual

ηNST = Rendimiento global de la instalación solar

Fs = Fracción solar

DEacs = Demanda de energía anual

El volumen total del sistema de acumulación se define, en función del tamaño del campo de

colectores, utilizando un valor de la acumulación específica de 75 litros de acumulación por metro

cuadrado de captación (Fallis, 2013b) . Podrá estar conformado por uno o más depósitos

acumuladores y el volumen total de los acumuladores deberá estar acorde con la demanda y tener

un valor que cumpla con la siguiente condición:

40≤V/A≤180

Donde:

A= Superficie instalada de CST

V= Volumen del depósito de acumulador solar

42

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

Tabla 7: Radiación solar anual en la ciudad de Concepción. (El Autor)

Suma de F	INCL																				
<b>ACIMU</b>	0	5	10	15	20	25	30	35	37	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	Total general
-170	1533	1482	1424	1357	1284	1205	1123	1043	1010	963	885	810	738	670	608	552	508	479	459	442	18575
-160	1533	1484	1428	1363	1292	1217	1138	1058	1026	980	903	829	759	694	634	584	547	517	492	471	18949
-150	1533	1488	1434	1374	1307	1235	1161	1085	1055	1010	936	866	799	739	686	641	602	569	540	513	19573
-140	1533	1492	1444	1388	1326	1261	1192	1122	1095	1053	985	920	860	804	753	708	666	629	595	564	20390
-130	1533	1498	1455	1406	1351	1292	1230	1168	1143	1105	1044	985	928	875	826	779	736	695	657	621	21327
-120	1533	1505	1469	1426	1379	1327	1273	1218	1196	1162	1107	1053	1000	949	900	852	807	763	721	680	22320
-110	1533	1512	1484	1449	1409	1366	1319	1271	1251	1222	1172	1121	1071	1022	973	924	877	830	784	739	23329
-100	1533	1520	1500	1473	1441	1405	1366	1324	1307	1281	1235	1188	1141	1092	1043	993	943	894	844	795	24318
-90	1533	1529	1516	1498	1474	1445	1413	1377	1362	1338	1296	1252	1206	1158	1108	1057	1005	952	899	846	25264
-80	1533	1537	1533	1522	1506	1484	1458	1427	1413	1392	1353	1311	1266	1218	1167	1115	1060	1004	947	890	26136
-70	1533	1545	1549	1546	1537	1521	1500	1474	1462	1442	1406	1365	1321	1272	1220	1165	1108	1049	988	927	26930
-60	1533	1553	1564	1568	1565	1555	1539	1516	1506	1488	1453	1414	1369	1319	1266	1208	1148	1085	1020	954	27623
-50	1533	1560	1578	1588	1591	1586	1574	1554	1544	1528	1495	1456	1410	1360	1304	1244	1180	1113	1044	974	28216
-40	1533	1566	1590	1606	1613	1612	1604	1587	1578	1562	1530	1491	1445	1393	1335	1273	1205	1134	1061	985	28703
-30	1533	1571	1600	1620	1631	1634	1628	1613	1605	1590	1559	1520	1474	1420	1360	1294	1223	1148	1070	989	29082
-20	1533	1575	1607	1631	1645	1650	1647	1634	1626	1612	1581	1542	1494	1439	1378	1309	1235	1156	1073	987	29354
-10	1533	1577	1612	1638	1654	1661	1658	1646	1639	1625	1595	1555	1508	1452	1388	1318	1241	1159	1073	983	29515
0	1533	1578	1614	1640	1657	1665	1663	1652	1644	1631	1600	1561	1513	1457	1394	1323	1245	1162	1074	982	29588
10	1533	1577	1613	1639	1656	1663	1661	1649	1642	1629	1598	1560	1512	1456	1393	1323	1246	1164	1077	987	29578
20	1533	1576	1609	1634	1649	1655	1652	1640	1632	1618	1588	1550	1503	1448	1386	1318	1243	1164	1081	994	29473
30	1533	1572	1603	1624	1637	1641	1636	1623	1615	1601	1570	1532	1485	1432	1372	1306	1235	1159	1080	999	29255
40	1533	1568	1594	1611	1620	1621	1614	1598	1590	1575	1544	1506	1460	1408	1351	1287	1220	1148	1073	997	28918
50	1533	1562	1582	1595	1599	1596	1586	1568	1559	1543	1511	1472	1428	1377	1322	1261	1197	1129	1059	988	28467
60	1533	1555	1569	1576	1575	1567	1553	1532	1522	1505	1472	1433	1388	1339	1285	1228	1167	1103	1037	970	27909
70	1533	1548	1555	1554	1547	1534	1515	1491	1480	1461	1426	1386	1342	1293	1241	1186	1128	1068	1006	944	27238
80	1533	1540	1539	1531	1517	1498	1474	1445	1432	1412	1374	1333	1288	1240	1190	1136	1081	1024	966	908	26461
90	1533	1532	1522	1507	1486	1460	1430	1396	1381	1358	1318	1274	1229	1180	1130	1079	1026	972	918	864	25595
100	1533	1523	1506	1482	1453	1420	1383	1344	1327	1301	1257	1211	1163	1114	1065	1014	964	913	862	812	24647
110	1533	1515	1489	1457	1421	1380	1336	1290	1271	1242	1193	1143	1093	1043	994	944	896	848	801	755	23644
120	1533	1507	1474	1434	1389	1341	1289	1236	1214	1182	1127	1073	1021	969	919	871	824	779	736	694	22612
130	1533	1500	1460	1413	1360	1304	1245	1184	1159	1123	1062	1004	947	894	843	796	751	710	670	633	21591
140	1533	1494	1447	1394	1335	1271	1205	1136	1109	1068	1002	937	877	821	769	722	680	642	607	575	20624
150	1533	1489	1437	1378	1313	1244	1171	1096	1067	1022	950	880	814	754	700	654	614	579	548	521	19764
160	1533	1485	1430	1366	1297	1222	1144	1066	1035	989	913	840	770	704	644	593	554	523	498	476	19082
170	1533	1483	1425	1359	1286	1208	1127	1047	1015	968	890	816	744	675	613	557	512	483	461	444	18646
180	1533	1482	1423	1356	1282	1203	1120	1039	1007	959	881	806	733	664	600	544	497	466	447	432	18474
Total gene	55188	55080	54678	54003	53084	51949	50627	49149	48519	47540	45811	43995	42099	40144	38160	36158	34171	32212	30268	28335	891170

Con la finalidad de agrupar y relacionar los inputs necesarios para obtener el área de colectores solares se crea una tabla de cálculo en Excel donde se insertan las formulas y datos identificados anteriormente (Tabla 8). Adicionalmente, se crea una base de datos con las familias paramétricas correspondiente a los colectores solares y acumuladores en función de los casos de estudio señalados en Tabla 9; el área de cada uno de estos componentes se relaciona con el área de colectores calculada con el fin de seleccionar el tipo de colector y acumulador que se adapta de mejor manera a los requerimientos del sistema.

Tabla 8: Dimensionamiento del SST en Excel. (El Autor)

Calculo de Área de Colectores y Capacidad del Acumulador							
Inputs	Cantidad	Unidades					
N° de personas	4						
Demanda diaria	40	lts/dia					
Consumo ACS	160	lts/dia					
Demanda energía ACS anual	2234,1	Kwh/año					
f solar	57	%					
Eficiencia SST	45	%					
Angulo	40	Grados					
Azimut	0	Grados					
Radiación total	1631	KWh/m2año					
Outputs							
Área de colectores	1,74	m²					
Capacidad Acumulador	130,1	lts					

Tabla 9: Base de datos de familias paramétricas de los componentes del SST. (El Autor)

Familia	Tipo de Familia	Área (m²)		
	Heat Pipe - 01	2,6		
Colector Heat Pipe	Heat Pipe – 02	3,5		
	Heat Pipe – 03	4,6		
Colector Plano	Plano – 01	2,0		
	Plano – 02	2,4		
Familia	Tipo de Familia	Volumen (lts)		
	AC – 200	200		
Acumulador	AC – 300	300		
	AC - 500	500		

La ultima tabla resumen permite sintetizar la información obtenida, de manera que solo al seleccionar la categoría de colector a usar ésta arroja la cantidad y tipo de familia a emplear (Tabla 10). Un valor importante de corroborar en esta etapa es el valor de la fracción solar ajustada al área de captación lograda con los colectores seleccionados. La validación del sistema permite saber si este cumple con la contribución solar mínima exigida por el Reglamento de la Ley 20.365 determinada por la siguiente relación:

CS ≥CSM \* 0,85

Donde:

CS: Contribución solar del Sistema Solar Térmico [%].

CSM: Contribución solar mínima exigida [%].

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

Tabla 10: Resumen de familias paramétricas a usar y comprobación de contribución solar mínima del SST. (El Autor)

Categoría de Colector: 1= Heat Pipe; 2= Colector Plano							
2	Área Colector	Tipo Colector	Cantidad				
Colectores a instalar	2	Plano - 01	1				
Acumulador	200	1					
Contribución solar ( seleccionados (%)	65,7						
Verificación de Con CS≥CSM*0,85 (48,4	SI						

Tomando en cuenta las características particulares de la vivienda tipo A, con la aplicación de la metodología propuesta se pudo conocer que de acuerdo a los parámetros de su cubierta (40° de inclinación y 0° de azimut) se necesita un área de captación de 1.74 m² y una capacidad del acumulador igual a 130.13 lts.

Para cumplir con estos requerimientos, la base de datos de componentes solares térmicos integrados a la tabla de cálculo Excel permitió determinar dos opciones de instalación. Un primer caso donde el colector de tubos al vacío denominado "Heat Pipe – 01" con un área de 2.6 m² proporciona una fracción solar de 85%, y un segundo caso donde el colector plano de tipo "Plano - 01" de área igual a 2.0 m² obtiene una fracción solar de 65.7%; ambos casos con un acumulador de 200lts de capacidad.

Al evaluar ambas opciones resulta conveniente utilizar el colector de la segunda alternativa debido a que su fracción solar anual no supera el valor critico de 75%, ya que de acuerdo a comprobaciones en el programa de cálculo F-Chart los valores superiores al indicado generan una producción de energía térmica mayor al 90% en los meses de verano, produciendo riesgos de sobrecalentamiento del SST (como es el caso del colector Heat Pipe – 01).

#### 4.2.3 Programación algorítmica en Dynamo.

Mediante la implementación de un algoritmo a través de Dynamo, se ha ideado un conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permite generar un intercambio de información entre el modelo 3D en Revit y la tabla de dimensionamiento del SST creada en Excel, con la finalidad de definir los componentes solares a integrar en el SST en función de las variables de la vivienda referente a orientación y ángulo de inclinación de la cubierta (Figura 17). De igual manera a través del algoritmo creado se define el punto de inserción de los paneles solares en base al potencial solar de la cubierta.



Figura 17: Relación de herramientas digitales mediante programación algorítmica. (El autor)

La interoperabilidad del software permite insertar en la tabla creada en Excel los inputs que ésta necesita para realizar el dimensionamiento del SST de acuerdo al procedimiento ya señalado en el punto 4.2.2. A través de Dynamo se crea el Nodo 1 que permite identificar la superficie de la cubierta con mayor potencial solar de acuerdo al análisis realizado con Ladybug como simulador energético, en el cual se determinan los niveles de radiación incidentes en la cubierta y se extraen los parámetros de ángulo de inclinación y azimut que posteriormente con el Nodo 2 se exportan e insertan en el archivo Excel suministrado (Figura 18).

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

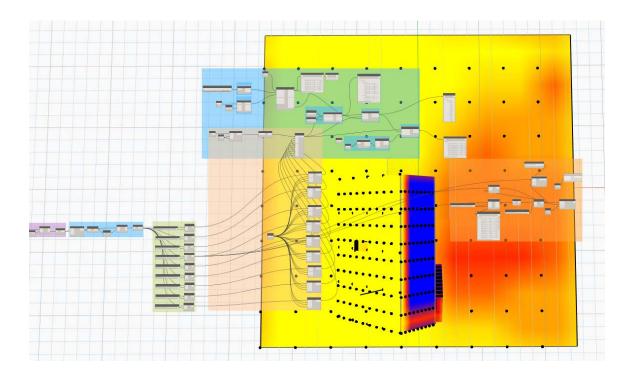


Figura 18: Programación algorítmica para definir la superficie con mayor potencial solar y extraer datos de inclinación y azimut para el dimensionamiento del SST. (El Autor)

La relación creada a partir de estos nodos permite retornar información a Dynamo con las modificaciones creadas en Excel, esta condición permite suministrarle al algoritmo los datos referentes al tipo y cantidad de familias paramétricas a insertar en el modelo mediante el Nodo 3. Con esta información se determina el punto de inserción de los colectores solares en la cubierta mediante la creación de una grilla para indicar manualmente el punto, y se señala el tipo de familia a insertar a través del Nodo 4 (Figura 19).

Finalmente, el algoritmo creado en Dynamo da como resultado la inserción de la familia paramétrica del colector solar y el acumulador en la vivienda tipo (Figura 20), es un proceso sistematizado en el que cualquier variación en la configuración de la cubierta incidirá directamente en la programación algorítmica creada.

Capítulo 4: Familias paramétricas BIM

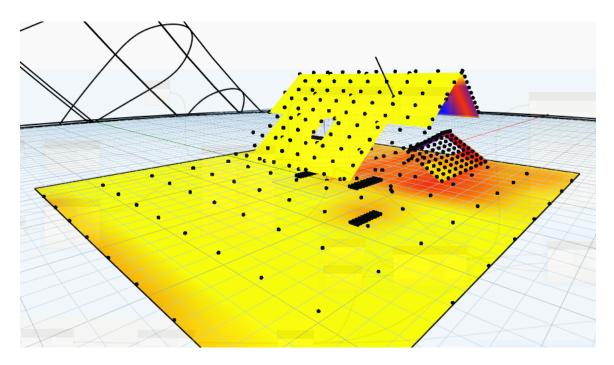


Figura 19: Programación algorítmica para definir el punto de inserción de las familias paramétricas. (El autor)

Con este resultado se verifica que las nuevas herramientas computacionales disponibles para arquitectos e ingenieros pueden utilizarse como más que herramientas de optimización de formas arquitectónicas ya establecidas. Combinado con el modelado paramétrico, estas herramientas pueden conducir a una integración activa de los medios de análisis en el desarrollo de la forma arquitectónica en las primeras etapas de diseño. (Anton & Tanase, 2016)

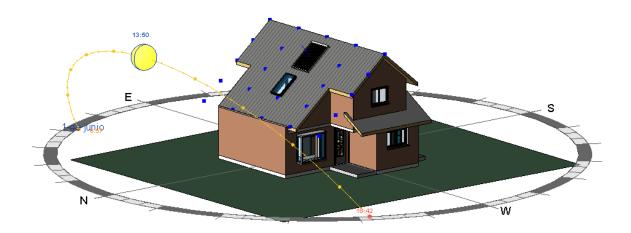


Figura 20: Integración del SST en la vivienda mediante la programación algorítmica creada en Dynamo. (El Autor)

#### 4.2.4 Diseño de Sistema de Tuberías MEP

El diseño de sistemas de tuberías MEP es el método utilizado para relacionar entre si todos los componentes del SST ya insertados en el modelo, ya que muestra el enrutamiento y las conexiones entre los aparatos sanitarios y los equipos mecánicos. En su configuración se identifican tres subsistemas que, aunque trabajan en conjunto cada uno tiene un circuito de tuberías independiente identificados en el software de diseño Revit MEP como: Sistema de Agua Fría, Sistema de Agua Caliente y Sistema Hidrónico; este último se utiliza para el intercambio de calor, para calentar o enfriar procesos para confort humano, usando líquido como medio de transporte del calor (energía térmica), en este caso está representado por el circuito cerrado entre el colector solar y el acumulador del SST.(Figura 21)

La herramienta seleccionada permite crear los circuitos de tuberías y hacer el cálculo de la misma de acuerdo a los parámetros ya establecidos en las familias paramétricas de los accesorios sanitarios, donde se destaca principalmente del flujo asignado a cada tipo de esta familia. Además, se comprueba el comportamiento de la instalación en general y la necesidad de hacer algún cambio en la arquitectura de la vivienda para su integración.

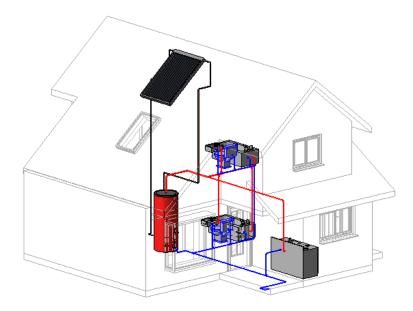


Figura 21: Vinculación de las familias paramétricas del SST mediante el diseño de sistemas de tuberías MEP. (El Autor)

Capítulo 5. Comportamiento paramétrico del SST

# Capítulo 5. Comportamiento paramétrico del SST

El enfoque de este capítulo permite validar el comportamiento del Sistema Solar Térmico en el diseño de una vivienda unifamiliar tipo a través del software de diseño BIM, inicialmente se realiza un análisis paramétrico con la aplicación del procedimiento metodológico especificado en el punto 4.2, donde se exploran opciones de integración del SST en dos tipologías de viviendas con diferente configuración arquitectónica y orientación de la techumbre (definida por la variación de del ángulo azimut). Igualmente se realiza un análisis de los costos asociados a los componentes del SST recomendados para cada solución de integración y se muestra el resultado de esas alternativas a través de la visualización de los colectores solares en la cubierta de las viviendas para demostrar el empleo de los criterios de calidad de integración arquitectónica.

#### 5.1 Análisis Paramétrico del SST

La realización de este análisis permite evaluar las posibles soluciones de integración del SST de acuerdo a las características propias de cada modelo de vivienda, se puede desarrollar en la etapa temprana de diseño para experimentar opciones de orientación en función de la optimización del SST o para evaluar alternativas de integración en una vivienda existente que tenga limitaciones asociadas a su orientación Norte; con el análisis paramétrico se logra identificar el tipo y cantidad de componentes del sistema además del valor de la fracción solar que aporta a la demanda de Agua Caliente Sanitaria.

Para el estudio se toma como base las dos tipologías de viviendas identificadas en el punto 3.2, de las cuales se mantiene la inclinación de sus cubiertas (40° y 27°) y se exploran variaciones en el ángulo azimut del colector respecto al Norte, generando una matriz de 8 posibilidades de orientación (Figura 22); tomando en cuenta el recorrido solar, se asume como orientación ideal es la que presenta 0° de azimut, permitiéndose una variación máxima de 90° respecto al eje.

#### 5.1.1 Caso de estudio A

Al evaluar la variación del área de capitación solar en función del ángulo del colector respecto al Norte (manteniendo la inclinación de 40° que presenta la cubierta), se obtiene que en

orientaciones con ángulos azimut comprendidos entre 0° y 90° el área de captación requerida oscila entre 1,71m² y 2,12 m² lo que representa variaciones máximas de un 24% entre los casos expuestos; de igual manera se evidencia que al tener ángulos entre -135° y -180° esta superficie aumenta notablemente debido a que el colector estaría opuesto al recorrido solar, lo cual implica tener un área de 2,56 m² y 2,94 m² respectivamente (Figura 22).

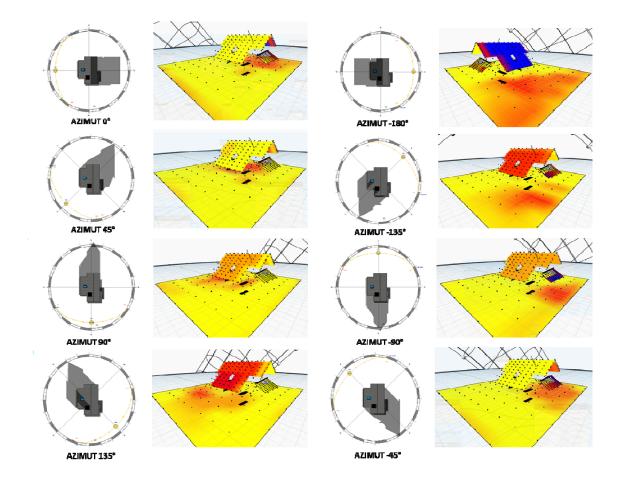


Figura 22: Variación de orientación en vivienda tipo A de acuerdo al ángulo azimut del faldón de la cubierta donde se ubica el colector solar. (El Autor)

La metodología planteada permite seleccionar el tipo de colector que mejor se adapta a los requerimientos de la vivienda, en primer caso se verifica el desempeño de los colectores planos en función de las necesidades de captación solar ya identificadas. Los resultados recomiendan la utilización de un colector tipo "Plano -1" para ángulos comprendidos entre 0° y 45°, mientras que para un azimut de 90° se elige un colector tipo "Plano – 2", ambos con un acumulador de tipo "AC

- 200" para obtener una fracción solar del sistema completo menor al 75% (Valor crítico recomendado); la cantidad de colectores cambia al tener orientaciones con azimut igual a -135°, - 180° y 135° donde se requiere en empleo de dos colectores tipo "Plano - 1" y un acumulador de tipo "AC - 300", sin embargo estas opciones arrojan valores de fracción solar superiores al 75% lo que representa un sobredimensionamiento del SST (

Colector Plano 90 80 60 50 30 20 AC - 200 | AC - 300 | AC - 300 | AC - 200 | AC - 200 | AC - 200 | AC - 200 | AC - 300 Plano - 2 Plano - 1 Plano - 2 Plano - 1 2 2 1 1 1 1 -180 -135 -45 0 45 90 135 ■ Fraccion Solar 64,6 77,5 62,9 65,7 63,4 65,6 90,48

Gráfico 2: Tipo de colector plano de acuerdo al ángulo de azimut. (El Autor)

En el caso de los colectores Heat Pipe se evidencia un comportamiento diferente al de los colectores planos, donde se dimensiona un colector tipo "Heat Pipe – 01" con un acumulador tipo "AC – 200" para orientaciones con ángulo azimut entre 0° y 45° y una fracción solar del sistema que supera el 75% establecido como límite, la opción para orientaciones de 90° y 135° optimiza el funcionamiento del SST respecto al colector plano porque el empleo de un colector tipo "Heat Pipe – 01" con un acumulador "AC-200" ajusta la fracción solar a valores cercanos al 70%. El Gráfico 3 evidencia que para orientaciones opuestas al recorrido solar (-135° y -180°) los tipos "Heat Pipe -01" y "Heat Pipe-02" otorgan una fracción solar menor al 75%, lo cual es una opción optima a emplear en viviendas que presenten dicha orientación.

La evaluación realizada permite inferir que la variación del área de captación solar en función al ángulo azimut de los colectores respecto al Norte influye notablemente en el tipo y cantidad de componentes a utilizar en el SST de la vivienda, asimismo el valor de la fracción solar del sistema en general permite identificar si se genera sobredimensionamiento de sus componentes, de esta

manera se pueden disminuir los riesgos de fallas en su funcionamiento generadas por la excesiva generación de energía térmica respecto a la demanda calculada en los meses de verano

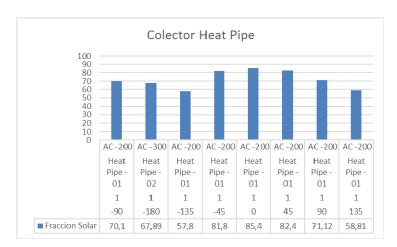


Gráfico 3: Tipo de colector Heat pipe de acuerdo al ángulo de azimut. (El Autor)

En este sentido, al comparar los valores de fracción solar (Gráfico 4) arrojados por ambas alternativas, se puede concluir que para viviendas que presenten configuración similar al caso de estudio (cubiertas con inclinación de 40°) y estén ubicadas en la ciudad de Concepción se recomienda la utilización de colectores planos para orientaciones con azimut entre 0° y 90°, o utilización de colectores heat pipe en orientaciones opuestas al recorrido solar (-135° y -180°), de esta manera se optimiza el funcionamiento de SST de acuerdo a los requerimientos particulares de cada vivienda.

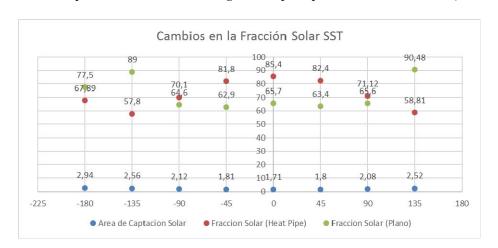


Gráfico 4: Comparación de Fracción solar generada por tipos de colectores solares. (El Autor)

#### 5.1.2 Caso de estudio B

Corresponde a la segunda tipología de vivienda, este caso de estudio presenta la misma demanda de ACS que el caso anterior debido a que está compuesta por el mismo número de habitaciones, pero presenta cambios respecto a la inclinación de la cubierta (27°), se realiza el mismo análisis paramétrico con variaciones en el ángulo azimut del colector solar de acuerdo a la matriz presentada en la Figura 23.

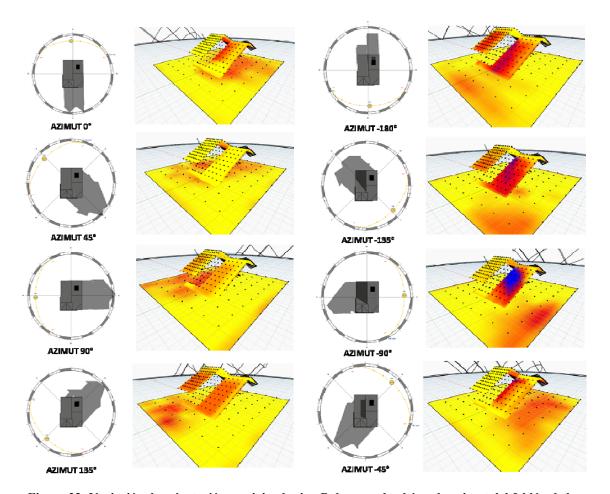


Figura 23: Variación de orientación en vivienda tipo B de acuerdo al ángulo azimut del faldón de la cubierta donde se ubica el colector solar. (El Autor)

Se obtiene que la cubierta con 27° de inclinación presenta menos variaciones en la superficie de captación requerida respecto al primer caso de estudio, en esta vivienda se necesita una superficie

de captación comprendida entre 1,7m² y 1,9 m² para orientaciones con ángulo azimut entre 0° y 90° (variación del 12%); dicha área aumenta en un rango de 2,17m² a 2,35m² para orientaciones opuestas al recorrido solar (azimut 135°, -135° y -180°). Debido a este margen de variación, en el Gráfico 5: **Tipo de colector plano de acuerdo al ángulo de** Gráfico 5 se observa como el comportamiento de los colectores planos generan una fracción solar del sistema no mayor al 67% en todas las orientaciones, asimismo se recomienda el empleo de un colector tipo "Plano -1" con acumulador "AC-200" para todas las alternativas que estén dentro del recorrido solar (desde 0° hasta 90° de azimut); cambiando el tipo a "Plano – 2" cuando se tenga una orientación opuesta al norte (-135° y -180°).

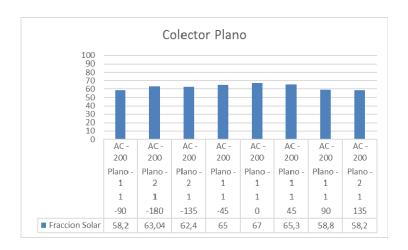


Gráfico 5: Tipo de colector plano de acuerdo al ángulo de azimut. (El Autor)

El comportamiento de los colectores heat pipe identificados en el Gráfico 6, permite inferir que el tipo de cubierta analizado con pendiente de 27° tiene una exigencia de superficie de captación menor a la otorgada por estos colectores, evidenciándose en los valores de fracción solar que genera el SST en orientaciones con azimut entre 0° y 90° con porcentajes superiores al valor critico (75%). Sin embargo, como en el caso de estudio anterior, el desempeño de estos colectores se optimiza en orientaciones contrarias al recorrido solar (135°, -135° y -180°) debido a que se necesita mayor área de captación para cumplir la demanda de ACS con bajos niveles de radiación anual, utilizando un colector "Heat Pipe – 01" y acumulador "AC-200" se obtiene una fracción solar no mayor al 68%, la cual es superior a la otorgada por los colectores planos en esta orientación (Gráfico 7).

Capítulo 5. Comportamiento paramétrico del SST

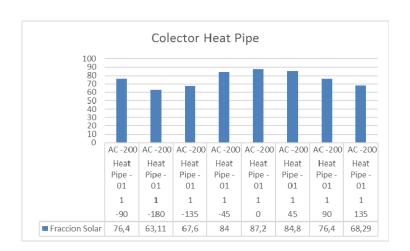


Gráfico 6: Tipo de colector Heat pipe de acuerdo al ángulo de azimut. (El Autor)

Los resultados obtenidos de este análisis permiten inferir que el ángulo de inclinación de  $27^{\circ}$  otorga un mejor comportamiento al SST debido a que los colectores solares reciben mayor cantidad de radiación anual, influyendo de manera significativa en la disminución de superficie de captación solar en comparación con los requerimientos de la cubierta de  $40^{\circ}$  de inclinación; otro aspecto importante de esta configuración de techumbre es la posibilidad de utilizar los colectores planos en todas las orientaciones planteadas, siendo el tipo "Plano -1" el más versátil por la posibilidad de utilizarlo en orientaciones con azimut entre  $0^{\circ}$  y  $90^{\circ}$ .

De igual manera se pudo demostrar que los colectores Heat Pipe por tener un área de captación mayor a los colectores planos, presentan mayor eficiencia en orientaciones que presentan menor incidencia solar con ángulos azimut de -135° y -180°, como es el caso de orientación hacia el Sur; igualmente mejoraría su comportamiento en viviendas con una mayor demanda de ACS a la evaluada en este análisis.

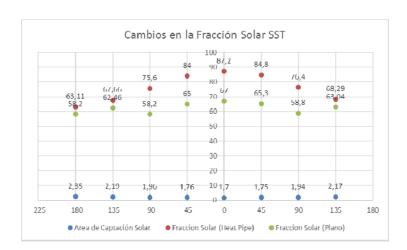


Gráfico 7: Comparación de Fracción solar generada por tipos de colectores solares. (El Autor)

# 5.2 Costos asociados a los tipos de componentes solares a usar

Además de los valores presentados anteriormente referente a la eficiencia de cada componente del SST en función de su fracción solar, es necesario tomar en cuenta los costos asociados a dichos componentes para ayudar a tomar la decisión del tipo de equipos a instalar desde el punto de vista económico. En este sentido, al análisis paramétrico realizado en el punto 5.1 se le agregaron los costos de cada tipo de colector solar y acumulador de acuerdo a la Tabla 1, se toman solo estos dos componentes porque representan el mayor gasto de la instalación en general, y los otros costos asociados a tuberías y conexiones depende del diseño específico de cada sistema. El objetivo de este subcapítulo es visualizar la relación existente entre el costo de los componentes y la fracción solar que aportan al sistema.

Al analizar los resultados obtenidos se pudo determinar que existe una relación directamente proporcional entre ambas variables; en el caso de estudio A, los costos asociados al tipo de colector plano expresados en el Gráfico 8 van en sintonía con el valor de la fracción solar del SST, pudiéndose verificar que el uso de colector plano en orientaciones con anglos azimut entre -135° y -180° genera gastos adicionales que son representados en el excesivo aporte solar del sistema, lo cual disminuye su factibilidad desde el punto de vista económico.

Capítulo 5. Comportamiento paramétrico del SST

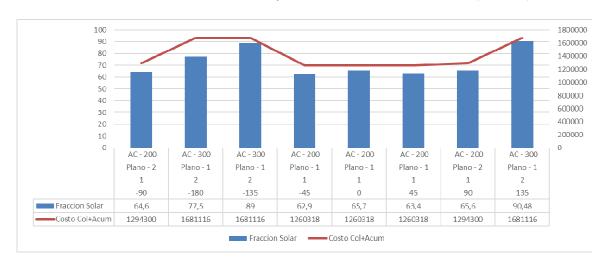


Gráfico 8: Costos de Colector Plano y acumulador en caso de estudio A. (El Autor)

Con la finalidad de saber la factibilidad económica de optimizar el SST con la utilización de colectores tipo Heat pipe en las orientaciones desfavorables de -135° y -180°, el Gráfico 9 muestra como el uso de estos componentes genera dos escenarios diferentes, en un primer caso se tiene un costo menor de 168.216 CLP en orientación -135°, representando un 10% menos que la inversión para colectores planos; en un segundo caso se tiene un costo adicional de 160.400 CLP para orientaciones -180° (9.5% más). Demostrando que con seleccionar estos colectores en dichas condiciones mejora los valores de fracción solar y se requiere de una inversión con poco margen de variación respecto a la alternativa de colectores planos.

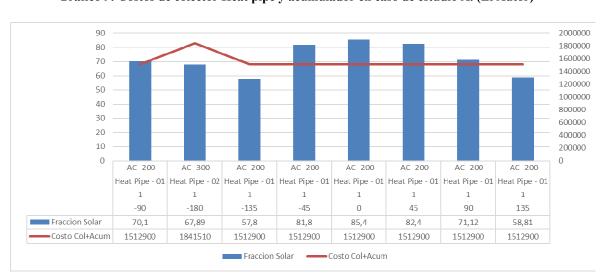


Gráfico 9: Costos de colector Heat pipe y acumulador en caso de estudio A. (El Autor)

Al realizar el análisis en el caso de estudio B, en el Gráfico 10 se observa que los costos correspondientes a instalar los colectores planos son similares para todas las orientaciones, debido a que las características de la cubierta con 27° de inclinación requiere áreas de captación con pocas variaciones entre un ángulo de azimut y otro. Particularmente el costo de los componentes solares (captador y acumulador) de tipo Plano – 1 presenta un costo de 1.260.318 CLP con variación de un 4% al cambiar a tipo Plano – 2, representando una alternativa viable económicamente.

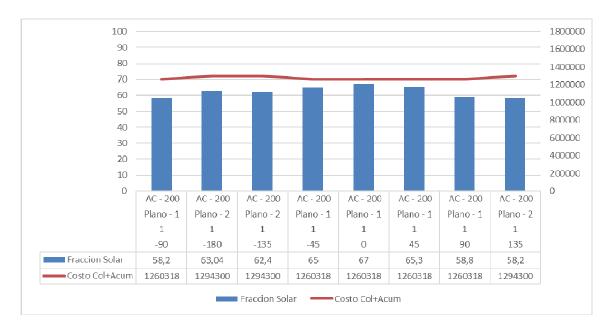


Gráfico 10: Costos de Colector Plano y acumulador en caso de estudio B. (El Autor)

Un comportamiento similar se observa con los costos de colectores de tipo Heat pipe, en el Gráfico 11 se observa que la inversión del costo de los componentes es de 1.512.900 CLP en todos los casos de orientación; a diferencia de los colectores planos, este tipo permite mejorar la fracción solar del sistema en un 15% y 23% en orientaciones 135° y 90° respectivamente, con un incremento de 20% respecto al costo de los colectores planos. Estos valores permiten inferir que a nivel monetario no hay diferencias sustanciales entre instalar uno u otro tipo de componente de acuerdo a las recomendaciones realizadas, la eficiencia del SST a instalar radica en la evaluación de la contribución solar en función de su orientación lo cual incide proporcionalmente en el costo de sus componentes.

Capítulo 5. Comportamiento paramétrico del SST

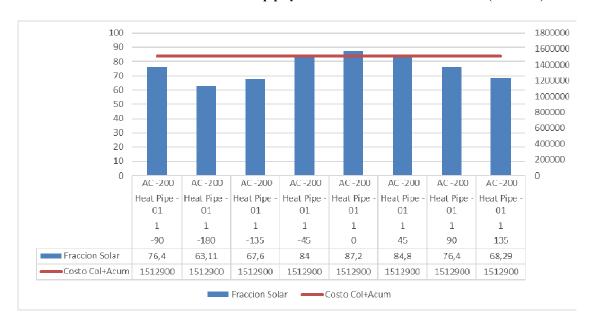


Gráfico 11: Costos de colector Heat pipe y acumulador en caso de estudio B. (El Autor)

## 5.3 Visualización de la Integración del SST

La intención de este apartado es visualizar desde el punto de vista formal de la vivienda (estética) como influye la inserción de colectores solares en su techumbre; para cumplir con este objetivo se realizan imágenes renderizadas donde se puede observar el impacto de estos componentes en su imagen arquitectónica.

Para lograr una calidad en la integración arquitectónica, se toman en cuenta los puntos de vista funcionales, constructivos y formales especificados en el punto 2.3; los cuales permitieron generar las opciones de integración presentadas. Para este resultado se toman en cuenta las dos opciones planteadas para insertar colectores de tipo Planos y Heat pipe, respondiendo a las condiciones particulares de implantación.

Capítulo 5. Comportamiento paramétrico del SST





Figura 24: Integración de colectores planos en caso de estudio A.

Ambos casos estudiados presentas configuraciones de cubierta distintas, lo cual permite visualizar varias alternativas de integración. En el primer caso (Figura 24), la vivienda Tipo A tiene una claraboya en uno de sus faldones, lo cual permite incorporar el colector plano en relación geométrica con ese elemento arquitectónico para generar una sintonía con la composición geométrica de la cubierta; igualmente es un elemento adecuado para sustituir por el colector Tipo Heat Pipe (Figura 25), ya que se le otorgaría al panel solar la función de filtro solar, logrando de esta manera una calidad de integración por la utilización de materialidad y colores acorde al techo de la vivienda.





Figura 25: Integración de colectores Heat pipe en caso de estudio A.

Las evaluar las opciones de integración en la vivienda Tipo B, esta limita su incorporación a los faldones más altos de la vivienda por ser los de mayor potencial solar, que presentan diferentes orientaciones, pero su configuración es igual. Se toman los mismos criterios que en el caso anterior, donde los colectores se insertan como elementos incorporados a la cubierta para lograr

una sinergia entre los componentes del SST y la configuración arquitectónica de la vivienda (Figura 26 y Figura 27).



Figura 26: Integración de colectores planos en caso de estudio B.



Figura 27: Integración de colectores Heat pipe en caso de estudio B.

De este modo, se concluye que ambos tipos de colectores tienen flexibilidad de adaptación a la techumbre de la vivienda bajo los criterios de integración arquitectónica; acoplándose a elementos existentes como claraboyas y añadiendo una nueva función de filtro solar que permite incorporar luz natural en espacios de la vivienda (Tipo Heat pipe). De esta manera se confirma lo expresado por Kaan y Reijenga (2004) donde señalan que es factible de que estos colectores queden dispuestos de forma no notoria o guardando uniformidad material con estrictez, manteniendo los ritmos modulares del edificio sin salir aspectualmente (Kaan & Reijenga, 2004).

Conclusiones

## **Conclusiones**

La investigación realizada obtiene como resultado un método de diseño integrado que permite seleccionar productos solares y adaptarlos automáticamente en el diseño paramétrico de viviendas unifamiliares. Este método contempla la realización de una caracterización de los productos solares y modelación de las familias paramétricas de cada componente, cálculo del potencial de energía solar de la cubierta de la vivienda, evaluación de los componentes solares según demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS), cuantificación e integración del Sistema solar Térmico (SST) en el modelo de la vivienda, trazado de cañerías, presupuesto y visualización final. De esta manera se identifica el tipo y cantidad de componentes a utilizar en el SST en función a su comportamiento energético, lo cual facilita su incorporación en etapas tempranas de diseño de la vivienda.

La caracterización de los componentes solares determinó que el SST de tipo forzado es el mas idóneo para lograr una integración arquitectónica, debido a que permite insertar el colector solar en la cubierta de manera independiente a los demás elementos del sistema. Estos colectores presentan diferentes tipos y dimensiones, los mas utilizados son los colectores planos con un área de captación comprendida entre 2 m² y 2,4 m², al igual que los colectores de tipo Heat pipe que presentan una superficie de captación entre 2,6 m² y 4,6 m²; junto a los acumuladores de ACS de tipo vitrificado con serpentin y capacidades entre 200 lts y 500 lts. Esta información permitió crear la familia paramétrica de cada elemento con la geometría y características tecnológicas necesarias para el cálculo del SST, confiriendo la posibilidad de generar diversas opciones de diseño en función a la demanda de ACS y las características de la vivienda.

De igual manera se determinó que la tipología de viviendas en la ciudad de Concepción presenta variaciones en cuanto al área de construcción y diseño arquitectónico, pero tiene igual programa de espacios: 3 habitaciones, 2 baños, sala de estar, cocina, living – comedor; lo que establece una demanda de ACS igual a 2.234,1 Kwh/año como valor estándar en dichas viviendas. Al seleccionar dos casos de estudio con diferente ángulo de inclinación de la cubierta (40° en un caso y 27° en el otro) y diferente ángulo azimut del colector respecto al norte, se identificó que estos parámetros influyen en la elección del tipo y cantidad de componentes solares a utilizar en el SST, debido a que su relación con las características climáticas de la localidad define el valor de radiación solar

Conclusiones

anual que incide sobre la superficie del colector, definiendo de esta manera el potencial solar de la techumbre.

La programación algorítmica creada en Dynamo en conjunto con Ladybug como simulador mediambiental, vincula las características de los componentes solares en un software de diseño BIM; permitiendo que el proyectista pueda seleccionar la ubicación más favorable del colector solar en función de las necesidades arquitectónicas y ambientales, además de explorar diferentes alternativas de diseño. Se generan oportunidades de personalizar el SST directamente en el edificio sin necesidad de suministrar datos detallados del proyecto, logrando obtener resultados más óptimos para disminuir las posibilidades de sobreproducción de energía térmica, que en algunos casos, puede ser a causa de la incompatibilidad que puede existir entre el área de captación predeterminada de los colectores solares comercializados y las necesidades reales de la vivienda de acuerdo al cálculo de su demanda para ACS.

La validación del método propuesto se realizó a través de un análisis paramétrico que analizó la solución del SST para diversas posibilidades de orientación de las viviendas tomadas como casos de estudio, el cual permitió identificar que los colectores de tipo Planos son los más apropiados para instalaciones solares térmicas en viviendas con las características estudiadas, ya que existe poca diferencia entre el área comercial de los colectores y sus requerimientos específicos de capatación solar; sin embargo, en casos donde la orientación del colector sea opuesta al recorrido solar (orientación Sur, en el caso de Chile) la mejor opción son los colectores tipo Heat pipe, los cuales mejoran los valores de fracción solar del SST entre un 10% y 20% dependiendo de cada caso, incidiendo en igual proporción sobre la inversión económica necesaria para la compra del colector y acumulador principalmente.

Al generar una alternativa de solución para cada caso específico en función a los distintos tipos de componentes que se encuentran en el mercado y que a través del cálculo responden efectivamente a la demanda solicitada, se confirma lo establecido por Zalamea y García (2014) donde concluyen que el faldón colector puede direccionarse en cualquiera de los costados (frente, posterior o lateral) condicionado por inclinación, diseño de techumbre y selección de tecnologías; disminuyendo las restricciones a nivel de urbanismo.

Conclusiones

Esta experiencia muestra que es posible la integración de un SST en el diseño inicial de viviendas con la configuración de los equipos acorde a la inclinación del techo, orientación, trazado de tuberías y accesorios; proporcionando una rápida evaluación del desempeño energético y configuración para incorporar correctamente estos sistemas, con el fin de mantener las características arquitectónicas y reducir el impacto ambiental de la ocupación de los edificios; existiendo la posibilidad de aplicarlos con más productos, diferentes ubicaciones geográficas y diseños de viviendas o edificios con una metodología similar.

La disponibilidad y versatilidad digital de la información técnica permite distribuir conocimiento colectivo para incorporar sistemas renovables en la edificación, logrando una comunicación continua entre los participantes del diseño y mejorando la productividad del trabajo. Ayudando a disminuir la barrera instrumental entre la disciplina arquitectónica, su método proyectual y la consideración de sistemas solares; lo cual corrobora la hipótesis planteada en esta investigación. De igual manera, la formulación del método que demuestra la integración arquitectónica de los sistemas solares activos, pretende impulsar posibilidades de investigación enfocadas al desarrollo de herramientas digitales incorporadas en el diseño BIM, mediante un plugin que permita sistematizar la metodología presentada y aumentar las posibilidades de distribución en los diferentes usuarios del software de diseño proyectos arquitectónicos. en

# **Referencias Bibliográficas**

- Anton, I., & Tanase, D. (2016). Informed Geometries. Parametric Modelling and Energy Analysis in Early Stages of Design. *Energy Procedia*, *85*(November 2015), 9–16. http://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.269
- Bustamante, W., Cepeda, R., Martínez, P., & Santa María, H. (2009). Eficiencia energética en vivienda social: un desafío posible. *Camino Al Bicentenario Propuestas Para Chile*, 253–282.
- Dubois, M.-C., & Horvat, M. (2010). State-of-the-Art of Digital Tools Used by Architects for Solar
   Design. Task 41 Solar Energy and Architecture, 41(1), 122.
   http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.031
- Fallis, A. . (2013a). Manual Práctico del Técnico Solar SST de ACS en Viviendas Unifamiliares.

  Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53).

  http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004
- Fallis, A. . (2013b). Sistemas Solares Térmicos II. Guía de diseño. Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53). http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004
- Fissore, A. (2009). La realidade energética en el sector residencial de la Región del Bío-Bío.
- Gajbert, H. (2008). Solar thermal energy systems for building integration. Licentiate Dissertation, University of Lund, Sweden.
- Garc, R., Rada, S. B., Trebilcock, M., & Wegertseder, P. (2013). Mapa Energético-Solar de Concepción: Cartografía Urbana del Consumo Energético y Captación Solar en Edificaciones Residenciales de Concepción, Chile. Energy-Solar Map of Concepción: urban cartography of energy consumption and solar capture in residential.
- Horvat, M., & Dubois, M. C. (2012). Tools and methods for solar design An overview of IEA SHC Task 41, Subtask B. *Energy Procedia*, 30, 1120–1130. http://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.125
- Horvat, M.; Wall, M. (2012). Solar design of buildings for architects: Review of solar design tools.
- Jerez, J., Cuevas, C., & Fissore, A. (n.d.). Experimental validation of SDHW systems and parametric study on their performance based on dwelling characteristics.
- Kaan, H., & Reijenga, T. (2004). Photovoltaics in an architectural context. *Progress in Photovoltaics:*\*Research and Applications, 12(6), 395–408. http://doi.org/10.1002/pip.554
- Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications. Progress in Energy and

- Combustion Science (Vol. 30). http://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.001
- Lecuona, A., Izquierdo, M., & Rodríguez, P. (2005). Investigación e impacto ambiental de los edificios. la energía, *57*(Figura 1), 47–61. Retrieved from http://digital.csic.es/bitstream/10261/2536/1/impacto.pdf
- Madridsolar. (2006). Guía de la Energía Solar. 26, 7, 66.
- MINVU. (2013). Sistemas solares térmicos. Retrieved from http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb\_cod\_nodo=20070212164420&hdd\_nom\_arc hivo=Manual Sistemas Solares Termicos-2014.pdf.
- Morales, L. A. (2012). Arquitectura paramétrica aplicada en envolventes complejas en base a modelos de experimentación en el diseño arquitectónico. *Revista de Arquitectura E Ingeniería*, *vol. 6, nú,* 11. Retrieved from http://www.redalyc.org/pdf/1939/193926410002.pdf
- Munari Probst, M. C., & Roecker, C. (2013). DESIGNING SOLAR THERMAL SYSTEMS FOR ARCHITECTURAL. Criteria and guidelines for product and system developers.
- 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 (2009).

  Retrieved from http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/02\_Noticias/descargas\_noticias/

  Norma\_Tecnica\_Actualizada.pdf
- Reglamento de la Ley 20.365 (2010).
- Revit, A. (2010). Autodesk Revit Architecture 2010. *Architecture, 1,* About Revit Architecture.

  Retrieved from http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=17801984&siteID=123112&s\_tnt=31959: 0:0
- Salgueiro, I. B., & Ferries, B. (2015). An "environmental BIM" approach for the architectural schematic design stage. *International Journal of Architectural Computing*, *13*(3-4), 299–312.

  Retrieved from http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84957658646&partnerID=tZOtx3y1
- Wall, M., Munari Probst, M. C., Roecker, C., Dubois, M. C., Horvat, M., J??rgensen, O. B., & Kappel,
  K. (2012). Achieving solar energy in architecture IEA SHC Task 41. Energy Procedia, 30,
  1250–1260. http://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.138
- Wall, M., Windeleff, J., & Lien, A. (2008). Solar Energy and Architecture: Annex Plan, (D), 1–16.

Referencias Bibliográficas

- Retrieved from http://task41.iea-shc.org/data/sites/1/publications/task41-Annex.pdf
- Zalamea, E., & García, R. (2014). Roof characteristics for integrated solar collection in dwellings of Real- Estate developments in Concepción , Chile, *13*(3), 36–44.
- Zalamea, E., & García, R. (2014). DISEÑO ARQUITECTÓNICO INTEGRADO DE SISTEMAS SOLARES, 1–25.
- Zarzycki, A. (n.d.). Parametric BIM as a Generative Design Tool ANDRZEJ ZARZYCKI New Jersey Institute of Technology, 752–762.