

## **21. Método para la implementación de sistemas solares activos en establecimientos hospitalarios, estudio de caso en el Hospital Clínico del Sur, Concepción, Chile.**

**Nope Bernal, Alberto** <sup>(1, \*)</sup>, **García Alvarado, Rodrigo** <sup>(2)</sup> **Bobadilla Moreno, Ariel** <sup>(3)</sup>

(\*)Universidad del Bío-Bío, albertonope@gmail.com +56988035403

(1) Universidad del Bío-Bío, rgarcia@ubiobio.cl

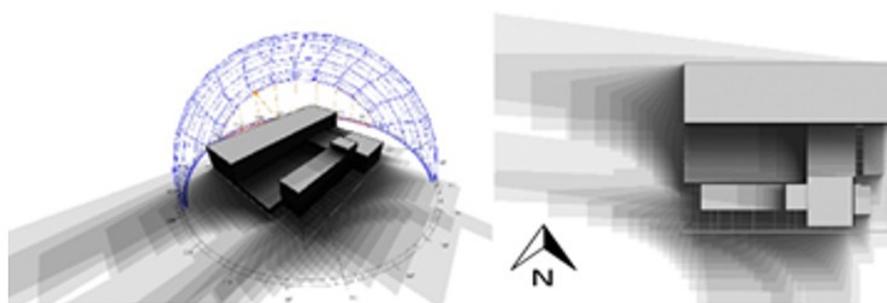
(2) Universidad del Bío-Bío, abobadil@ubiobio.cl

**Resumen** Los establecimientos hospitalarios constituyen morfologías complejas con altos requerimientos energéticos, por lo tanto, la generación energética solar integrada en este tipo de edificios puede ser un aporte relevante para su funcionamiento, pero su adecuada implementación requiere relacionar volumetría, demandas y tecnologías. Los métodos empleados hoy en día para determinar instalaciones solares en edificios usualmente no involucran aspectos arquitectónicos, energéticos y económicos en un solo proceso, lo cual reduce las posibilidades de que el proyectista o consultor aborden la implementación de forma eficaz, tanto en edificios existentes, como en etapas tempranas de nuevos proyectos. Este trabajo revisa procedimientos actualmente sugeridos para instalar equipos solares, identificando tareas adicionales, para plantear una metodología integral experimentada en el pabellón de hospitalización del Hospital Clínico del Sur, Concepción, Chile. Este proceso permitió detectar potencialidades de la envolvente, y evaluar tres distribuciones combinadas de equipos térmicos y fotovoltaicos en cubierta; determinando una alternativa con una cantidad de 131 paneles térmicos y 196 paneles fotovoltaicos que puede satisfacer hasta un 70% del suministro de agua caliente sanitaria y un 91% de la iluminación, recuperando la inversión inicial en 7,8 años. Lo que permite determinar un análisis más completo de la implementación solar, incorporando una evaluación del desempeño energético, superficies captadoras, factibilidad técnica y evaluación económica que pueden aportar sustancialmente en las necesidades funcionales, y sugerir volumetrías y sistemas en nuevos edificios hospitalarios con mayores posibilidades solares activas.

**Palabras clave:** Establecimientos Hospitalarios, Morfologías complejas, Energía Solar, Diseño Integrado.

## 1 Introducción

El diseño en un establecimiento hospitalario se fundamenta usualmente en el programa de necesidades según el número de personas que deberán ser atendidas, servicios y flujos de operación del personal, pacientes y visitantes (Cisneros 1999). Involucrando conceptos constructivos, operativos y premisas que buscan garantizar el funcionamiento de atención del usuario y actividades internas, con un proceso de diseño que se inicia desde la diagramación generatriz, hasta la definición detallada de áreas como la clínica, apoyo técnico, administración y servicios generales entre otras (Horacio and González 2006), usualmente en distintas etapas. Localizados en emplazamientos urbanos céntricos que generan morfologías complejas caracterizadas por la variabilidad de alturas, produciendo alto sombreado anual, que debilitan la captación solar activa o pasiva (Fig. 1).



**Fig 1** Máximo sombreado anual en el Hospital Clínico del Sur. Elaboración propia

En Chile los establecimientos de la salud, representan aproximadamente el 15% del consumo energético total del sector público, lo que implica alrededor de 240 GWh año (Walter Löhr, Karin Gauer, Nelson Serrano 2014). Este tipo de establecimientos generan altas demandas energéticas debido a su funcionamiento continuado y edificación concentradas, muchas veces sin características constructivas o instalaciones eficientes, por lo que se han recomendado diversas acciones de mejoramiento pasivo (Arquiambiente Alguasol 2010), pero sin abordar capacidades específicas para generación solar activa.

Investigaciones de potencial solar activo integrado en las edificaciones en Chile, plantean una alta capacidad en localizaciones centrales, lo cual permitiría establecer un balance entre la energía consumida y la energía generada (Wegertseder 2016). Los estudios para la instalación de tecnologías térmicas y/o fotovoltaicas en edificios abordan usualmente solo aspectos técnicos de manera acotada, omitiendo las condiciones de la volumetría, los servicios y el análisis económico que permita mediante la comparación de distintas alternativas identificar costos iniciales y valor residual, que aporten sustancialmente al establecimiento.

El objetivo de este trabajo es revisar los métodos existentes, abstrayendo atributos importantes y planteando acciones faltantes, para formular una metodología integral que permita la implementación de tecnologías solares. Proveyendo una estrategia eficaz para arquitectos y/ consultores en establecimientos de salud existentes o en aquellos que se encuentren en etapas tempranas de diseño.

## 2 Métodos existentes

Método, se define como el modo ordenado y sistemático de proceder para llegar a un resultado. Para este caso, se exploró desde la mirada de un arquitecto y/o

consultor, las recomendaciones técnicas, energéticas y arquitectónicas descritas en distintas fuentes destinadas a implementar tecnologías térmicas o fotovoltaicas en la edificación.

Se realizó un análisis de procedimientos indicados en guías y manuales emitidos por instituciones públicas y profesionales (Tabla 1), como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile (Minvu 2014), la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT 2013), la Cámara Chilena de la Construcción (CDT - CChC 2007), la Consejería Nacional de Energía de España (CNE 2013) y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid de España (DGIEM, Dirección General de Industri 2010), para identificar de cada uno de estos, los análisis técnicos, energéticos, arquitectónicos y económicos planteados, y proponer consideraciones faltantes.

Por otro lado, también se revisaron herramientas digitales surgidas para la implementación de sistemas de energía solar en edificios (Tabla 2), integradas en reconocidos softwares de diseño de Autodesk y Graphisoft entre otras. Las cuales consideran variables de implementación, permitiendo evaluar superficies, pero en la mayoría de los casos no vinculan tipos de tecnologías, datos de los equipos, aporte a la demanda, factibilidad técnica arquitectónica y retorno de la inversión, lo que es una limitación para el medio local, debido a su alcance internacional.

Todos estos recursos se caracterizan por involucrar de forma independiente un análisis técnico y/o energético, dotando de fórmulas de cálculo entre equipos, pero carecen de una revisión vinculada de aspectos volumétricos y proyecciones en los servicios para asegurar una eficaz implementación.

**Tabla 1** Acciones identificadas en guías y manuales. Elaboración propia

	Método				
	DGIEM (2010)	MINVU, (2014)	CNE, (2013)	CDT (2013)	CChC (2007)
Integración con la arquitectura	x				x
Adaptados a la arquitectura	x	x	x	x	x
Sombreamiento	x	x	x	x	x
Instalación	x	x	x	x	x
Modulación	x		x	x	x
Estructura de soporte	x	x	x	x	x
Lugar de instalación	x	x	x	x	x
Accesorios y Complementos		x	x	x	x
Rendimiento	x	x	x	x	x
Dimensionamiento	x	x	x	x	x
inversión y valor residual			x		
Evaluación del potencial solar					
Simulación de la demanda					
cuantificación del consumo			x		x
mantenimiento	x	x	x	x	x
Especificaciones técnicas		x	x	x	x
Base meteorológica		x	x	x	x
Casos de estudio		x	x		x

**Tabla 2** Herramientas digitales y atributos identificados. Elaboración propia

Herramientas digitales para la implementación de energía solar

	Autodesk Ecotect	Autodesk Revit	Graphisoft Archicat	Autodesk Vasari	Valentin T-Sol Pro 5.0
Elaboración de modelo conceptual	x	x	x	x	
Estudio solar año, mes día, hora	x	x	x	x	
Cálculo de la radiación solar, considerando ubicación.	x	x	x	x	x
Estimación de la energía producida		x		x	
demanda energética para agua cal. sanitaria	x	x	x	x	x
demanda energética para electricidad	x	x	x	x	x
demanda energética para calefacción	x	x	x	x	x
Estimación económica					x
Diseño de la instalación					x
Cuantificación de tecnologías					x
Proyección de sombras	x	x	x	x	

Para proyectos nuevos y existentes se reconocieron en general actividades (figura2) como la cuantificación del consumo (1), evaluación y selección de las tecnologías (4), y el cálculo de la capacidad de suministro (5).



**Fig 2** Acciones identificadas para determinar la implementación de paneles solares en edificios. Elaboración propia

Sin embargo estos cálculos no parecen suficientes para determinar cabalmente los aportes de sistemas solares en una edificación. Se pueden plantear algunas actividades para complementar estos estudios (figura 3) como la simulación de la demanda energética (proyectos nuevos o existentes) (2), la evaluación del potencial solar de la envolvente (3), la evaluación de la factibilidad técnica arquitectónica (6), y la evaluación económica de las distintas alternativas de inversión (7), permitiendo proponer una revisión más general de las posibilidades para una instalación eficaz.



**Fig 3** Acciones sugeridas para complementar la implementación de paneles solares en edificios. Elaboración propia

### 3 Caso de estudio

El Hospital Clínico del Sur, se encuentra en el centro de la ciudad de Concepción Chile, la cual está localizada en la latitud Sur -36,81 y la longitud -73,05. Localizada en un clima templado marítimo con una influencia mediterránea, con temperatura en verano entre los 11 y 22°C y en invierno entre los 6 y 13 °C. La radiación acumulada promedio anual es de 1.629 kWh sobre superficie plana (DTI 2012).

Se realizó un catastro de los servicios de la salud presentes en la comuna central del área metropolitana de Concepción Chile, identificando establecimientos hospitalarios y evaluando sus características morfológicas y de emplazamiento que inciden en las posibilidades de captación solar. Luego, se seleccionó un caso ilustrativo con mayor incidencia de sombra, para experimentar la metodología

propuesta y evaluar una implementación integrada, y de esta forma sugerir estrategias de diseño que permitieran optimizar el área de captación en techumbres y fachadas, posibilitando mayores aportes.

La Figura 4 muestra la ubicación de los servicios de la salud presentes en la comuna de Concepción Chile, obteniendo en la Tabla 3 una estimación del número de servicios por tipos, superficie de cubierta útil, superficie construida, consumos, área de techo útil y potencial solar inicial, calculada según el área de cubierta general y la radiación anual recibida.



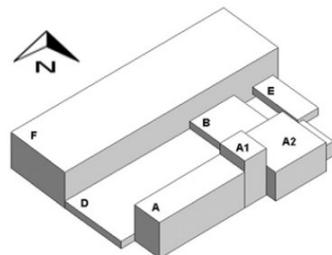
**Fig 4** En rojo los servicios de la salud presentes en la comuna de Concepción, Chile. En azul el Hospital Clínico del sur caso de estudio. Extraído de (Nope 2015)

**Tabla 3** Estimación del consumo y generación energética potencial para distintos establecimientos de salud presentes en la comuna de Concepción Chile. Extraído de (Nope 2015)

Destino	Tipo de establecimiento	M2 Cubierta	M2 Superficie construida	Consumo KWh/año	Área útil en techo	Potencial de energía KWh/año
Salud	Hospitales	27,174	93,351	56,980	10,870	16,370
	Clínicas	14,817	32,176	19,852	20,032	8,926
	Consultorios	50,080	140,307	86,569	20,032	30,168
Total		92,071	265,834	163,402	50,934	55,464

El Hospital Clínico del Sur (Figura 5), es uno de los centros de salud más importantes de la Región del Bío Bío. Cuenta con 117 camas y 7 pabellones quirúrgicos de la más alta tecnología; con una infraestructura de primer nivel, incluyendo un nuevo servicio de urgencia, con 8 boxes de atención, sala de observación, box de reanimación y box de procedimientos y de yeso. También cuenta con UCI y UTI las cuales han sido remodeladas, contando actualmente con 16 camas de paciente crítico y 4 camas de UTI neonatología.

Este establecimiento se emplaza en un terreno de 9.794 m<sup>2</sup>, con una superficie total de construcción de 11.300 m<sup>2</sup>, en un edificio principal y otro secundario. El edificio principal está constituido por los volúmenes A-A1-A2-B (figura 5) que hacen parte de la unidad de hospitalización, pabellones quirúrgicos y maternidad. Mientras que el secundario D-C-E está destinado principalmente, para funciones administrativas propias de la institución, servicio de urgencia, box de atención, sala de observación, box de reanimación y box de procedimientos.



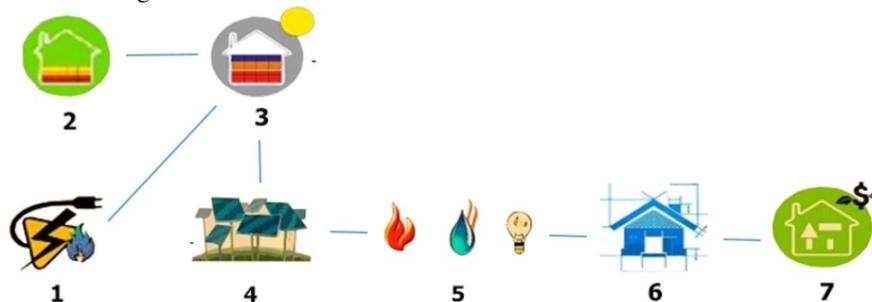
**Fig 5** Hospital Clínico del sur Concepción Chile. Extraído de Extarido de (Revista nos 2010)  
(Nope 2015)

Como un ejemplo de alto consumo concentrado se tomó la unidad de hospitalización (volumen A-A1) la cual contempla un total 3.000 m<sup>2</sup> de construcción, albergando 58 habitaciones con 117 camas, en un pabellón rectangular orientado al nor oeste, el cual presenta 20 metros de altura, 14.80 metros de ancho y 56.22 metros de largo, con una superficie total en cubierta de 1.385 m<sup>2</sup>. Los principales consumos energéticos de esta unidad son agua caliente sanitaria, electricidad y calefacción. Para efectos de análisis y aplicación del método se decidió trabajar con requerimientos de agua caliente sanitaria e iluminación, puesto que las bajas condiciones de hermeticidad al paso del aire y transmitancia térmica de la envolvente no garantizan la conservación adecuada de la calefacción en los recintos de la unidad de hospitalización, y pueden ser reducidas con mejoramientos de envolvente o equipamiento.

#### 4 Método propuesto

Reconociendo los atributos detectados y sugeridos en los métodos y herramientas revisadas se formuló un proceso que permitiera a arquitectos y/o consultores energéticos implementar de forma integrada tecnologías solares en la arquitectura de establecimientos hospitalarios nuevos o existentes. Considerando 7 atributos metodológicos (figura 6) que involucran condiciones técnicas, arquitectónicas y económicas.

Para edificaciones existentes el método deberá ser desarrollado a partir del atributo 1 seguido del tres 3- 4 – 5- 6 y 7, y ejecutando el atributo 2 como comparación entre consumos y demandas de energía. Para proyectos que se encuentren en etapas tempranas de diseño el método se desarrollará a partir del atributo 2 seguido del 3 – 4 – 5- 6 – 7.



**Fig 6** Pasos considerados en la formulación del método integral. Elaboración propia

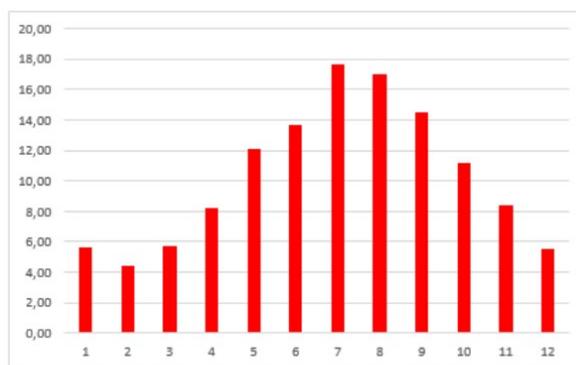
1. Cuantificación del consumo de gas y electricidad
2. Simulación de la demanda energética para agua caliente ACS, Calefacción e iluminación
3. Evaluación del potencial solar de las distintas superficies que componen la envolvente del edificio
4. Evaluación y selección de las tecnologías a implementar
5. Cálculo de la capacidad de suministro
6. Evaluación de la factibilidad constructiva-arquitectónica
7. Evaluación económica de las distintas alternativas de inversión

## 5. Aplicación del método al caso de estudio

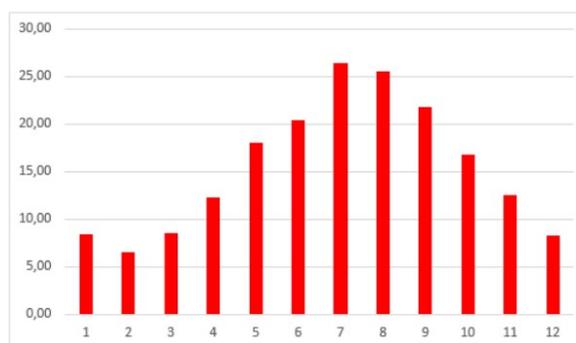
### 5.1 Cuantificación del consumo de gas y electricidad

Para establecimientos existentes, este análisis consiste en la revisión de los consumos energéticos anuales y mensuales generados por el establecimiento, que comúnmente obedecen a consumos de gas y electricidad, calculados en m<sup>3</sup> y kWh respectivamente.

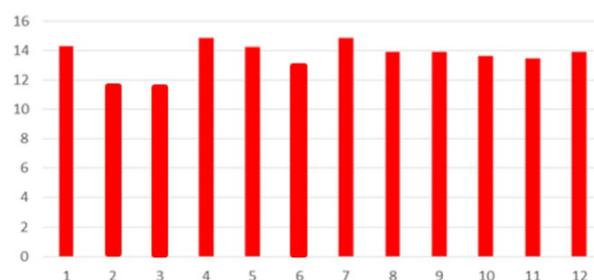
En este caso, con la información de gastos suministrada por la entidad hospitalaria, se cuantificó el consumo anual de gas y electricidad destinada para suplir las necesidades de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción e iluminación de los 11.300 m<sup>2</sup>. De esta forma se observó que para el año 2013, los consumos totales de gas estuvieron sobre los 322.849 m<sup>3</sup>, equivalentes cerca de 3.489.999 kWh; y los consumos de electricidad para el mismo año fueron de 1.844.100 kWh, lo anterior equivale a un costo anual aproximado de USD 457.852.080, lo cual representa en términos ambientales y financieros un gasto relevante que podría reducirse implementando tecnologías alternativas. La unidad de hospitalización, cuenta con un área construida de 3.000 m<sup>2</sup> distribuidos en 4 niveles. Los consumos de energía (Grafico 1, 2 y 3) destinados para agua caliente sanitaria (ACS) para el 2013 fueron de 123,780 kWh /m<sup>2</sup> (371.3 35kWh), para calefacción de 185,670 kWh /m<sup>2</sup> (557.003 kWh) e iluminación de 139,370 kWh /m<sup>2</sup> (489.420 kWh).



**Grafico 1** Consumo mensual de gas en kWh /m<sup>2</sup> para ACS Unidad de Hospitalización. Elaboración propia



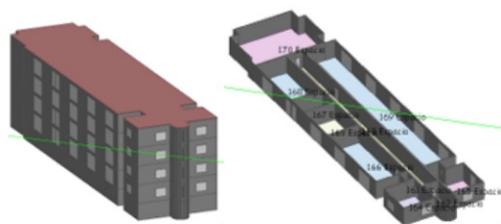
**Grafico 2** Consumo mensual de gas en kWh /m<sup>2</sup> para calefacción Unidad de Hospitalización. Elaboración propia



**Grafico 3** Consumo eléctrico mensual en kWh/m2 para Iluminación Unidad de Hospitalización. Elaboración propia

## 5.2 Simulación de la demanda energética.

Se formuló como herramienta para determinar la demanda energética según condiciones generales de agua caliente sanitaria (ACS), calefacción e iluminación en etapas tempranas de diseño. Para este caso se utilizó como medida de comparación frente a consumos energéticos del caso evaluado, identificando los porcentajes que sobrepasan un consumo aceptable. Para evaluar la demanda energética de agua caliente sanitaria ACS, Calefacción e iluminación del pabellón de hospitalización del Hospital Clínico del Sur, se utilizó el software Design Builder desarrollando un modelo tridimensional (Fig. 7), conformado por 44 zonas térmicas a las cuales se les asignaron propiedades de ocupación, sistemas de clima, cargas latentes, sensibles y materialidad de la envolvente según estado actual.



**Fig 7** Modelo de simulación energética Unidad de Hospitalización Hospital Clínico del sur Concepción Chile. Elaboración propia

La simulación energética permitió identificar que para el caso del agua caliente sanitaria el consumo de sobrepasa la demanda en un 20%, para calefacción un 41% y para iluminación un 39%.

**Tabla 4** Demanda de energía para Iluminación, Calefacción y agua caliente sanitaria Unidad de Hospitalización. Elaboración propia

Mes	Iluminación kWh/m2	Calefacción (Gas) kWh/m2	Agua caliente sanitaria (Gas) kWh/m2
Enero	20.291,38	1.766,59	8.475,92
Febrero	17.644,67	2.150,49	7.655,67
Marzo	18.526,91	4.097,27	8.475,92
Abril	19.409,14	8.066,68	8.202,51
Mayo	20.291,38	16.781,80	8.475,92
Junio	17.644,67	21.493,73	8.202,51
Julio	20.291,38	24.019,70	8.475,92

Agosto	19.409,14	19.847,23	8.475,92
Septiembre	18.526,91	15.249,69	8.202,51
Octubre	20.291,38	10.220,57	8.475,92
Noviembre	18.526,91	5.327,98	8.202,51
Diciembre	19.409,14	2.561,56	8.475,92
Total	230.263,01	131.583,29	99.797,15

### 5.3 Evaluación del potencial solar de las distintas superficies que componen la envolvente del edificio

Para la evaluación del potencial solar presente en las distintas superficies que conforman la envolvente de la unidad de Hospitalización del Hospital Clínico del Sur, se utilizó el software VASARI de Autodesk, el cual se desarrolla con base a la construcción de masas conceptuales que compartían las mismas características morfológicas del caso de estudio seleccionado (Fig. 8). Este programa considera una data meteorológica tipo TMY2 la cual se basa en promedios de datos recopilados en periodos de 30 años (a menudo en aeropuertos) para este caso correspondió a la 8682290 del aeropuerto Carriel Sur de Concepción. El tipo de evaluación es de carácter acumulativo considerando valores en kWh /m<sup>2</sup> año en superficies de cubierta y fachada considerando la relación volumétrica entre la unidad de hospitalización y el resto del conjunto hospitalario, proyectando sombreado en cubiertas y fachadas.



**Fig 8** Evlucación del potencial solar Unidad de Hospitalización Hospital Clínico del sur Concepción Chile. Elaboración propia

El mayor potencial solar se encuentra en cubierta comprendiendo 1.124,170 kWh /m<sup>2</sup>año. Considerando un total de área útil de 1.385 m<sup>2</sup> el total de energía solar es de 1.556.975 kWh /año.

**Tabla 5** Potencial de radiación solar para cubiertas y fachadas de la Unidad de Hospitalización. Elaboración propia

Fachada	Superficies	M2	Kwhm2/año	Total
<b>Cubierta</b>	1	1.385,00	1.124,17	1.556.975,45
<b>Fachada Nor-Oriental:</b>	1	70	513,33	35.932,86
	2	44	472,67	20.797,32
	3	44	490,94	21.601,56
	4	44	488,33	21.486,54
	5	44	489,72	21.547,74
	6	44	487,80	21.463,00
	7	77	508,81	39.178,41
	8	44	496,81	21.859,52
<b>Fachada sur Oriental</b>	1	84	184,9762	15.538,00
	3	28	102,1924	2.861,39
	4	84	144,9473	12.175,58
<b>Fachada sur occidental</b>	1	28	194,379	5.442,61
	2	28	230,936	6.466,22
	3	28	194,039	5.433,09

4	28	214,777	6.013,75
5	28	214,777	6.013,75
6	28	222,989	6.243,68
7	28	219,862	6.156,13
8	28	215,252	6.027,06
9	84	149,171	12.530,40

### 5.4 Evaluación y selección de las tecnologías a implementar

Esta actividad abordó la revisión de 15 paneles térmicos (placa plana y tubos al vacío) y 15 fotovoltaicos (Monocristalinos y policristalinos) presentes en el mercado, considerando para su selección aspectos como: disponibilidad local, la potencia instalada, la capacidad térmica, dimensiones, peso por unidad, eficiencia, costo unitario, integración a la arquitectura, sistemas de conexión, vida útil, energía generada y finalmente la prioridad de la demanda a satisfacer. Se seleccionaron tres paneles térmicos y tres fotovoltaicos, con el fin de proponer por lo menos tres alternativas de instalación combinando dichas tecnologías (Tabla 6).

**Tabla 6** Selección de tecnologías termicas y fotovoltaicas Alternativa 1,2 y 3 de instalación.  
Elaboración propia

Alternativa 1				
Tecnología	Valor unitario todo costo	Energía generada Kwh producido	Peso/unidad	Vida útil
Solar Térmica (tubos al vacío) Ref: colector Solar TB	USD 6.054,959	9.172 Kcal día	114 kg	25 años
Solar Fotovoltaico (policristalino) Ref Solarmodule Kyocera KD19GH-4FU –Artikel Nr 0101544	USD 2.646,000	1 Kwp (1.500 Kwh/año)	16kg	25 años
Alternativa 2				
Solar Térmica (Placa plana) Ref: colector Solar CU	UDS 2.776,139	6.646 Kcal día	37,2 kg	25 años
Solar Fotovoltaico (Mono cristalino) Ref Panel solar monocristalino 300 watts	USD 1.814,965	1 Kwp (1.500 Kwh/año)	14.5 kg	25 años
Alternativa 3				
Solar Térmica (Placa plana) Ref: C-CORE 88	USD 2.296,316	6.646 Kcal día	38 kg	25 años
Solar Fotovoltaico (Policristalino) Ref Sistema aislado (off Grid) Kit OFF – GRID 0,1 Kwp	USD 2.352,000	1 Kwp (1.500 Kwh/año)	16 kg	25 años

### 5.5 Calculo de la capacidad de suministro

La estimación del suministro final con paneles solares térmicos y fotovoltaicos para cada una de las alternativas de instalación, se realizó mediante planillas de cálculo, que mediante la incorporación de datos técnicos cuantificaron la capacidad de suministro para agua caliente sanitaria e iluminación.

Para determinar la capacidad de suministro de agua caliente sanitaria con ayuda de paneles térmicos se consideraron datos como: rendimiento del colector, temperatura de entrada y salida del agua al colector, temperatura ambiente para cada mes, superficie en m<sup>2</sup> de cada colector, número de colectores, capacidad en lt/m<sup>2</sup> del estanque de acumulación, datos de radiación en kWh /m<sup>2</sup> día, kWh /m<sup>2</sup>, kWh /mes para la ciudad de emplazamiento. Para el cálculo de la capacidad de suministro de iluminación por medio de paneles fotovoltaicos los datos ingresados fueron: potencia del panel (w), número de paneles, superficie en m<sup>2</sup> del panel, radiación superficie inclinada (kWh /m<sup>2</sup>día) y horas de sol al día para Concepción. Los resultados obtenidos se consignan en las tablas 7 y 8.

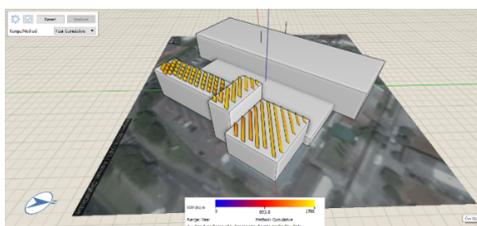
**Tabla 7** Cálculo de la capacidad de suministro para agua caliente sanitaria ACS e iluminación Alternativa 1, 2 y 3 de instalación. Elaboración propia

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Panel Térmico	Solar Térmica (tubos al vacío) Ref: colector Solar TB	Solar Térmica (Placa plana) Ref: colector Solar CU	Solar Térmica (Placa plana) Ref: C-CORE 88
Superficie del panel	5,53	2,43	2
Número de paneles	58	127	131
Superficie total de la instalación	310,3	308,33	262
% de ocupación en cubierta	33%	36%	37%
Consumo de ACS KWh/año	916,11	916,11	916,11
% que suple KWh/año	70%	70%	70%
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Panel Fotovoltaico	Solar Fotovoltaico (polycristalino) Ref Solarmodule Kyocera KD19GH-4FU –Artikel Nr 0101544	Solar Fotovoltaico (Mono cristalino) Ref Panel solar monocristalino 300 watts	Solar Fotovoltaico (Polycristalino) Ref Sistema aislado (off Grid) Kit OFF – GRID 0,1 Kwp
Superficie del panel	1,2	1,26	1,31
Número de paneles	126	166	196
Superficie total de la instalación	151,2	209,16	256,76
Rendimiento	14%	16%	10%
% de ocupación en cubierta	58%	36%	37%
% que suple KWh/año	58%	79%	91%

### 5.6 Evaluación de la factibilidad constructiva-arquitectónica

La factibilidad técnica de las alternativas 1, 2 y 3, (Fig. 9) se realizó utilizando el programa RAM Elements, simulando la capacidad de carga de la estructura de techumbre del edificio evaluado, considerando cargas vivas, peso propio y presiones de viento; obteniendo como resultado el peso en kg por m<sup>2</sup> admisible para dicha estructura y estableciendo el tipo de reforzamiento estructural si lo requería para cada alternativa de instalación.

Tanto para el caso térmico como para el fotovoltaico los acumuladores de agua e inversores de energía se ubicaron en cuartos destinados para este fin en cada uno de los niveles del edificio reduciendo el peso en cubierta.



**Fig 9** Emplazamiento de paneles térmicos y fotovoltaicos en cubiertas A-A1-A2 Unidad de Hospitalización Hospital Clínico del sur Concepción Chile. Elaboración propia

El análisis realizado a la estructura compuesta por cerchas y costaneras (Fig. 10) consideró cargas vivas, presión de viento, cargas de sismo, peso en kg/m<sup>2</sup> de tecnologías y peso propio de la estructura, obteniendo para las alternativas 1,2 y 3 los siguientes resultados.

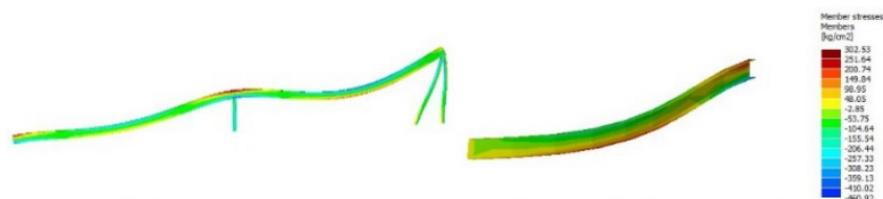


Fig 10 Tensión en cercha y costanera Kg/cm2. Elaboración propia

Para Cerchas:

Exigidas a un 46% de su capacidad de asumir esfuerzos, con una carga por m2 de 7 kg considerando área aferente de 3,5 metros.

Deformación:  $L/1129 < L/700$

Para Correas:

Exigidas a un 62% de su capacidad de asumir esfuerzos con una carga por m2 de 7 kg considerando área aferente de 3,5 metros.

Deformación:  $L/1436 < L/700$ .

De los resultados obtenidos se concluye que no es necesario reforzar la estructura. La factibilidad arquitectónica depende del concepto bajo el cual se pretenda instalar la tecnología. Esto puede ser de una forma integrada y/o adaptada considerando la disposición más adecuada dentro del conjunto hospitalario en relación a las alturas de cada edificio, áreas de sombreado y áreas de potencial solar. Variando parámetros de las tecnologías como la altura, la densidad y la orientación, con el fin de poder establecer qué superficies a nivel de conjunto presentan mayor y menor potencial para implementar sistemas de energía solar en cubierta y menos impacto en cuanto a la imagen arquitectónica. Para este caso, el conjunto arquitectónico ofreció altas posibilidades de implementar sistemas de energía solar preferiblemente en cubierta (Fig. 11), ya que la mayor área útil sin obstrucción está presente sobre estas superficies. Caso contrario sucede con las fachadas que debido a una configuración de balcones y morfología propia del edificio presenta mayores áreas de sombra reduciendo el área aprovechable y, por lo tanto, la eficiencia de cualquier sistema de energía solar.



Fig 11 Imagen de la implementación adaptada sobre cubierta de tecnologías termicas y fotovoltaicas Alternativa 3. Elaboración propia

### 5.7 Evaluación económica de las distintas alternativas de inversión

Para determinar la instalación más rentable se realizó un análisis económico utilizando el formato de análisis desarrollado por SMART SPP (ICLEI and Europea 2009), el cual consideró datos como: tasa de descuento nominal, costes del final de vida útil o de eliminación, tasa de inflación, costes ciclo de vida (CCV), horizonte temporal de planificación, valor remanente, y costes periódicos durante un tiempo de 25 años. Esta evaluación permitió identificar los costos asociados a cada alternativa y el tiempo de retorno de la inversión inicial de cada una (Tabla 9)

Tabla 8 Evaluación de inversión y valor residual para Alternativa 1,2 y 3 de instalación. Elaboración propia

**Alternativas de inversión**

	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<b>Número de paneles térmicos implementados</b>	58	127	131
<b>Número de paneles Fotovoltaicos implementados</b>	126	166	196
<b>% de ocupación en cubierta</b>	33	32	33
<b>% de demanda cubierta (ACS-CALEFACCIÓN)</b>	70	70	70
<b>% de demanda cubierta (ILUMINACIÓN)</b>	58	79	91
<b>Costo inversión inicial CH\$</b>	\$326.434.138,00	\$324.331.434,00	\$281.489.151,00
<b>Costo inversión inicial USD</b>	USD 528.638,28	USD 525.233,09	USD 455.852,88
<b>Ahorro anual CH\$</b>	\$30.826.073,00	\$34.186.501,00	\$36.236.460,00
<b>Ahorro anual USD</b>	USD 49.920,77	USD 55.362,75	USD 58.682,53
<b>Recuperación de la inversión en años</b>	10,6	9,5	7,8

### **5.7 Revisión del Método**

La aplicación de esta secuencia de actividades a un edificio hospitalario con características morfológicas y energéticas concentradas, permitió determinar una instalación de tecnologías térmicas y fotovoltaicas en cubierta, que obtiene, en el mejor de los casos, un aporte a los consumos de agua caliente sanitaria e iluminación de un 70 y 91% respectivamente, retornando la inversión inicial en un tiempo de 7,8 años. Mientras los procedimientos revisados, con actividades parciales, generalmente sugieren instalaciones más limitadas y aportes más reducidos, o desconocen sus implicancias y posibilidades generales. Planteando de este modo, una estrategia integral y eficaz para determinar equipamientos solares, en etapas tempranas de diseño y habilitaciones de edificios existentes. El método descrito, puede ser utilizado también para edificios con otro tipo de servicios, que independientemente del consumo y demanda energética, presenten características morfológicas y de emplazamiento similar.

### **6 Conclusiones**

El análisis de distintos métodos, indicados en guías, manuales y herramientas digitales, para la implementación de tecnologías solares en edificios, evidenció la carencia de aspectos arquitectónicos y funcionales integrales. Se planteó un método considerando tres aspectos técnicos; la cuantificación del consumo, cálculo de la capacidad de suministro, evaluación y selección de las tecnologías a implementar. Agregando cuatro acciones adicionales; simulación de la demanda energética para agua caliente sanitaria, calefacción e iluminación, evaluación del potencial solar de las distintas superficies que componen la envolvente del edificio, evaluación de la factibilidad constructiva – arquitectónica y la evaluación económica de las distintas alternativas de intervención.

El desarrollo de una estrategia que involucrara aspectos técnicos, arquitectónicos y económicos, experimentados en un caso de alto consumo y gran predominancia de sombra incidente en su envolvente (el pabellón de hospitalización del Hospital Clínico del Sur), permitió revisar la combinación de distintas tecnologías térmicas y fotovoltaicas en tres alternativas de instalación, identificando la opción más conveniente para la unidad estudiada. Lo que sugiere que el método planteado puede utilizarse en etapas tempranas de diseño de proyectos o habilitaciones de edificios sanitarios, para mejorar su desempeño ambiental y mitigar sus consumos energéticos, con una mayor adecuación a la demanda e integración arquitectónica.

## 7 Bibliografía

- Arquiambiente Alguasol. 2010. *Guía de Eficiencia Energética Para Establecimientos de Salud*. ed. Agencia Chilena de eficiencia energética AChEE. Santiago de Chile.
- CDT, Coporación de desarrollo tecnológico - Cámara Chilena de la construcción. 2013. "Diseño Y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos Conectados a Red." In ed. Coporación de Desarrollo Tecnológico.
- CDT - CChC, Coporación de desarrollo tecnológico. 2007. *Sistemas Solares Térmicos, Manual de Diseño Para El Calentamiento de Agua*. ed. Coporación de Desarrollo Tecnológico.
- Cisneros, Alfredo Plazola. 1999. *Enciclopedia de Arquitectura Plazola V6 Hospitales*. ed. Arquifutura.
- CNE, Consejo Nacional de Energía. 2013. *Instalación de Sistemas Solares Sobre Techos*. ed. Consejo Nacional de Energía.
- DGIEM, Dirección General de Industri, Energía y Minas de la Consejería y Hacienda y la Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. 2010. *Guía de Integración Solar Fotovoltaica*. ed. Fundación de la energía de la comunidad de Madrid FENERCOM.
- DTI, Universidad de Concepción. 2012. "Datos de Clima Para Concepción (Carriel Sur), Chile." <http://www.udec.cl/postgrado/?q=node/17>.
- Horacio, Miguel, and García González. 2006. "Propuesta Arquitectónica Hospital General de Enfermedades Del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social ." Universidad de San Carlos de Guatemala.
- ICLEI, Gobiernos Locales por la Sustentabilidad, and Secretaría Europea. 2009. "SMART SPP." <http://www.smart-spp.eu/index.php?id=6992>.
- Minvu, Ministerio de Vivienda y Urbanismo de Chile. 2014. *Manual de Sistemas Solares Térmicos*. ed. Ministerio de vivienda y Urbanismo.
- Nope, Alberto. 2015. "Método Para La Integración Arquitectónica de Energía Solar En Establecimientos de Salud." Universidad del Bío Bío.
- Revista nos. 2010. "Hospital Clínico Del Sur Duplicó Su Capacidad En Servicio de." *Revista nos*. <http://www.revistanos.cl/2010/11/hospital-clinico-del-sur-duplico-su-capacidad-en-servicio-de-urgencia/>.
- Walter Löhr, Karin Gauer, Nelson Serrano, Alicia Zamorano. 2014. *Igarss 2014 Eficiencia Energética En Hospitales Públicos*. ed. GTZ - Dalkia. Santiago de Chile.
- Wegertseder, Paulina. 2016. *Potencial Solar En La Arquitectura Y La Ciudad*. ed. Universidad del Bío Bío.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con apoyo del proyecto CON\*FIN Conicyt-AKA ERNC-007: Evaluación del Potencial Solar en Áreas Urbana.