



UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA
PARA LA INSTALACION DE PANELES SOLARES
TÉRMICOS PARA AGUA CALIENTE SANITARIA EN UN
EDIFICIO DE LA ARMADA DE CHILE EN
TALCAHUANO**

ROBERTO CARLOS SÁNCHEZ CIFUENTES

PROFESOR GUÍA: CRISTIAN SAAVEDRA ACUÑA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

CONCEPCIÓN –CHILE
ENERO, 2016



FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROPIEDAD

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD Y PROPIEDAD

Yo, Roberto Sánchez Cifuentes, declaro que este documento no incorpora material de otros autores sin identificar debidamente la fuente.

Talcahuano, 11 de ENERO de 2016

Firma del alumno

*Dedicada a mí querida esposa Sandra Henríquez E.,
por su gran amor, comprensión y paciencia, a mis Padres
Humberto e Irma a mis Hermanos Eduardo, Roxana y
Cristian, a mis vecinos y por supuesto a mí hijo Matías
Factor motivacional fundamental para lograr mis metas.*

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradecer a Dios por ayudarme en los tiempos difíciles, darme la oportunidad de estudiar y superarme profesionalmente.

Expresar mis agradecimientos a mi profesor guía, Cristian Saavedra A. por su dedicación y esfuerzo, y por entregarme sus conocimientos y experiencias, dándome las herramientas necesarias para poder terminar este estudio con éxito.

A mis camaradas y amigos por el apoyo fundamental, ayudándome a complementar trabajo y estudios.

A mis profesores por entregar sus conocimientos y experiencias durante el tiempo en las aulas, contribuyendo a mi mejor formación en lo profesional y sobre todo personal.

ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción.....	1
I.1	Importancia de resolver el problema de instalación de un Sistema solar Térmico para agua caliente sanitaria (A.C.S.), en un edificio de una repartición de la Armada de Chile.....	2
I.2	Contribución del trabajo.....	3
I.3	Fundamentación del proyecto.....	3
I.4	Limitaciones y alcances del proyecto.....	5
I.5	Objetivo general.....	5
I.6	Objetivos específicos:	5
II.	Marco teórico.....	6
II.1	La Energía.....	7
II.2	Fuentes de energía.....	7
I.	Algunas de las principales fuentes de energía son:	8
II.3	Consumo de energía a nivel mundial.....	8
II.4	Energía en Chile.....	10
II.	Gas Natural	11
III.	GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) A PARTIR DE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR A TRAVÉS DE PANELES TÉRMICOS.	12
III.1	Introducción a la energía solar térmica	12
III.2	La radiación solar.	16
III.3	Variabilidad de la Radiación Solar.....	18
III.4	Radiación solar en Chile	19
III.5	Radiación solar en Talcahuano.	21
III.6	La energía solar térmica para agua caliente sanitaria (ACS).....	23
III.7	Ventajas y desventajas de los Sistemas Solares Térmicos para agua caliente sanitaria (A.C.S.).....	24
III.	Ventajas Estratégicas	24
IV.	Ventajas Económicas	24

V.	Ventajas Ambientales	25
	Desventajas de los Sistemas Solares Térmicos para agua caliente sanitaria (ACS)	26
III.8	Selección del equipo solar térmico para agua caliente sanitaria	26
VI.	Factores principales para seleccionar	27
III.9	Selección entre circulación forzada o natural.....	27
III.10	Selección del tamaño del SST.....	28
III.11	Descripción básica de un Sistema Solar Térmico (SST)	29
VII.	Sistema de captación.	29
VIII.	Sistema de acumulación.	29
IX.	Sistema de intercambio.	30
X.	Sistema de apoyo.....	30
III.12	Tipos de instalaciones de un Sistema Solar Térmico	30
XI.	Compacto	31
XII.	Partido.....	31
XIII.	Sistemas solares de calentamiento a medida.....	32
IV.	TIPOS DE COLECTORES SOLARES TERMICOS.....	32
IV.1	Dentro de los colectores solares existen 2 tipos:	32
XIV.	Colectores solares planos	33
XV.	Otros colectores solares planos:.....	34
IV.2	Colectores de tubos de vacío	34
IV.3	Tipos de colectores de tubos al vacío.	35
XVI.	Colector de vacío de tubos de calor (Heat Pipe).....	35
XVII.	Otros colectores de tubo de vacío:	37
V.	INCORPORACION DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO EN UN EDIFICIO	38
V.1	Integración arquitectónica.....	38
V.2	Orientación, inclinación y sombras.....	38
V.3	Equipo auxiliar y su acoplamiento al SST	40
XVIII.	Existen diferentes equipos entre los cuales tenemos:	40
V.4	Representación de medidas de seguridad en Sistema Solar Térmico Termosifón.....	41
V.5	41

V.6	42
VI. Análisis técnico y de cálculo para el dimensionado de colectores para la instalación de un Sistema térmico Solar en el edificio.....	43
VI.1 Elección del colector solar.	43
XIX. Características de los colectores.....	43
VI.2 Características del sistema utilizado actualmente para A.C.S. en el edificio.....	44
XX. Características del calefón Orbis modelo 316 KPCN.....	45
XXI. Distribución de los calefones.....	46
VI.3 Sombras, obstáculos y orientación.	46
VI.4 Método f-Chart	46
VI.5 La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:	47
VI.6 Alcance del método	48
VI.7 Cálculo de demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria	48
VI.8 Temperatura del agua de red	50
VI.9 Cálculo del salto térmico a cubrir	51
VI.10 Cálculo de la energía necesaria para cubrir el salto térmico	53
VI.11 Cálculo de demandas energéticas mensuales y anuales.	55
VI.12 Cálculo de la irradiancia.....	55
XXII. Irradiación diaria mensual sobre superficie horizontal (H) para Talcahuano.....	55
VI.13 Irradiación diaria mensual efectiva sobre superficie horizontal (He).....	57
VI.14 Selección de inclinación del colector solar.	59
VI.15 Aplicación del factor de inclinación (K).....	60
VI.16 Aplicación del factor de corrección K.....	61
VI.17 Determinación de horas útiles de sol en un día medio cada mes	63
VI.18 Cálculo de la intensidad útil o incidente en un día medio de cada mes, Irradiancia (I). 64	
XXIII. Equivalencias de unidades utilizadas.....	64
VI.19 Cálculo del aporte solar.	66
XXIV. Colector solar a utilizar	66
XXV. Determinación de la temperatura ambiente.....	68

XXVI.	Rendimiento instantáneo	69
XXVII.	Calculo del parámetro X, X ²	70
XXVIII.	Calculo del rendimiento instantáneo.....	71
XXIX.	Aporte solar.....	73
VI.20	Energía unitaria o energía neta disponible al día en m ²	75
XXX.	Energía neta para el mes de marzo:	76
XXXI.	Energía neta disponible diaria y mensual.	76
VI.21	Contribución solar mínima.....	77
XXXII.	Contribución solar mínima para Talcahuano.	78
VI.22	Calculo de la superficie mínima necesaria de captación	78
XXXIII.	Calculo de la cantidad necesaria de captadores solares tipo Heat Pipe.....	78
XXXIV.	Cálculo de la cobertura solar.	79
XXXV.	Cobertura solar mensual.....	80
VI.23	Determinación del ahorro anual de gas.....	81
VI.24	Calculo de la distancia entre baterías de colectores solares	81
VI.25	Otros aspectos a considerar en la instalación del SST en el edificio.....	83
XXXVI.	Selección del tipo de tuberías.....	83
XXXVII.	Válvula mezcladora termostática.....	83
XXXVIII.	Válvula de corte.	84
XXXIX.	Válvulas anti retorno.....	84
XL.	Válvula de seguridad.....	85
XLI.	Válvula manual de tres vías.	85
XLII.	Purga de aire.	86
XLIII.	Mantenimiento del colector solar compacto tipo Heat Pipe.	86
VII.	Análisis económico de realizar la inversión en la instalación de un sistema de solar térmico para A.C.S. en un edificio de la Armada de Chile en la ciudad de Talcahuano.	87
VII.1	Determinar el costo de inversión para materializar el proyecto de instalación del Sistema Solar Térmico para A.C.S. en un edificio en Talcahuano.....	88
XLIV.	Tiempo de evaluación del proyecto.....	90
XLV.	Calculo de la depreciación.	90

XLVI.	Método de financiamiento	91
VII.2	Costos fijos en consumo de gas natural en la repetición por concepto de calentamiento de A.C.S.....	91
VII.3	Costos fijos por uso de la instalación solar térmica.....	92
VII.4	Costos variables por uso de la instalación solar térmica	92
VII.5	Ahorro en costos por consumo de gas natural en el año 2105.	92
VII.6	Proyección del precio del gas natural en Chile (m ³).....	93
VIII.	Conclusiones.....	105
IX.	Bibliografía	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II-1: Fuentes de energía primaria, Fuente Guía práctica de energía solar térmica.....	8
Tabla III-1: Radiación recibida y absorbida por la tierra, Fuente “sun damage and prevention” Naylor, Mark; Kevin C. Framer (1995).	19
Tabla III-2: Energía Solar Reflejada, Fuente “sun damage and prevention” Naylor, Mark; Kevin C. Framer (1995).....	19
Tabla III-3: Radiación mensual en Talcahuano Fuente Sistemas Solares Térmicos II, guía de diseño e instalación para grandes Sistemas de A.C.S.	21
Tabla III-4: Criterios entre circulación forzada o natural, Fuente Manual Técnico Solar 2013. .	28
Tabla VI-1: Características de los colectores solares a elegir, Elaboración propia	43
Tabla VI-2: Criterios de consumo Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT	49
Tabla VI-3: T° del agua de la red en el área de Talcahuano, Fuente Sistemas Solares Térmicos II, guía de diseño e instalación para grandes Sistemas de A.C.S.	50
Tabla VI-4: Temperatura de agua caliente y salto térmico a cubrir, Elaboración propia	52
Tabla VI-5: Demanda energética diaria (MJ/día)	54
Tabla VI-6: Demanda energética diaria, mensual y anual, Elaboración Propia.	55
Tabla VI-7: Irradiación diaria mensual sobre superficie Horizontal, Fuente Sistemas Solares Térmicos II, Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria, .	56
Tabla VI-8: Radiación efectiva en plano horizontal Fuente: CIMNE, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, UPC. Elaboración Propia.....	58
Tabla VI-9: Ángulo de inclinación, según el periodo de utilización Fuente Sistemas Solares Térmicos II, Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua	59
Tabla VI-10: Factor de inclinación para latitud 36°S Fuente Sistemas Solares Térmicos II, Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria	60
Tabla VI-11: Irradiación efectiva corregida, Elaboración propia.	61
Tabla VI-12: Horas útiles de sol en latitud 36°S Fuente CENSOLAR.....	63
Tabla VI-13: Irradiancia día medio de cada mes en (W/m ²), Elaboración Propia.	65
Tabla VI-14: T° ambiente en Talcahuano, Fuente Sistemas Solares Térmicos II, Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria, Anexo V.	68
Tabla VI-15: Calculo de parámetros X y X ² , Elaboración Propia.	71
Tabla VI-16: Rendimiento instantáneo del colector para cada mes, Elaboración Propia.	72
Tabla VI-17: Aporte solar diario, Elaboración Propia.	74
Tabla VI-18: Energía neta disponible diaria y mensual., Elaboración Propia.	76
Tabla VI-19: contribución sola mínima para Talcahuano.....	78
Tabla VI-20: Superficie mínima necesaria.	78
Tabla VI-21: Cantidad necesaria de captadores solares, Elaboración Propia.	78
Tabla VI-22: Cobertura solar mensual.....	80
Tabla VII-1: Costo de inversión total, Elaboración Propia.....	88

Tabla VII-2: consumo y costos en gas natural mensual y anual año 2015 Fuente depto. De Finanzas, Elaboración Propia.....	91
Tabla VII-3: Ahorro de costos y pago mensual de gas natural año 2015, Elaboración Propia....	92
Tabla VII-4: Valor m ³ de gas natural últimos 3 años en la VIII Región Fuente Gassur, Elaboración Propia.....	94
Tabla VII-5: Disminución del 5% anual en la tarifa de m ³ del gas natural, a 10 años Elaboración Propia.....	94
Tabla VII-6: Aumento del 5% anual en la tarifa de m ³ del gas natural, a 10 años Elaboración Propia.....	95
Tabla VII-7: Disminución de tarifa del m ³ de gas natural en 5% durante 10 años. Elaboración Propia.....	98
Tabla VII-8: Mantenimiento de tarifa del m ³ de gas natural durante 10 años. Elaboración Propia.....	99
Tabla VII-9: Aumento de tarifa del m ³ de gas natural en 5% durante 10 años. Elaboración Propia.....	100
Tabla VII-10: Flujo de caja sin variación de la tarifa de gas natural a 10 años, Elaboración Propia.....	101
Tabla VII-11: Flujo de caja con variación de la tarifa de gas natural, Elaboración Propia.	102
Tabla VII-12: Flujo de caja con variación de la tarifa de gas natural, Elaboración Propia.	103
Tabla VII-13: VAN sensibilizado costo m ³ Gas Natural, Elaboración Propia.	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura III-1: Primer sistema para el calentamiento de agua sanitaria	16
Figura III-2: Distribución de la energía solar, Fuente www.astrociencia.com	17
Figura III-3: Esquema básico del SST, Fuente www.programasolar.cl	30
Figura III-4: Sistema Solar Térmico compacto tipo Heat Pipe	31
Figura III-5: Sistema Solar Térmico partido tipo Heat Pipe	31
Figura IV-1: Componentes principales de un colector solar plano, Fuente www.Programasolar.cl	33
Figura IV-2: Detalle esquemático de un colector solar plano, Fuente www.solepanel.cl	34
Figura IV-3: Esquema de partes de un colector solar Heat Pipe, Fuente www.energiasrenovables.com	36
Figura IV-4: Principio de funcionamiento de los tubos al vacío, Fuente www.energiasrenovables.com	37
Figura V-1: Planta de alzado y obstáculos frontal y lateral de un SST, Fuente: Manual Técnico Solar 2013	40
Figura V-2: Protección entre el sistema y el equipo auxiliar (calefon), Fuente: Manual Técnico Solar 2013	41
Figura V-3: Protección entre el sistema y el equipo auxiliar (calefon), Fuente: Manual Técnico Solar 2013	42
Figura VI-1: Calefon Orbis modelo 316 KPCN, utilizado como equipo generador de ACS en la repartición	45
Figura VI-2: Recorrido solar en el solsticio de verano en Talcahuano Fuente www. Sunearthtools.com	60
Figura VI-3: Características técnicas del colector solar tipo Heat Pipe, modelo TZ47 1500.	67
Figura VI-4: Distancia mínima entre colectores.	82
Figura VI-5: tuberías con aislamiento térmico.....	83
Figura VI-6: válvula mezcladora termostática de 5 vías.....	83
Figura VI-7: Válvula de corte	84
Figura VI-8: Válvula anti retorno	84
Figura VI-9: Válvula de seguridad.....	85
Figura VI-10: Válvula manual de tres vías	85
Figura VI-11: Purga de aire automática	86
Figura VII-1: Cotización panel solar Fuente Empresa solepanel	90

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico II-1: Consumo de energía mundial 2014, Fuente: Administración de Información de Energía, Elaboración Propia.	9
Grafico II-2: Capacidad energética instalada en Chile año 2014,.....	11
Grafico III-1: Radiación Solar por Región, Fuente www.chile-solar.cl	20
Grafico III-2: Radiación solar mensual en Kwh/m ²	22
Grafico VI-1: Temperatura en °C mensual del agua en Talcahuano, Elaboración Propia.....	51
Grafico VI-2: Salto térmico a cubrir	53
Grafico VI-3: Radiación para Talcahuano en MJ/m ² , Elaboración Propia.	57
Grafico VI-4: Irradiación diaria media mensual efectiva sobre superficie horizontal, Elaboración Propia.	58
Grafico VI-5: Corrección de plano horizontal a plano inclinado, Elaboración Propia.	62
Grafico VI-6: Horas útiles de sol en un día medio en latitud 36°S, Elaboración Propia.	64
Grafico VI-7: Intensidad útil de cada mes en W/m ² , Elaboración Propia.....	65
Grafico VI-8: temperatura media diaria de cada mes, durante las horas de sol, Elaboración Propia.....	69
Grafico VI-9: Rendimiento del colector para cada mes, Elaboración Propia.	73
Grafico VI-10: Aporte Solar diario mensual, Elaboración Propia.....	75
Grafico VI-11: Energía neta unitaria disponible, Elaboración Propia.	77
Grafico VI-12: Cobertura Solar en (MJ), Elaboración Propia.	81
Grafico VII-1: Simulación de tendencia del precio costo m ³ , con disminución de un 5% a 10 años, Elaboración Propia.	95
Grafico VII-2: Simulación de tendencia del precio costo m ³ , con aumento de un 5% a 10 años, Elaboración Propia.....	96
Grafico VII-3: VAN Sensibilizado costo m ³ Gas Natural, Elaboración Propia.....	104

RESUMEN

El objetivo de esta tesis es poder realizar un estudio de factibilidad técnica y económica en la instalación de un Sistema Solar Térmico para agua caliente sanitaria (A.C.S.) en un edificio de la Armada de Chile en la ciudad de Talcahuano. En el presente documento el lector podrá encontrar información acerca de los tipos de paneles solares térmicos que se utilizan en la actualidad para calentar agua de uso sanitario, conociendo tanto sus ventajas como desventajas.

Esta tesis está orientada tanto a disminuir los costos fijos por el consumo de gas natural a cañería, como también a disminuir la dependencia de las compañías distribuidoras de gas en la región, las cuales podrían limitar su entrega de gas por problemas logísticos, por conflictos internacionales siendo Chile un claro importador de este recurso o porque no ante un conflicto bélico en nuestro país.

En el estudio de factibilidad técnica el lector podrá interiorizarse de la mejor alternativa de Sistema Solar Térmico que se puede utilizar en el edificio, estas dependerán entre otros de las condiciones de radiación solar y climáticas en la región, además se realizara un acabado cálculo de la cantidad de colectores solares necesarios para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria y así no limitar su consumo.

Finalmente en el estudio económico se especifica los diferentes costos asociados a la instalación, analizando el VAN y el TIR en tres posibles escenarios, ya sea en la disminución, mantenimiento o aumento de la tarifa de gas natural en la zona.

Para determinar la factibilidad económica se realizó un VAN a 10 años y un costo de oportunidad del 10%.

I. INTRODUCCIÓN.

El mundo se deteriora cada vez más por el efecto de los gases efecto invernadero, sumado a esto los precios siempre volátiles de los combustibles y la alta dependencia de que tiene el país desde el extranjero, ha generado un problema militarmente estratégico para el país el uso de energías limpias ha tomado una gran relevancia.

Contar con un sistema de calentamiento de agua sanitaria, a través de una energía inagotable como es el sol nos ayudaría a no depender de los proveedores de combustibles fósiles entre ellos el petróleo y particularmente el gas natural, ya que este es el tipo de combustible que utiliza en la actualidad la repartición naval.

Es por ello que en este trabajo se realizara un estudio de factibilidad técnica y económica para contar con un sistema de generación de agua caliente sanitaria a través de un sistema de colectores solares térmicos en un edificio ya construido, usado como habitabilidad en una repartición de la Armada de Chile, en la ciudad de Talcahuano.

El presente trabajo realizará un acabado análisis de los diferentes tipos de Sistemas Solares Térmicos que existen en la actualidad, con el propósito de elegir el más apropiado de utilizar de acuerdo a diferentes condiciones entre las que tenemos: consumo diario de agua caliente sanitaria, radiación de la zona, condiciones climáticas, entre otros.

Para el procedimiento de cálculo se utilizara el método f- Chart, utilizado ampliamente tanto por empresas como instituciones para poder determinar el aporte de radiación solar en la zona y junto con ello la cantidad de colectores solares a utilizar para poder satisfacer la demanda de A.C.S. en la repartición de la Armada de Chile.

I.1 Importancia de resolver el problema de instalación de un Sistema solar Térmico para agua caliente sanitaria (A.C.S.), en un edificio de una repartición de la Armada de Chile.

En la actualidad el uso de energías convencionales es cada vez más recurrente, no obstante, se ha incrementado cada vez el uso de energías renovables, una de estas es el sol.

Al utilizar el sol como energía para generar A.C.S. genera muchos beneficios, tanto en el ámbito ambiental al disminuir la producción de gases contaminantes, como también a disminuir los costos por concepto de uso de energía convencional, con precios volátiles y siempre dependiente del escenario internacional.

Particularmente al utilizar un sistema solar térmico, en una repartición de la Armada de Chile, para generar A.C.S. sería una ventaja estratégica, en un hipotético escenario de conflicto bélico, en donde la distribución de gas natural por los proveedores internacionales, se vería seriamente amenazada.

Junto con lo anterior se estaría alineado con la estrategia del gobierno chileno de hacer edificios públicos más eficientes, siendo uno de sus puntos más importantes el de utilizar recursos energéticos no convencionales, entre ellos el sol.

I.2 Contribución del trabajo.

Con esta propuesta se quiere potenciar el uso de energías renovables no convencionales (ERNC) en la generación de A.C.S. considerando con ello los siguientes puntos:

- La utilización del sol como una energía inagotable a escala humana.
- Disminución de gases contaminantes que afectan al cambio climático, la capa de ozono y producen el efecto invernadero.
- Disminuir la dependencia de combustibles fósiles desde proveedores extranjeros.
- Disminuir la utilización de combustibles, disminuyendo con ello los costos fijos.
- Utilizar una tecnología (Sistema Solar Térmico) madura y con resultados positivos.
- Entre otros.

I.3 Fundamentación del proyecto.

Hoy en día Chile se encuentra en un momento muy importante en aras a llegar a ser un país desarrollado en los próximos años, por lo cual el Gobierno se ha propuesto este objetivo para brindar así mayores y mejores oportunidades a todos los chilenos.

Chile al aspirar a ser un país desarrollado necesita de un crecimiento sostenido de su economía, y para lograrlo necesita necesariamente contar con un plan de desarrollo de energía seguro, eficiente y a precios razonables, en concordancia con esto el gobierno desarrollo un programa de energía (2014-2018), el cual aproveche nuestros recursos naturales en forma eficiente y no contaminante, ya que en la percepción de la ciudadanía, el aumento de la energía está estrechamente ligado al deterioro del medio ambiente por el efecto de los gases invernadero y costos sociales para algunas comunidades.

Uno de los planes a corto plazo incluye la implementación de la ley de fomento a la ERNC, incentivando entre otros al uso de paneles solares térmicos a través de subsidios a empresas constructoras como también a particulares, cabe destacar que

existió la Ley N°20.365 publicada el año 2009 una franquicia tributaria respecto a los sistemas solares térmicos (SST), la que entre otras cosas contemplaba un subsidio de hasta el 100% tanto del valor como de la instalación del SST para viviendas de un valor menor a 2.000 UF, dicha ley y beneficios solo era efectiva hasta el año 2013.

Chile es un claro importador de gas comprando el 90% al extranjero, siendo dependientes de las variaciones económicas a nivel mundial, de las relaciones bilaterales etc., años atrás Argentina era el principal proveedor de gas a nuestro país, pero producto de la grave crisis económica que enfrentó desde el año 2004 fue disminuyendo paulatinamente el envío de gas a nuestro país llegando a punto máximo el año 2008 cuando Argentina cortó de manera total el suministro de gas a Chile por unos días, generando una incertidumbre en todos los sectores del país.

Chile se vio obligado a tener una matriz energética diversificada, equilibrada y sustentable por lo que se vio obligada a buscar nuevos socios estratégicos que garantizaran el abastecimiento de gas, es así que se realizaron inversiones en infraestructura portuaria en los puertos de Quintero y Mejillones permitiendo que a través de barcos llamados tanqueros o metaneros se pudiera importar gas vía marítima desde diferentes países como Egipto, Trinidad y Tobago, y Qatar entre otros, además el año pasado se llegó a un acuerdo con Estados Unidos para recibir gas a fines de este año (2015).

Es por esto que al utilizar energías renovables en la generación de agua caliente sanitaria (ACS), reduce la dependencia energética desde el exterior, disminuye los costos fijos en gas por menor consumo asociado al calentamiento de agua, disminuye la dependencia de los proveedores de gas, además de contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

I.4 Limitaciones y alcances del proyecto

El presente proyecto presenta información sobre los diversos tipos de paneles o colectores solares térmicos utilizados para generar agua caliente sanitaria (ACS), y toda la tecnología asociada para su instalación e implementación incluyendo costos, en un edificio de habitabilidad en la ciudad de Talcahuano.

El alcance del proyecto es determinar la mejor alternativa ofrecida actualmente en el mercado, además de evaluar si es económicamente viable su funcionamiento tomando en cuenta las condiciones de radiación en la ciudad de Talcahuano, además de los costos de implementación, costos de operación, y los de mantenimiento, con el fin de determinar el capital necesario para implementar en un edificio de la región del Bío-Bío, comuna de Talcahuano

El proyecto considera la etapa de la evaluación técnico- económico, no incluyendo la instalación del sistema.

I.5 Objetivo general.

Realizar un estudio de factibilidad técnica y económica en la implementación de un Sistema Solar Térmico para la generación de agua caliente sanitaria (A.C.S.) en un edificio de una repartición de la Armada de Chile, en la ciudad de Talcahuano.

I.6 Objetivos específicos:

- Analizar los diferentes sistemas que se utilizan actualmente, para la generación de agua caliente sanitaria.

- Determinar qué tipo de paneles solares térmicos utilizar, de acuerdo a las diferentes tecnologías existentes en el mercado, tomando en cuenta la ubicación geográfica, la radiación solar y condiciones climáticas de la zona.
- Realizar una evaluación técnica de la instalación de paneles solares térmicos determinando principalmente la cantidad exacta de paneles solares térmicos a utilizar.
- Desarrollar un análisis económico del proyecto.

II. MARCO TEÓRICO

El sol es una fuente de generación de energía, no contaminante, gratuita y con disponibilidad los 365 días del año. En nuestro país las condiciones para implementar sistemas de energía solar son ideales, dado que nuestro país se encuentra ubicado en una de las zonas con mayor intensidad de radiación en el planeta.

Actualmente en el mundo se toma cada vez más importancia al uso de energías limpias para la generación de agua caliente sanitaria, existen empresas públicas o privadas estas utilizando este método contribuyendo así a disminuir la generación de gases que aceleran el calentamiento global y el efecto invernadero, además de disminuir sus costos fijos por concepto de utilización de energía convencional a través de combustibles fósiles cada vez más escasos y costosos.

El uso de energías limpias cada día toma más relevancia, es por esto que este proyecto está orientado a la captación de la energía solar a través de paneles solares térmicos, con el fin de generar agua caliente de uso sanitario (ACS) para ser implementado en un edificio tipo hotel de la Armada de Chile en la ciudad de Talcahuano,

Chile no está ajeno a la utilización de tecnologías, por lo cual existe una preocupación del gobierno de utilizar energías renovables no convencionales (ERNC) Y crear conciencia en la población sobre la utilización de energías alternativas, disminuyendo la emisión de gases efecto invernadero así como también para diversificar la matriz energética, siendo esto fundamental, si se desea alcanzar el desarrollo.

II.1 La Energía

Se define energía como la capacidad un sistema para realizar un trabajo, las unidades de medida que se utilizan son las mismas que los permiten cuantificar el trabajo realizado por un sistema. La unidad del Sistema Internacional que mide la energía es el julio (J).

$$\mathbf{1J = 1W \times 1s} \quad (1)$$

La energía se puede presentar de diferentes formas entre las cuales encontramos la energía cinética, energía potencial, energía en forma de calor, energía en forma de luz, etc.

Una de las características de la energía es que no se crea ni se destruye, solo se transforma este principio es conocido como la Ley de la conservación de la energía o primera ley de la termodinámica.

II.2 Fuentes de energía.

Las fuentes de energía de la tierra se pueden dividir en dos grupos: Las energías renovables y las energías no renovables, las energías no renovables son aquellas que en escala humana no son capaces de crearse al mismo tiempo en que son consumidas, en cambio las energías renovables son inagotables a escala humana y tiene principalmente un origen solar.

I. Algunas de las principales fuentes de energía son:

Tabla II-1: Fuentes de energía primaria, Fuente Guía práctica de energía solar térmica.

Energías no renovables

Energía fósil: el carbón, gas natural, y los productos derivados del petróleo, estos son productos que se formaron a partir de la descomposición parcial de grandes masas de seres vivos que habitaron la tierra hace millones de años.

Energía nuclear: consiste en energía de fisión y energía de fusión, la fisión o desintegración de ciertos núcleos pesados libera gran cantidad de energía en forma de calor, que mediante turbinas de vapor producen electricidad.

La fusión consiste en aprovechar la energía liberada en el proceso de unión de dos átomos para producir un tercero de menor masa.

Energías renovables

Energía solar: La captación directa de la radiación solar se puede aprovechar para producir calor (solar térmica) o para producir electricidad (solar fotovoltaica).

Energía eólica: movimientos de las masas atmosféricas en forma de energía cinética que es aprovechada por los aerogeneradores para producir energía eléctrica.

Energía hidráulica: la energía acumulada en las masas de agua es transformada en electricidad a través de unas turbinas situadas en una cota inferior.

Energía geotérmica: es la energía liberada del calor almacenado en el interior de la tierra.

II.3 Consumo de energía a nivel mundial

Se espera que la demanda de energía aumente considerablemente a causa del crecimiento demográfico y el desarrollo económico, según datos de La Administración de Información de Energía de EE.UU. (EIA) .Muchas personas experimentan en la actualidad profundos cambios en sus estilos de vida a medida que se pasa de una economía de subsistencia a una economía basada en la industria o en los servicios.

Durante décadas la demanda se ha concentrado en los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), sin embargo el aumento en el consumo de energía de las economías emergentes en los últimos años ha sido significativo, de hecho según estima el estudio la demanda en países no pertenecientes a la OCDE será un 90% hasta el año 2040, mientras que el incremento en los países miembros será de apenas 17%, pasando a ser los países emergentes muy influyentes en los precios globales (EIA 2013).

Según el mismo informe de la EIA los combustibles fósiles (petróleo, gas natural, y carbón) continuaran suponiendo cerca del 80% del consumo energético mundial de aquí al año 2040.

El gas natural será el combustible fósil de más rápido crecimiento siendo EE.UU. y Rusia las naciones de mayor producción de este tipo de energía.

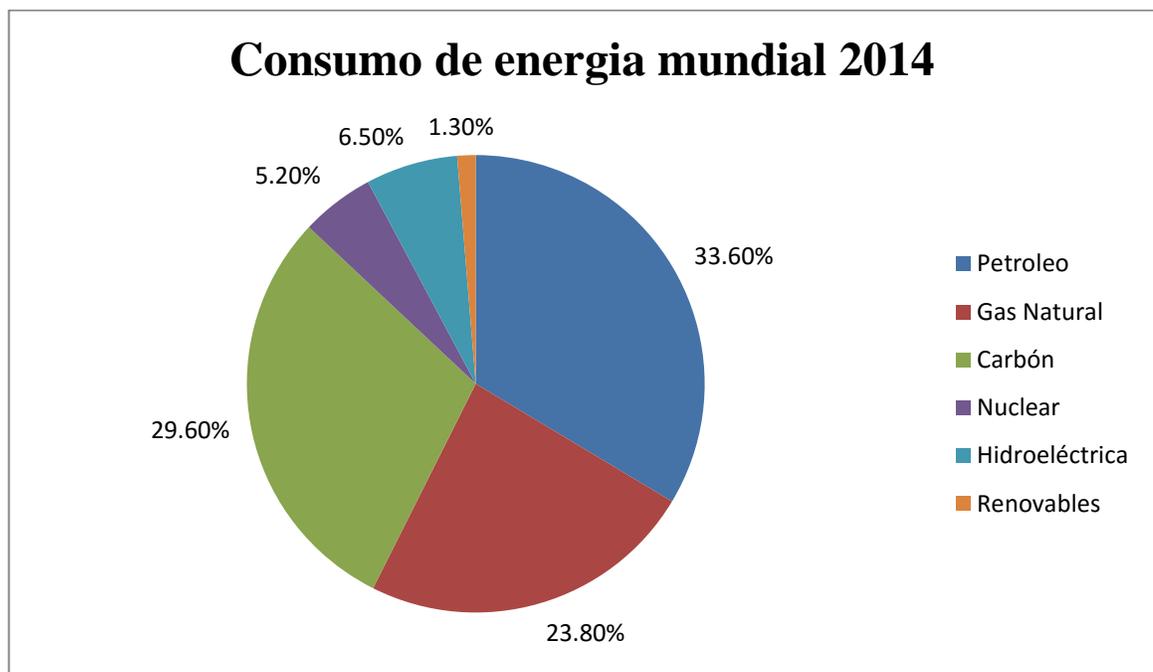


Grafico II-1: Consumo de energía mundial 2014, Fuente: Administración de Información de Energía, Elaboración Propia.

II.4 Energía en Chile.

La energía es uno de los temas más desafiantes para el desarrollo de un país. Mientras el crecimiento económico suele vincularse a una mayor demanda energética, la competitividad apela a un menor consumo energético por unidad de producción y las señales del cambio climático urgen reducir las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles.

El grupo de energéticos que más se consumen en Chile corresponde a los derivados del petróleo, el cual representa el 54% del consumo final secundario, casi la totalidad de los derivados debe ser importada o son producto de la refinación de petróleo crudo, cuya importación alcanza al 96,5%, según el Ministerio de Energía.

Chile es un país en vías rápida a la industrialización y desarrollo, pero aun con ingresos per cápita medios, por ende el vínculo entre crecimiento económico y aumento del consumo de energía es directo. La industria es uno de los sectores con mayor demanda energética especialmente de combustibles fósiles, principales responsables de la emanación de dióxido de carbono, el más importante gas de efecto invernadero.

Existe un acople entre la expansión del PIB y la energía final consumida por la población, siendo unas tareas a corto plazo lograr un desacople entre ambas variables lo que implicaría ganar competitividad en un contexto en que las fuentes de energía económicas serán cada vez más escasas.

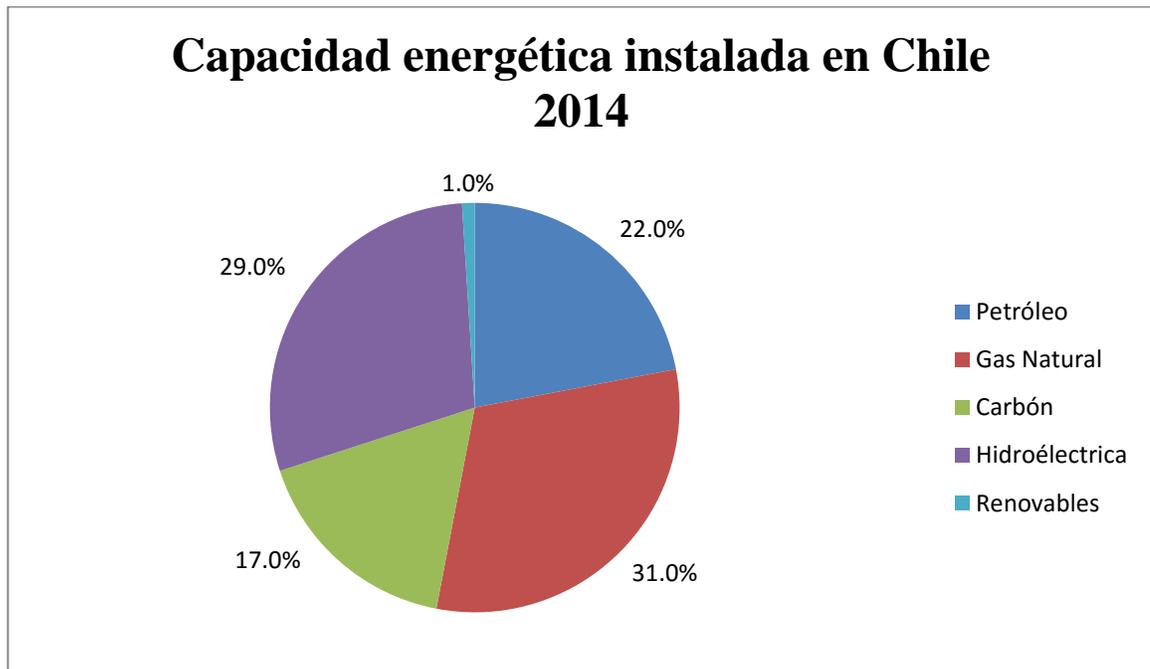


Grafico II-2: Capacidad energética instalada en Chile año 2014,

Fuente: Ministerio de Energía, Elaboración Propia

II. Gas Natural

El Gas Natural es una mezcla de hidrocarburos livianos, donde el principal componente es el metano (CH_4) en un porcentaje de alrededor del 90%, el resto de los componentes son Etano, Propano, Butano y otros hidrocarburos más pesados además de porciones de Dióxido de Carbono (CO_2) y nitrógeno.

Desde mediados de la década de los 90 el país ha recurrido al gas natural de Argentina como recurso energético tanto comercial, industrial y domiciliario, el transporte y distribución de este combustible es a través de gasoductos.

Debido a la situación interna de Argentina que desencadenó la restricción a la exportación de gas natural a partir del año 2004, el gobierno de Chile se vio en la necesidad de contar con fuentes independientes y asequibles de gas natural, tal como

sucede con el petróleo que las empresas chilenas adquieren de diferentes proveedores internacionales, en ese contexto se determinó que nuestro país no podía volver a depender de un solo proveedor, por lo cual se diversificó la gama de países proveedores y entre ellos tenemos: Trinidad y Tobago, Egipto y recientemente EE.UU. entre otros.

III. GENERACIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS) A PARTIR DE LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR A TRAVÉS DE PANELES TÉRMICOS.

III.1 Introducción a la energía solar térmica

La fuente de energía más constante con la que cuenta nuestro planeta es la proveniente del sol que alcanza un promedio de 1.366 W/m^2 (NASA 2005) en la capa exterior de la atmosfera. La energía recibida en la superficie de la tierra se conoce como irradiancia, energía que depende de la hora del día, la inclinación de los rayos del sol y la cobertura de las nubes.

Los seres vivos utilizan gran parte de la energía que proviene del sol, por ejemplo las plantas absorben la energía solar realizando la fotosíntesis. La mayor parte de las fuentes de energía que utiliza el hombre derivan indirectamente del sol, es así como los combustibles fósiles preservan energía solar capturada hace millones de años, la energía hidroeléctrica usa la energía potencial del agua que se condensó en altura después de haberse evaporado por el calor del sol

Cabe destacar que la energía solar es el recurso energético más abundante en la tierra, la superficie de la tierra en una hora recibe el equivalente al total de energía consumida por todos los humanos en un año. (CIFES).

La energía solar puede ser aprovechada de diferentes maneras, tanto para generar electricidad (energía eléctrica), a través de paneles fotovoltaicos o como para generar calor (energía térmica), a través de paneles o colectores solares térmicos, pero tiene el inconveniente que solo se recibe durante el día, por lo que se necesita la combinación con otras con otras fuentes de energía.

Por sus características la energía solar es absolutamente limpia (no contamina) y renovable ya que utiliza elementos que no se agotan a escala humana en efecto la energía solar que recibe el planeta en una hora es equivalente al total de toda energía consumida por los humanos todo en un año.

La luz solar forma parte del espectro electromagnético, siendo un tipo de onda electromagnética que se desplaza por el espacio en todas las direcciones alcanzando a la tierra en un tiempo de 8 minutos y 19 segundos, la intensidad de la energía solar en un punto determinado de la tierra depende de forma complicada pero predecible del día, del año, de la hora y de la latitud, además la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

Las primeras utilizaciones de la energía solar se pierden en la lejanía de los tiempos, no obstante por algunas tabillas de arcilla halladas en Mesopotamia se sabe que hacia el año 2000 A.C. las sacerdotisas encendían el fuego sagrado de los altares mediante espejos curvados de oro pulido.

En Egipto hacia el año 1450 A.C. existían unas estatuas sonoras del faraón, el sonido producido por estas estatuas era consecuencia del aire calentado en sus enormes pedestales huecos y que comunicaban con el exterior por un orificio muy pequeño.

Arquímedes utilizó espejos cóncavos, con los cuales encendió las naves romanas durante el renacimiento.

Ehrenfried Von Tschirnhaus (1651-1700), que era miembro de la Academia Nacional Francesa de la Ciencia, logró fundir materiales cerámicos mediante la utilización de un lente de 76 cm. De diámetro.

El primer colector solar fue construido por el suizo Nicholas de Saussure (1740-1799) y estaba compuesto por una cubierta de vidrio y una placa metálica negra encerrada en una caja con su correspondiente aislamiento térmico, utilizándose para cocinar alimentos que se introducían en su interior.

A mediados del siglo XIX, los niveles de combustibles fósiles empezaron a disminuir, se consumía demasiada madera y carbón, esta razón impulsó al francés Augustine Mouchot a empezar a trabajar en aparatos capaces de aprovechar energías solares, apareciendo cocinas, hornos y los primeros prototipos de motores solares.

A principios del siglo pasado la utilización de la energía solar tuvo especial interés en Estados Unidos, específicamente en California donde se hicieron algunos trabajos y estudios en colaboración con astrónomos construyéndose algunos prototipos de grandes dimensiones, pero al abaratamiento de los combustibles fósiles, como consecuencia de la Primera Guerra Mundial disminuyó el interés por la investigación y utilización de la energía solar.

El resurgimiento de la energía solar como una disciplina científica se produce en 1953, cuando Farrington Daniels organiza en la Universidad de Wisconsin un Simposio Internacional sobre la utilización de la energía solar, auspiciado por la National Science Foundation de Estados Unidos. Dos años más, tarde en Tucson (Arizona) se celebró otro simposio y se formó la Asociación para la Aplicación de la Energía Solar.

Con la aparición del petróleo como principal fuente de energía en el mundo industrializado, nuevamente disminuyó el interés de experimentar con la energía solar, ya que el petróleo ofrecía un rendimiento muy superior.

Fue en 1973 cuando como consecuencia de la cuarta Guerra Árabe-Israelí la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), decide no exportar más petróleo a los países que habían apoyado a Israel durante la Guerra de Yom Kippur, afectando a Estados Unidos y sus aliados en Europa Occidental.

Los efectos del embargo fueron inmediatos, la OPEP obligó a las compañías petroleras a aumentar los precios de forma drástica provocando un fuerte efecto inflacionista en los países industrializados debido a la gran dependencia de estos al petróleo de la OPEP, obligando a tomar ciertas medidas que redujeran esa dependencia.

En la década de los ochenta debido a la creciente preocupación medioambiental surgida en la sociedad, el uso de energías limpias sufrió un gran impulso. Durante esta década se crearon asociaciones pro defensa del medioambiente, las cuales fueron tomadas en cuenta por los gobiernos a la hora de elaborar planes que pudieran afectar al ecosistema natural.

Estos hechos ayudaron a que las energías limpias y renovables entre ellas la energía solar fueran ganando protagonismo en el panorama energético mundial.

Con respecto a la energía solar térmica la primera patente de inversión para calentar agua a través del sol de una manera eficaz se dio en 1891 cuando Claren Kemp sacó al mercado en Estados Unidos el calentador de agua CLIMAX, este método combinaba el modelo de los tanques expuestos al sol con el principio de la caja fuerte.

En 1909 William Bailey patentó su modelo de calentador solar para agua, el cual superaba los inconvenientes que ofrecía el CLIMAX, ya que era capaz de mantener el calor ganado durante toda la noche, siendo posible disfrutar del agua caliente solar a la mañana siguiente es más este sistema es el mismo que hoy en día se sigue usando en los calentadores de circulación natural o termofónicos.



Figura III-1: Primer sistema para el calentamiento de agua sanitaria

III.2 La radiación solar.

La energía del sol llega a la tierra en forma de ondas electromagnéticas que se propagas en todas direcciones. Las ondas electromagnéticas se caracterizan por la frecuencia (f) con que la onda se repite completamente por unidad de tiempo. La frecuencia se mide en hercios y cuanto mayor sea ésta o mayor sea el número de oscilaciones, mayor es la cantidad de energía transportada por la onda. El sol se comporta como un cuerpo negro que emite energía a una temperatura de 6000 °K (ley de Plank).

No toda la radiación solar que incide sobre la atmósfera llega a la superficie de nuestro planeta, los rayos solares al entrar en contacto y atravesar el obstáculo que supone la atmósfera experimenta una serie de fenómenos físicos entre los que se destacan:

- Reflexión: Una parte de la radiación se refleja en la parte superior de las nubes (como en un espejo).
- Difusión: Los rayos solares chocan con las moléculas gaseosas y partículas de polvo difundiéndose en todas las direcciones de manera que una parte vuelve al espacio.
- Absorción: Una parte de la radiación es absorbida por las moléculas presentes en la atmósfera, a unos 25 Km de altura el ozono predomina sobre otras moléculas absorbiendo principalmente las radiaciones de los rayos ultravioletas.

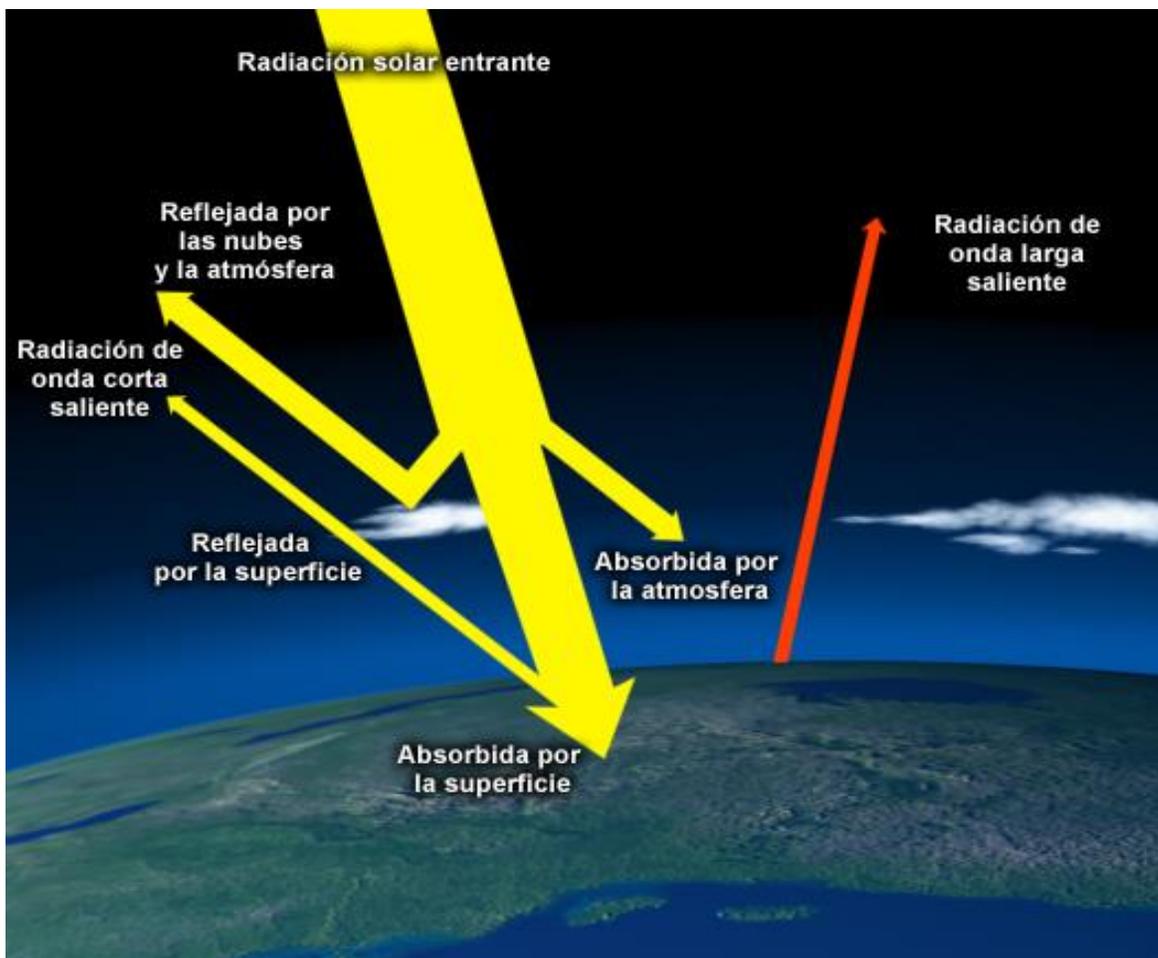


Figura III-2: Distribución de la energía solar, Fuente www.astrociencia.com

III.3 Variabilidad de la Radiación Solar

La radiación solar que llega a la tierra desde el sol representa variaciones a lo largo del año. La variabilidad de la radiación solar que llega al tope de la atmósfera se explica principalmente debido a las variaciones de la posición de la tierra en su órbita alrededor del sol y de la posición del eje terrestre respecto del plano de la órbita. En la situación más sencilla, si la tierra girara en torno al sol en una órbita circular y su eje no estuviera inclinado respecto al plano de la órbita no existirían cambios en la radiación experimentada al tope de la atmósfera en distintas épocas del año, pues la radiación recibida se atenúa según el cuadrado de la distancia al sol.

La tierra está inclinada respecto del plano orbital en un ángulo de aproximadamente 23 grados. 2. El sol no se ubica al centro de una órbita circular, sino más bien en el foco de una órbita ligeramente elíptica (con una excentricidad de 0.0167). Esto hace que la distancia entre la tierra y el sol varíe en alrededor de un 4% a lo largo del año. A pesar de que la órbita terrestre no es circular, es la inclinación del eje terrestre, respecto del plano de la órbita, lo que da lugar a las estaciones del año. Esto debido a que la radiación sufre de un efecto de dilución que depende de la inclinación con la que incide en una superficie. A latitudes más altas el sol impacta a la superficie de manera oblicua, y por lo tanto, mientras mayor es el ángulo cenital, mayor es el área iluminada por un haz de luz, y por tanto, la energía es distribuida sobre un área mayor.

La cantidad de radiación que llega a un determinado lugar en promedio durante un día queda determinada por la ubicación del planeta respecto de la órbita del sol, es decir, el día del año, y por su latitud.

Es necesario destacar que no toda la energía solar es aprovechada por los paneles solares, parte de la energía es reflejada en la atmósfera en las nubes hacia el espacio exterior, otro porcentaje se pierde por la atenuación provocada por la capa de ozono, por el vapor de agua y aerosoles (humo, polvo, etc.).

Tabla III-1: Radiación recibida y absorbida por la tierra, Fuente “sun damage and prevention” Naylor, Mark; Kevin C. Frammer (1995).

Radiación recibida por la tierra	%	Radiación absorbida por la tierra	%
Directa a la tierra	26	Por la atmósfera	16
Indirecta a la tierra	11	Por las nubes	2
Difusa a la tierra	14	Por ozono y otros gases	1
Perdida por reflexión	4		
Total de radiación	55		19

Tabla III-2: Energía Solar Reflejada, Fuente “sun damage and prevention” Naylor, Mark; Kevin C. Frammer (1995).

Energía Solar Reflejada	(%)
Radiación reflejada por los materiales terrestres (Indirectamente)	10
Radiación reflejada por las nubes (directamente)	24

III.4 Radiación solar en Chile

Estudios e investigaciones realizadas por la Universidad de Chile por encargo del Ministerio de Energía han logrado determinar que nuestro país tiene un gran potencial de energía solar. Con una radiación estimada entre 7 y 7,5 Kwh/m² el norte grande de nuestro país es la zona del mundo que recibe mayor cantidad de radiación solar, este gran potencial ha permitido la realización de varios proyectos.

Cabe destacar que la radiación solar en Chile es de mayor o menor intensidad dependiendo de la zona del país. Las condiciones meteorológicas de la zona norte permiten tener cielos con muy poca nubosidad y humedad recibiendo casi únicamente radiación directa.

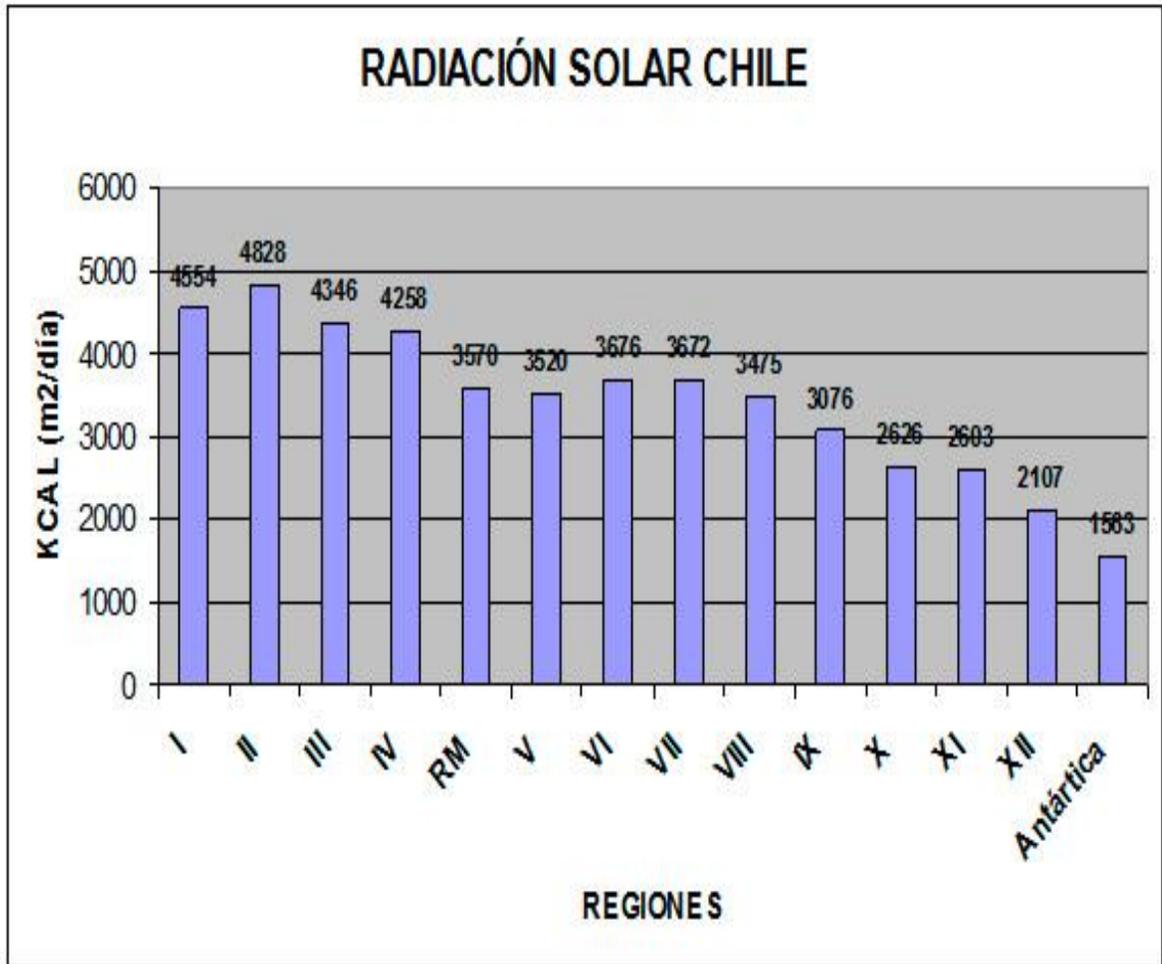


Grafico III-1: Radiación Solar por Región, Fuente www.chile-solar.cl

III.5 Radiación solar en Talcahuano.

Tabla III-3: Radiación mensual en Talcahuano Fuente Sistemas Solares Térmicos II, guía de diseño e instalación para grandes Sistemas de A.C.S.

Mes	Radiación solar mensual (Kwh/m ²)
Enero	222,22
Febrero	168,22
Marzo	149,45
Abril	98,45
Mayo	57,22
Junio	45,22
Julio	50,22
Agosto	77,22
Septiembre	113,45
Octubre	165,22
Noviembre	192,45
Diciembre	216,22
Total	1.555,57

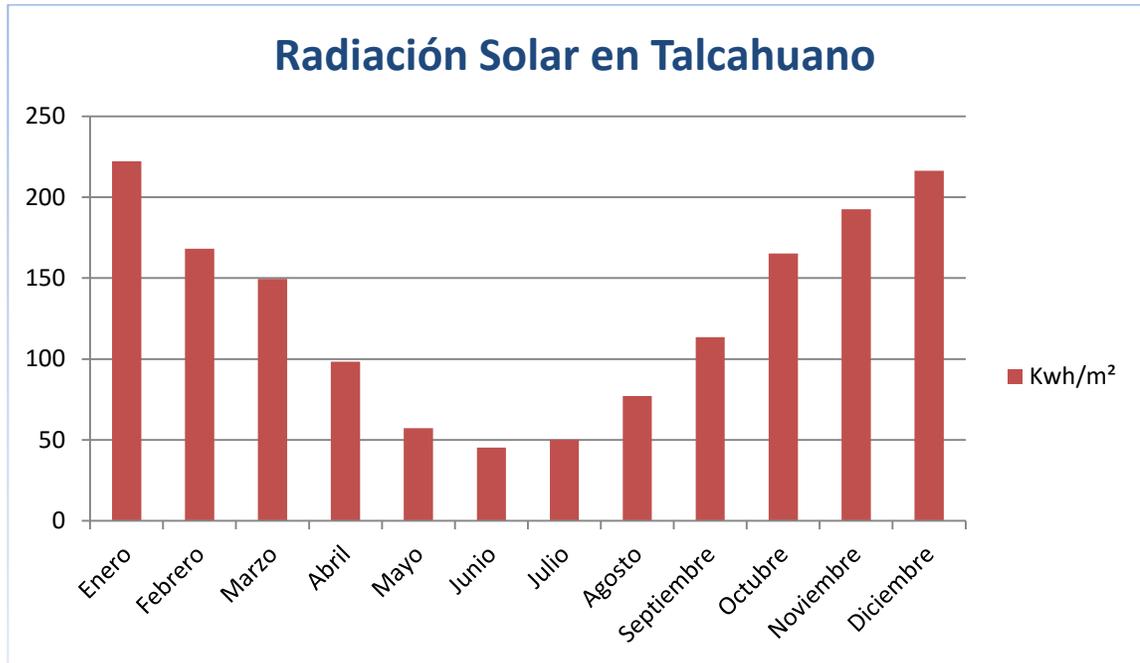


Grafico III-2: Radiación solar mensual en Kwh/m²

La ciudad de Talcahuano posee excelentes índices de radiación como se puede apreciar en la tabla anterior, lo que hace posible la implementación de paneles solares térmicos, cabe destacar eso sí, la marcada diferencia de radiación solar para las distintas épocas del año, si comparamos la radiación en invierno es claramente menor a los meses de verano, lo que se traducirá en una disminución en el aporte solar para generar Agua Caliente Sanitaria.

III.6 La energía solar térmica para agua caliente sanitaria (ACS)

La energía solar térmica se define como el aprovechamiento de la energía del sol para generar calor mediante el uso de colectores o paneles solares, la energía solar se encarga de calentar el agua a temperaturas que pueden oscilar entre los 40°C y 60°C, pudiéndose utilizar para cocinar o para uso como agua caliente sanitaria (A.C.S.), existiendo en la actualidad una diversa gama de paneles o también llamados colectores solares los cuales serán descritos en capítulos posteriores.

El agua caliente sanitaria (A.C.S.) es una necesidad derivada del nivel de confort de las sociedades actuales, su disponibilidad en el interior de los hogares es una exigencia mínima de bienestar, pero a su vez debe considerarse como un verdadero privilegio, pues trae asociado el consumo de dos recursos en la actualidad muy escasos: Energía y Agua.

Aunque la disponibilidad de A.C.S. no esté completamente generalizada en nuestro país, es evidente que el desarrollo social implicara que se extienda y masifique su uso, según estudios del instituto nacional de estadísticas (INE) de los más de 4.2 millones de hogares que había en el año 2002 solo la mitad disponía de sistemas de producción de ACS, quedando mucho por hacer.

Actualmente la energía utilizada para producir ACS en un 90% es el gas a través de calefón y el porcentaje restante es eléctrico, por lo que es crucial que no solamente se promueva elementos tecnológicos para disminuir el consumo de energía, sino que además se cree una conciencia de la población del país para que su uso sea en forma racionalizada.

- Sin considerar la escases tanto de agua como de gas, los sistemas de producción de agua caliente, se diseñan como un equipamiento más dentro de la vivienda y pasan a segundo plano, pero afortunadamente como la sociedad empieza a ser más consciente del uso eficiente de los recursos, exige aplicar ciertos criterios de

desarrollo sostenible para el consumo de ACS, teniendo entre ellos los siguientes:

- La demanda de A.C.S. debe ser la indispensable, para cubrir las necesidades.
- Debe haber un uso racional del recurso.
- Deben utilizarse procedimientos eficientes en la utilización del agua y en la conversión de energía.
- Debe utilizarse energía renovable para cubrir parte de estas necesidades.

III.7 Ventajas y desventajas de los Sistemas Solares Térmicos para agua caliente sanitaria (A.C.S.).

Existen variadas ventajas en la utilización de estos sistemas entre las cuales tenemos:

III. Ventajas Estratégicas

- Contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).
- Reduce dependencia energética con el exterior.
- Genera un mayor valor para los inmuebles que la incorporan.
- Genera puestos calificados de trabajo directos en la producción, instalación y mantenimiento de los sistemas solares.

IV. Ventajas Económicas

- Reducción directa de costo asociado al calentamiento de agua, ya sea de electricidad o combustibles como gas o leña.

- En la mayoría de los casos, tanto en viviendas unifamiliares como en edificios, las instalaciones de energía solar térmica pueden proporcionar entre un 50% y un 70% del agua caliente demandada. El resto de la demanda puede ser suplida por sistemas convencionales de producción de agua caliente (caldera de gas o gasóleo, calefón doméstico, etc.).
- La inversión se amortiza con el ahorro energético. Actualmente, las instalaciones solares térmicas pueden quedar amortizadas a partir de 4 a 6 años, con una vida útil de 20 años en promedio. El período de amortización efectivo dependerá del tipo de combustible que se sustituye y de las variaciones de su precio.
- El costo de operación y mantenimiento disminuye a medida que la tecnología va avanzando, en tanto el costo de los combustibles aumenta con el paso del tiempo al ser éstos cada vez más escasos.

V. Ventajas Ambientales

- Al tratarse de una energía renovable permite sustituir una parte del consumo de combustibles fósiles y/o electricidad, evitando o postergando el agotamiento de los limitados recursos naturales.
- No emite gases perjudiciales para la salud ni emite gases de efecto invernadero que afecten el cambio climático.
- Por otro lado, la energía solar es una fuente inagotable, limpia, silenciosa y confiable. En gran parte de nuestro país está además presente en forma abundante.
- Los Colectores Solares Térmicos proporcionan un valor agregado a todo tipo de viviendas. A modo de ejemplo, una casa unifamiliar que tenga instalada 2 m² de paneles evita la emisión de 1,5 toneladas de CO₂ al año.

Desventajas de los Sistemas Solares Térmicos para agua caliente sanitaria (ACS)

- Alto costo de inversión inicial para la instalación.
- Producción variable según clima del lugar y época del año.
- Al tener una producción variable, implica la necesidad de acoplarle como respaldo un sistema convencional (electricidad o calefón), el cual entrega la diferencia térmica que el sistema solar térmico no puede entregar.
- En algunos casos, en especial en edificios ya construidos es necesario adaptar o crear nuevos espacios físicos para instalar, los componentes del sistema solar térmico, sobre todo cuando el depósito acumulador (DA) de agua caliente no está integrado al colector solar.
- Los sistemas son instalados en las partes altas del edificio (techo) por lo que no son amigables con la construcción arquitectónica del mismo o de la comunidad.

III.8 Selección del equipo solar térmico para agua caliente sanitaria

Para seleccionar la configuración básica de un equipo solar térmico existen una serie de criterios generales asociados al lugar de emplazamiento del SST (características climáticas y del agua del lugar) o a la localización concreta (planeamiento urbano, tipo de edificación y tipo de usuarios)

En segundo lugar se tiene que determinar el dimensionado básico, el cual se refiere a los criterios necesarios para seleccionar el tamaño del equipo solar que de mejor manera se adapte a la demanda prevista.

También hay que conocer las condiciones específicas del edificio, así como sus instalaciones, lo que permitirá concretar la tipología del equipo.

Selección entre sistema directo o indirecto. Esto se refiere a la forma de transferir la energía del circuito primario de colectores al circuito de consumo.

Directa: el fluido de trabajo de los colectores es la misma agua de consumo.

Indirecto: el fluido de trabajo de los colectores es diferente al agua de consumo.

VI. Factores principales para seleccionar.

- Riesgo de heladas : El riesgo de heladas se define en base a la temperatura mínima registrada en un periodo largo de tiempo, cuando exista riesgo de heladas, debe definirse el procedimiento de protección anti-heladas del que disponga en equipo.
- Características y dureza del agua: se refiere a según la ubicación geográfica del sistema térmico solar varía las características propias del agua, el agua dura es aquella que contiene un alto nivel de minerales, particularmente sales de Magnesio y Calcio.

Si se proyecta un SST en zonas con riesgo de heladas y con aguas muy duras se deberá utilizar un sistema de tipo indirecto y buscar métodos y soluciones a los problemas de incrustaciones calcáreas (sarro, que se produce en las cañerías).

III.9 Selección entre circulación forzada o natural

Circulación forzada: utiliza una pequeña bomba para realizar la circulación del agua caliente hacia el acumulador.

Circulación natural: conocido como tipo termosifón, en este caso el acumulador está alojado sobre los paneles solares, permitiendo la convección por diferencia de temperatura.

Para cada caso en particular se deben evaluar los siguientes criterios:

Tabla III-4: Criterios entre circulación forzada o natural, Fuente Manual Técnico Solar 2013.

CRITERIO	SISTEMA DIRECTO	SISTEMA INDIRECTO
Integración arquitectónica	Más sencilla	Con dificultad
Emplazamiento del acumulador	Espacio interior disponible	Capacidad de soportar su peso
Mayores Perdidas térmicas del SST	En el circuito primario	En acumulador y por consumo
Costos de inversión	Mayor	Menor

Además se debe tomar en consideración lo siguiente:

- 1.- En edificios la integración arquitectónica puede ser determinante
- 2.- Cuando se determina utilizar un equipo con el depósito acumulador (DA) integrado al colector (termosifón) producto del peso del sistema se tendrá que utilizar una estructura que podría ser muy costosa.
- 3.- Cuando se determina usar un sistema sin DA integrado al colector (sistema forzado) se deberá ocupar espacios en el interior del edificio.
- 4.- Las pérdidas térmicas, si no se adoptan las medidas necesarias pueden ser muy importantes, por lo cual el DA debe estar lo más cercano al sistema auxiliar y de los puntos de consumo, de manera que la longitud de las cañerías sean lo más corta posible.
- 5.- Cuando el costo de inversión es un factor, la mejor opción es utilizar un sistema de circulación natural (Termosifón).

III.10 Selección del tamaño del SST

El parámetro básico para determinar el tamaño del sistema es el consumo medio diario de agua caliente, siendo este dato fundamental para calcular la demanda de

energía y los ahorros que los SST puedan producir. Con ese cálculo se determina la contribución solar del equipo, se debe prestar atención a la cuantificación del consumo adquiriendo toda la información, entre ellas las horas de mayor consumo, costumbres del usuario y las características de la instalación convencional si existiera.

III.11 Descripción básica de un Sistema Solar Térmico (SST)

Un Sistema Solar Térmico (SST) 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 es el encargado de cubrir las diferencias térmicas que el aporte solar no alcance a proveer al sistema.

El SST es un conjunto de equipos y componentes que forman una instalación solar térmica distinguiéndose las siguientes partes:

VII. Sistema de captación.

Es en donde se transforma la radiación solar incidente en energía térmica aumentando la temperatura de un fluido de trabajo o también llamado fluido caloportador, este puede ser agua de la llave que pasa directamente por el sistema de captación o un fluido que luego intercambia el calor con el sistema, en si el sistema de captación es el colector solar.

VIII. Sistema de acumulación.

Almacena el agua ya calentada por el captador solar hasta que se disponga su uso.

IX. Sistema de intercambio.

Realiza la transferencia de energía térmica entre el fluido de trabajo que circula por el circuito primario y el de circuito secundario (agua de consumo).

X. Sistema de apoyo.

Complementa el aporte solar suministrando la energía necesaria para cubrir el consumo previsto, como sistema de apoyo por lo general y en este trabajo no será la excepción se utiliza el calefón

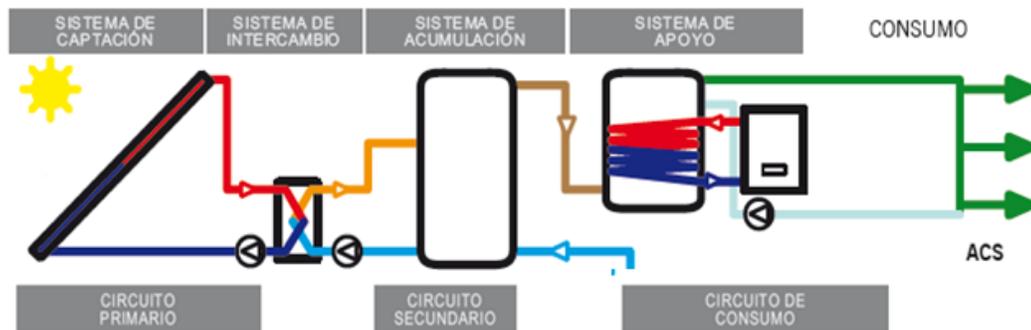


Figura III-3: Esquema básico del SST, Fuente www.programasolar.cl

III.12 Tipos de instalaciones de un Sistema Solar Térmico

1.- Sistemas solares de calentamiento compactos o prefabricados: Productos fabricados mediante un proceso estandarizado y en lotes que presume resultados uniformes en prestaciones, estos son vendidos como equipos completos y listos para instalar, estando en el mercado bajo un nombre comercial único.

Dentro de los sistemas prefabricados existen 2 tipos:

XI. Compacto

Todos los componentes del sistema se encuentran montados en una sola unidad, aunque físicamente puedan estar diferenciados.



Figura III-4: Sistema Solar Térmico compacto tipo Heat Pipe

XII. Partido

Cuando los componentes del sistema se encuentran separados y existe una diferencia física relevante entre el sistema de captación y el sistema de acumulación.



Figura III-5: Sistema Solar Térmico partido tipo Heat Pipe

XIII. Sistemas solares de calentamiento a medida

Son aquellos diseñados mediante el ensamblado de diversos componentes, los componentes se ensayan de forma separada y los resultados de los ensayos se integran en una evaluación del sistema completo.

IV. TIPOS DE COLECTORES SOLARES TERMICOS

El colector solar térmico es el dispositivo que transforma la radiación solar en energía térmica (calor); esta 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.

El colector debe producir el calor de manera eficiente y además debe estar diseñado para soportar la exposición a las condiciones climáticas, tales como: lluvia, nieve, granizo. Polvo, bajas y altas temperaturas, etc.

El tamaño de los colectores más utilizados se encuentra en el rango de los 2 m² aunque se fabrican colectores de diferentes tamaños, el peso aproximado de un colector con una cubierta de cristal, que es el más utilizado en instalaciones de Agua Caliente Sanitaria varía entre 15 (Kg/m²).

IV.1 Dentro de los colectores solares existen 2 tipos:

- 1.- Colectores planos
- 2.- Colectores de tubos de vacío

XIV. Colectores solares planos

Este tipo de colectores tienen una cubierta de vidrio y el absorbedor corresponde a una placa plana metálica, la cual se calienta al recibir la radiación solar que atraviesa la cubierta

El colector solar plano funciona basado en el “efecto invernadero” y se corresponde con las propiedades de transmisión de la cubierta:

- De la radiación solar incidente, de longitud de onda corta ($0,3-3\mu\text{m}$), una parte es reflejada, otro pequeño porcentaje es absorbido por la cubierta y una gran parte la atraviesa e incide sobre el absorbedor que la transforma en calor aumentando su temperatura.
- El absorbedor, al calentarse emite radiación en una longitud de onda larga ($3-30\mu\text{m}$), que no puede salir al exterior debido a que la cubierta es opaca frente a esa radiación.

Se fabrica una gran variedad de absorbedores, siendo los más comercializados los de circuito de tubos de cobre en forma de parrilla o de serpentín.

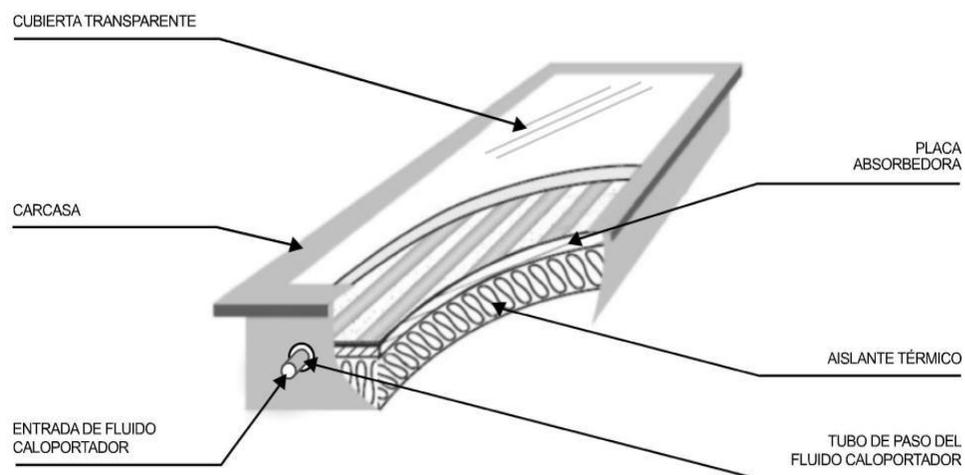


Figura IV-1: Componentes principales de un colector solar plano, Fuente www.Programasolar.cl

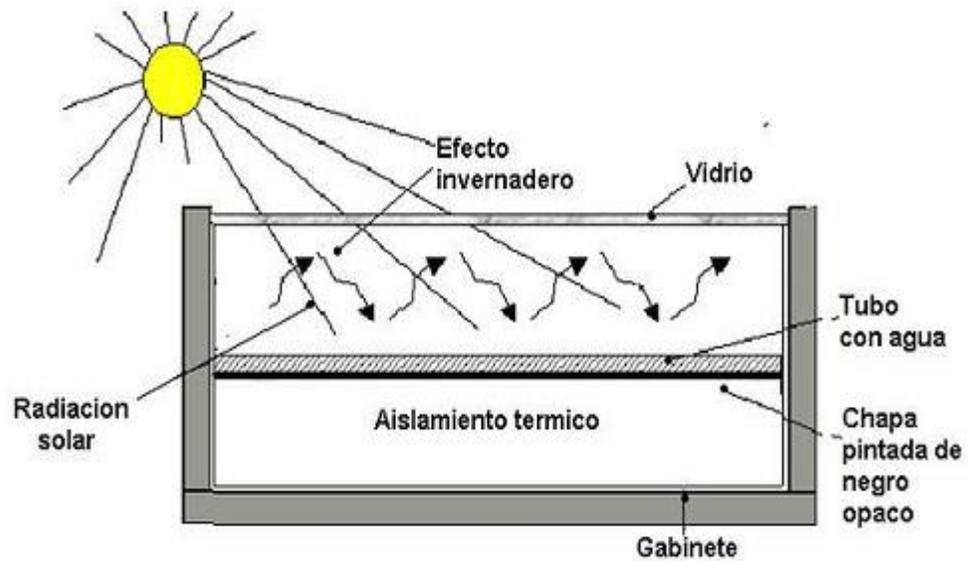


Figura IV-2: Detalle esquemático de un colector solar plano, Fuente www.solepanel.cl

XV. Otros colectores solares planos:

- Colector sin cubierta
- Colector con varias cubiertas
- Colector de vacío
- Colector a medida

IV.2 Colectores de tubos de vacío

En este tipo de colectores se reducen las pérdidas térmicas, tanto de convección como las de conducción, al hacerse el vacío en el espacio entre el absorbedor y el tubo exterior, con esto se consigue alcanzar temperaturas elevadas. El nivel de vacío es un

parámetro fundamental en la efectividad de la reducción de las pérdidas térmicas y a la vez el parámetro cuya fiabilidad a largo plazo es difícil de garantizar.

Un colector de tubos al vacío está compuesto por un conjunto de tubos conectados con un distribuidor, cada uno de los cuales está formado por uno o más tubos por donde circula el fluido a calentar y un tubo de vidrio como cubierta y envolvente exterior.

IV.3 Tipos de colectores de tubos al vacío.

XVI. Colector de vacío de tubos de calor (Heat Pipe)

En el interior del tubo hay un tubo cerrado de cobre que dispone de aletas como absorbedor por ambos extremos (tubo de calor), en cuyo interior hay un fluido caloportador a la presión adecuada para que se evapore y se condense en un rango determinado de temperatura. Al calentarse el tubo absorbedor, se evapora una parte del líquido desplazándose en forma de vapor a la parte superior del tubo donde en un bloque de transferencia cede calor a otro fluido de trabajo, se condensa y vuelve a estado líquido para descender por el tubo hasta que se evapore otra vez.

Estos colectores necesitan que los tubos tengan una inclinación mínima (superior a 20°) para funcionar correctamente.

Cuando la temperatura del distribuidor es superior a la de evaporación del fluido de trabajo, se produce la evaporación total y se paraliza la transferencia de calor a través del fluido; únicamente actúa la conducción directa a través del tubo.

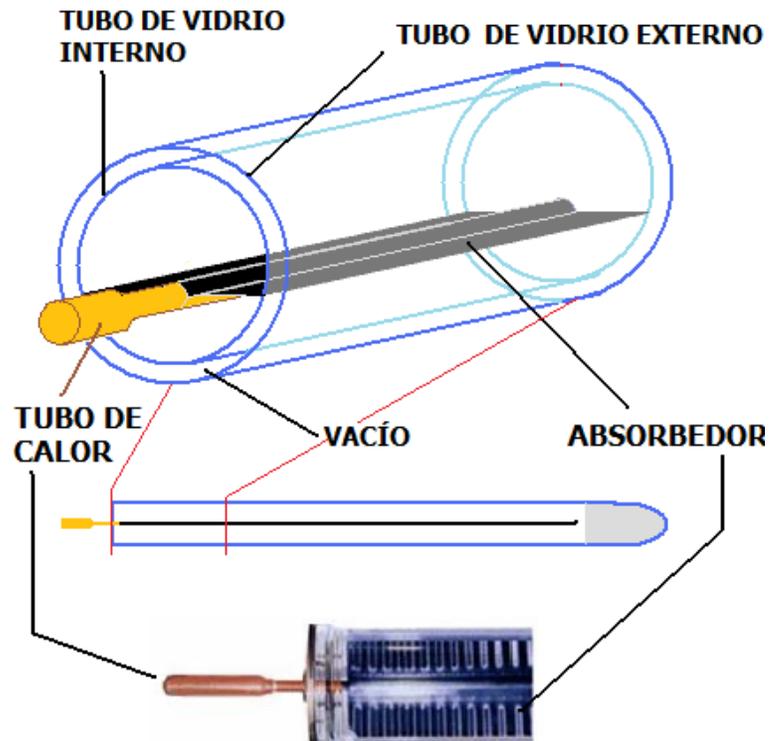


Figura IV-3: Esquema de partes de un colector solar Heat Pipe, Fuente www.energiasrenovables.com.

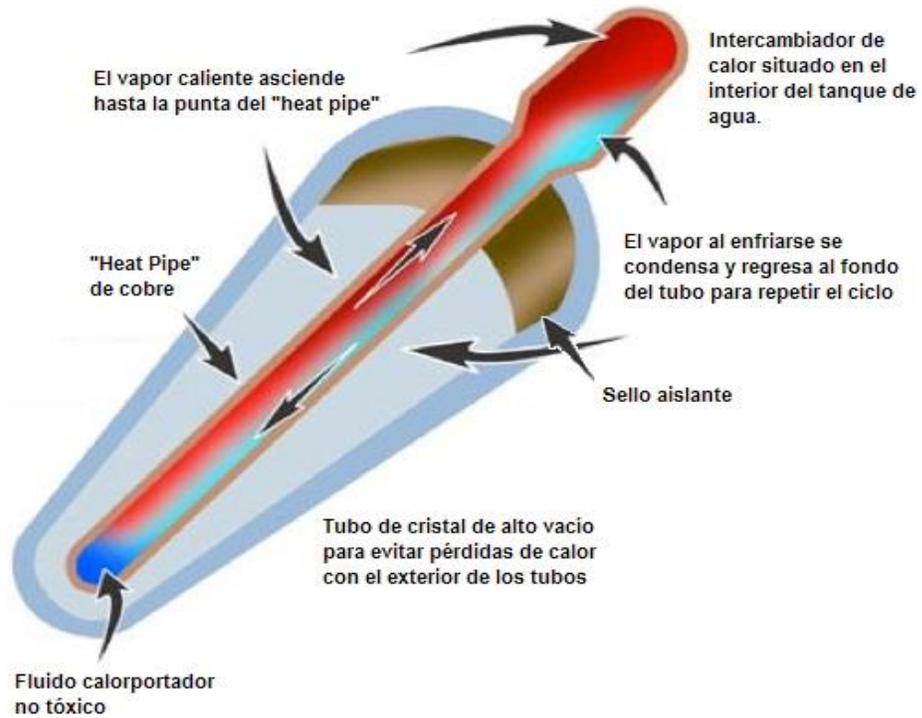


Figura IV-4: Principio de funcionamiento de los tubos al vacío, Fuente www.energiasrenovables.com.

XVII. Otros colectores de tubo de vacío:

- Colector de vacío de tubo en U (U-tube).
- Colector de vacío de flujo directo.

V. INCORPORACION DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO EN UN EDIFICIO

Para la incorporación del SST En los edificios y la adaptación a sus instalaciones se deben analizar los siguientes factores:

- 1.- Integración arquitectónica
- 2.- Orientación, inclinación y sombras
- 3.- Seguridad y solución estructural
- 4.- Equipo de energía auxiliar, su conexionado y recorridos hasta consumo
- 5.- Otros factores

V.1 Integración arquitectónica.

En su concepto más amplio la integración arquitectónica de SST se refiere a todos los factores que permiten su adaptación al edificio así como las medidas que se toman para facilitar la instalación del equipo solar, estos factores comprenden desde condiciones urbanísticas, hasta pequeños detalles constructivos pasando por el diseño del edificio y normativas que se deban cumplir.

En los edificios ya existentes, como es el caso de esta tesis las soluciones integradas suelen ser más complicadas de implementar, a menos que exista una superficie disponible y orientada aproximadamente al norte que permita la instalación de colectores

V.2 Orientación, inclinación y sombras.

Es evidente que si la superficie de captación de un equipo no está expuesta a la máxima insolación posible no cumplirá los objetivos previstos, por lo que hay que cuidar tanto el lugar como la forma de implantación.

Como criterio general, la mejor orientación de los colectores solares es el norte geográfico, sin embargo las desviaciones incluso hasta $\pm 45^\circ$, respecto al norte geográfico no afectan en forma significativa a las prestaciones de la instalación aunque debería evaluarse la disminución de prestaciones en cada caso y siempre analizar cómo afecta esa disminución en verano e invierno.

Así también para cada caso, debería estudiarse y justificarse la inclinación óptima de los colectores, aunque en primera aproximación y admitiendo desviaciones de hasta $\pm 15^\circ$, la inclinación de colectores respecto al plano horizontal se puede estimar con los siguientes criterios:

- En instalaciones de uso anual constante: la latitud geográfica
- En instalaciones de uso estival: la latitud geográfica -10°
- En instalaciones de uso invernal: la latitud geográfica $+10^\circ$

Por otro lado a la hora de determinar la ubicación de los colectores solares en el edificio se debe tomar en cuenta las sombras, tanto alejadas (de otras edificaciones), como las cercanas del mismo edificio u obstáculos puntuales (extractores, chimeneas), así como las predecibles en el futuro (nuevos edificios o crecimientos de árboles).

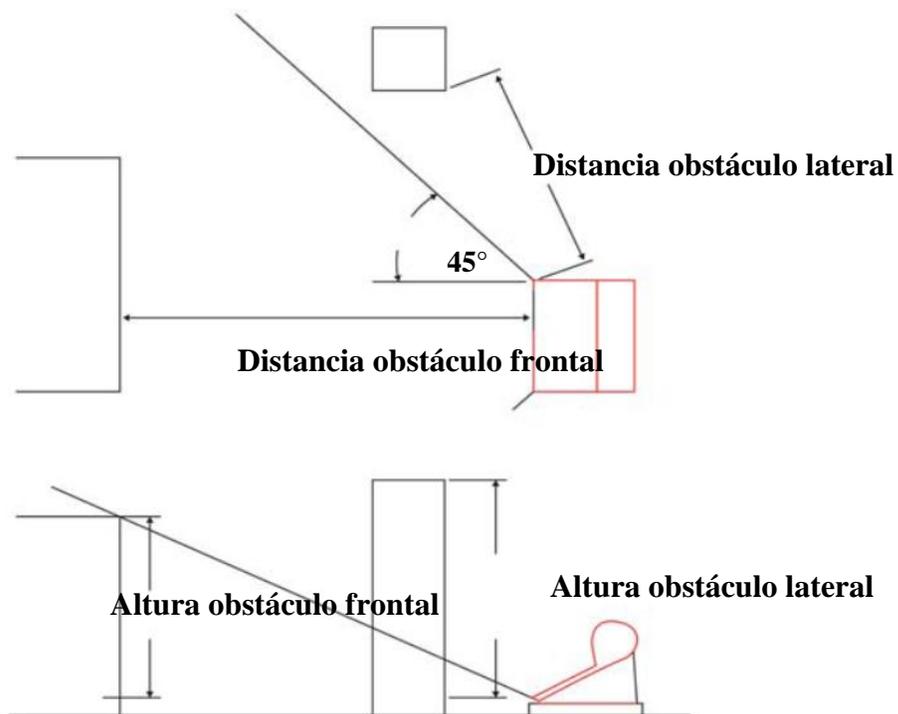


Figura V-1: Planta de alzado y obstáculos frontal y lateral de un SST, Fuente: Manual Técnico Solar 2013

V.3 Equipo auxiliar y su acoplamiento al SST

En periodos de baja radiación solar o con altas demandas de consumidores, se necesita un equipo de apoyo convencional, para asegurar la continuidad en el suministro de agua caliente sanitaria

XVIII. Existen diferentes equipos entre los cuales tenemos:

- Instantáneo (calefón, calentador eléctrico o caldera mixta).
- Con acumulación (termo eléctrico o acumulador con caldera).
- Incorporado al acumulador solar (resistencia eléctrica).

Cuando el equipo auxiliar es externo al SST, el conexionado en el circuito de consumo debe ser siempre en serie de tal manera que el agua fría entre primero en el acumulador solar, posteriormente pase precalentada al sistema auxiliar y de este a los puntos de consumo.

Se deben tomar medidas con el fin de proteger al equipo auxiliar si este no soporta las temperaturas de salida del SST y también para impedir que llegue a los puntos de consumo agua con temperatura muy elevada ($> 60^{\circ}\text{C}$), con el fin de evitar quemaduras en los usuarios.

V.4 Representación de medidas de seguridad en Sistema Solar Térmico Termosifón.

V.5

Con válvula mezcladora termostática a la salida del sistema auxiliar, para protección del usuario si el equipo auxiliar soporta la temperatura del equipo solar.

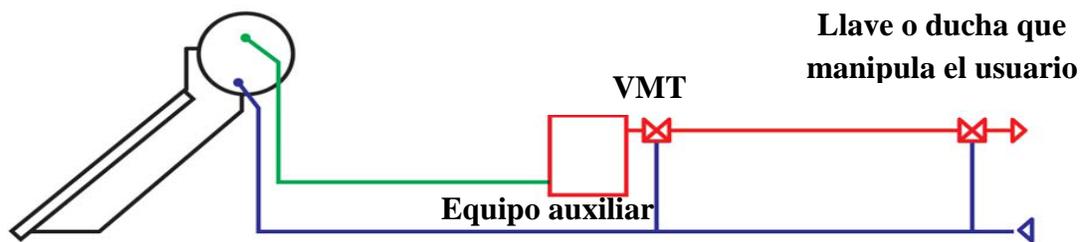


Figura V-2: Protección entre el sistema y el equipo auxiliar (calefon), Fuente: Manual Técnico Solar 2013

V.6

Con válvula mezcladora termostática a la salida del equipo solar, con el fin de limitar la temperatura de entrada al equipo auxiliar, además de una válvula mezcladora termostática en caso que la temperatura de salida del equipo auxiliar sea superior a 60°C.

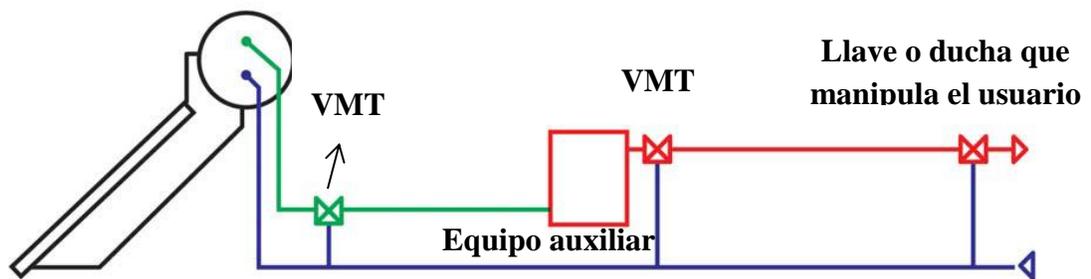


Figura V-3: Protección entre el sistema y el equipo auxiliar (calefon), Fuente: Manual Técnico Solar 2013

VI. ANALISIS TÉCNICO Y DE CÁLCULO PARA EL DIMENSIONADO DE COLECTORES PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA TÉRMICO SOLAR EN EL EDIFICIO.

El análisis a realizar determinará cuantos colectores solares son necesarios para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria durante todo el año, para lo cual se utilizara el método f- Chart.

Para realizar este análisis es necesario verificar los requerimientos y los factores que intervienen en la operación de este tipo de instalaciones entre ellos tenemos, tipo de colector a utilizar de acuerdo al lugar donde se instalarán, características del edificio, así como el sistema utilizado en la actualidad para generar A.C.S., demanda energética, temperatura del agua, consumo de agua, etc.

VI.1 Elección del colector solar.

Explicado en párrafos anteriores existen 2 tipos de colectores solares estos son:

- Colectores solares planos
- Colectores solares Heat Pipe.

XIX. Características de los colectores.

Tabla VI-1: Características de los colectores solares a elegir, Elaboración propia

Colectores solares de tubos al vacío Heat Pipe	Colectores solares planos
Debido a la forma cilíndrica del tubo, el sol es perpendicular a la superficie de los tubos la mayor parte del día Requiere menor cantidad de colectores.	Al tener una superficie plana, el sol es solamente perpendicular al colector a horas determinadas (medio día), necesita mayor cantidad de colectores.
El vacío de los tubos reduce la pérdida del calor, el viento y las temperaturas frías tienen efecto mínimo en la eficiencia del colector la mayor parte del día.	No hay vacío, el viento y las bajas temperaturas afectan la eficiencia del colector.

Se utiliza con temperaturas bajo cero sin necesidad de líquidos Anticongelantes. Las bajas temperaturas no dañan los colectores.	Uso de líquidos Anticongelantes: si falta el líquido y hay bajas temperaturas, el colector se rompe. Requiere mantención constante.
Los tubos al vacío son testeados a los impactos, y si se rompiera un tubo, el sistema sigue funcionando, pudiendo ser fácilmente cambiado.	Si se rompe el colector, el sistema solar debe ser detenido y cambiar el colector completo antes de volver a ponerlo en marcha.
EL vacío del tubo permite evitar la condensación, corrosión, disminuyendo los tiempos de mantenimiento a cero.	Es más proclive a presentar condensaciones y corrosión especialmente cuando se deterioran las juntas entre el cristal y la caja, afectando el rendimiento y la durabilidad.
Por su diseño curvo y por el espacio entre los tubos, el polvo no se acumula en el colector	Por su diseño plano, acumula polvo y suciedad, lo que se traduce en menor transferencia de calor.

Por las características de cada tipo de colector y por las condiciones climáticas y de radiación solar existentes en la zona, se decidió utilizar el colector solar prefabricado de tipo Heat Pipe con modo de funcionamiento termosifón para suministrar agua caliente sanitaria a un edificio de habitabilidad, el cual entrega las condiciones para efectuar el proceso de ducha y aseo personal a 50 personas diariamente, el edificio se encuentra ubicado en la ciudad de Talcahuano, VIII Región.

VI.2 Características del sistema utilizado actualmente para A.C.S. en el edificio.

El edificio cuenta con un sector habilitado con 08 duchas y 10 lavamanos, siendo utilizado por aproximadamente 50 personas diariamente estando el énfasis en el uso por las mañanas, por el personal que se encuentra de guardia en la repartición.

El edificio utiliza para generar ACS energía convencional, particularmente gas natural de cañería, utilizando la cantidad de 6 calefón ionizados marca Orbis modelo 316 KPCN, estos son compatibles con la utilización de un Sistema Solar Térmico.



Figura VI-1: Calefon Orbis modelo 316 KPCN, utilizado como equipo generador de ACS en la repartición

XX. Características del calefon Orbis modelo 316 KPCN

- Capacidad: 16 L/min.
- Comando Botonera con display digital.
- Encendido automático Ionizado: sin llama piloto permanente.
- Enciende al abrir un punto de consumo de agua caliente.
- Filtro de agua removible de fácil acceso para su limpieza.
- Limitador de caudal de agua con regulación manual.
- Modulación electrónica termostática por caudal: los controles aumentan y disminuyen gradualmente la potencia del equipo en forma automática de acuerdo a los requerimientos de agua caliente, garantizando en todo momento la temperatura seleccionada.

XXI. Distribución de los calefon.

Como se indicó se utilizan 6 calefon para satisfacer la demanda de agua caliente sanitaria, los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

- 04 calefon para sector duchas, es decir 01 calefon cada 02 duchas.
- 01 calefon para sector sur de lavamanos (05 lavamanos).
- 01 calefon para sector norte de lavamanos (05 lavamanos).

VI.3 Sombras, obstáculos y orientación.

En los alrededores del edificio no existen zonas con obstáculos a tener en consideración, ya sea arboles de gran tamaño o edificios altos que puedan producir sombras en los captadores y por tanto perdidas de eficiencia en los mismos.

Los colectores solares serán instalados hacia el norte, siendo esta la mejor orientación para aprovechar al máximo la luz solar directa.

VI.4 Método f-Chart

El método f-Chart, también conocido como el método de las curvas f, es una herramienta que permite estimar el desempeño promedio a largo plazo de un sistema solar térmico. Gracias a la exactitud de los resultados que ofrece su correcto desarrollo, el método f-Chart es uno de los más utilizados para calcular las prestaciones de los sistemas solares de baja temperatura.

El método fue desarrollado por Sandfor Klein de la Universidad de Wisconsin en 1976. Es un método en base diaria que permite calcular el rendimiento de un sistema solar para producción de ACS y/o calefacción a partir de valores medios diarios en base mensual. El método contempla tanto captadores de agua como de aire y está basado en

principios físicos a través de números adimensionales que se obtienen de la ecuación de la energía solar captada por un captador solar.

El método f-Chart utiliza los resultados de ajustes de prestaciones calculadas con TRNSYS para simular el comportamiento de distintas instalaciones en función de sus localizaciones. La fracción solar que aporta dicho método es calculada a partir de dos parámetros adimensionales que se estiman a partir de las características técnicas de los componentes usados, de la demanda de energía, y teniendo en cuenta las condiciones meteorológicas y de operación.

f- Chart es un método en base mensual y está ampliamente aceptado como proceso de cálculo suficientemente exacto para largas estimaciones, por tanto, no ha de aplicarse para estimaciones de tipo semanal o diario. A priori, este método puede parecer más inexacto ya que no tiene en cuenta las pérdidas producidas en los captadores, pero sí utiliza factores de corrección que hace que también se ajuste a las necesidades reales. Para la aplicación del modelo f-Chart en el cálculo de los captadores solares necesarios y la fracción solar existente para las viviendas, es necesario conocer previamente la demanda de agua caliente sanitaria y la radiación existente.

La precisión del método f-Chart, fue estudiada en la Universidad de Colorado mediante la comparación del desempeño real de un sistema solar térmico con el desempeño estimado por el método, obteniendo un error máximo del 5%. El resultado fue la clasificación del método f-Chart como uno de los métodos de más alto grado de fiabilidad.

VI.5 La secuencia que suele seguirse en el cálculo es la siguiente:

1. Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de A.C.S. o calefacción.
2. Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada del captador o captadores.
3. Cálculo del parámetro X y X^2 .

4. Valoración de la cobertura solar mensual.
5. Valoración de la cobertura solar anual y formación de tablas.

En definitiva, el objetivo del método que nos ocupa es la obtención de la curva f y la estimación del desempeño del captador solar, siendo la curva f la representación de la fracción de carga calorífica mensual transformada a partir de la energía solar.

VI.6 Alcance del método

El método f-Chart no puede abarcar todas y cada una de las condiciones presentes en un sistema de este tipo. Presenta las siguientes limitaciones, aunque como se verá más adelante algunas podrán resolverse con una serie de correcciones:

- Método basado en datos diarios medios mensuales
- Considera sistemas de calefacción y producción de ACS, donde la carga de ACS es inferior al 20% de la carga de calefacción
- Considera despreciables las pérdidas en transporte y acumulación en base mensual.
- No incorpora el coeficiente de pérdidas de segundo orden del captador.
- No contempla que se alcance la temperatura máxima en el captador o en el acumulador.
- Es válido únicamente para una configuración de sistema solar térmico

VI.7 Calculo de demanda energética en instalaciones de agua caliente sanitaria

La demanda energética en instalaciones viene dada por el volumen de consumo diario y las temperaturas de preparación y de agua fría.

Tabla VI-2: Criterios de consumo Fuente: Sistemas Solares Térmicos, CDT

Criterio de Consumo	Lts./día	
Viviendas Unifamiliares	40	por persona
Viviendas Multifamiliares	30	por persona
Hospitales y Clínicas	80	por cama
Hoteles (4 Estrellas)	100	por cama
Hoteles (3 Estrellas)	80	por cama
Hoteles/Hostales (2 Estrellas)	60	por cama
Campings	60	por emplazamiento
Hostales/Pensiones (1 Estrella)	50	por cama
Residencias (ancianos, estudiantes, etc.)	80	por cama
Vestuarios/Duchas Colectivas	20	por servicio
Escuelas	5	por alumno
Cuarteles	30	por persona
Fábricas y Talleres	20	por persona
Oficinas	5	por persona
Gimnasios	30 a 40	por usuario
Lavanderías	5 a 7	por kilo de ropa
Restaurantes	8 a 15	por comida
Cafeterías	2	por almuerzo

Para el caso particular de nuestra repartición se utilizara el criterio de consumo de cuarteles, teniendo una demanda de 30 Lts/día por persona estimándose 50 personas que utilizarán el edificio.

Por lo tanto tenemos:

$$30 \left(\frac{\text{Lts}}{\text{día}} \right) \times 50 \text{ personas} = 1500 \text{ Lts}/\text{día} \times \frac{1}{1000} \frac{\text{m}^3}{\text{Lts}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{día} \quad (2)$$

Según datos históricos de la repartición se ocupan entre 1.2 m³ y 1,5 m³ de agua al día, dependiendo de la época del año, por lo cual el cálculo es válido.

VI.8 Temperatura del agua de red

Tabla VI-3: T° del agua de la red en el área de Talcahuano, Fuente Sistemas Solares Térmicos II, guía de diseño e instalación para grandes Sistemas de A.C.S.

Mes	Temperatura del agua de red (°C)
ENERO	14,8
FEBRERO	13,8
MARZO	13,8
ABRIL	12,8
MAYO	11,8
JUNIO	11,3
JULIO	10,8
AGOSTO	11,3
SEPTIEMBRE	11,8
OCTUBRE	12,3
NOVIEMBRE	13,3
DICIEMBRE	13,8
MEDIA ANUAL	12,7

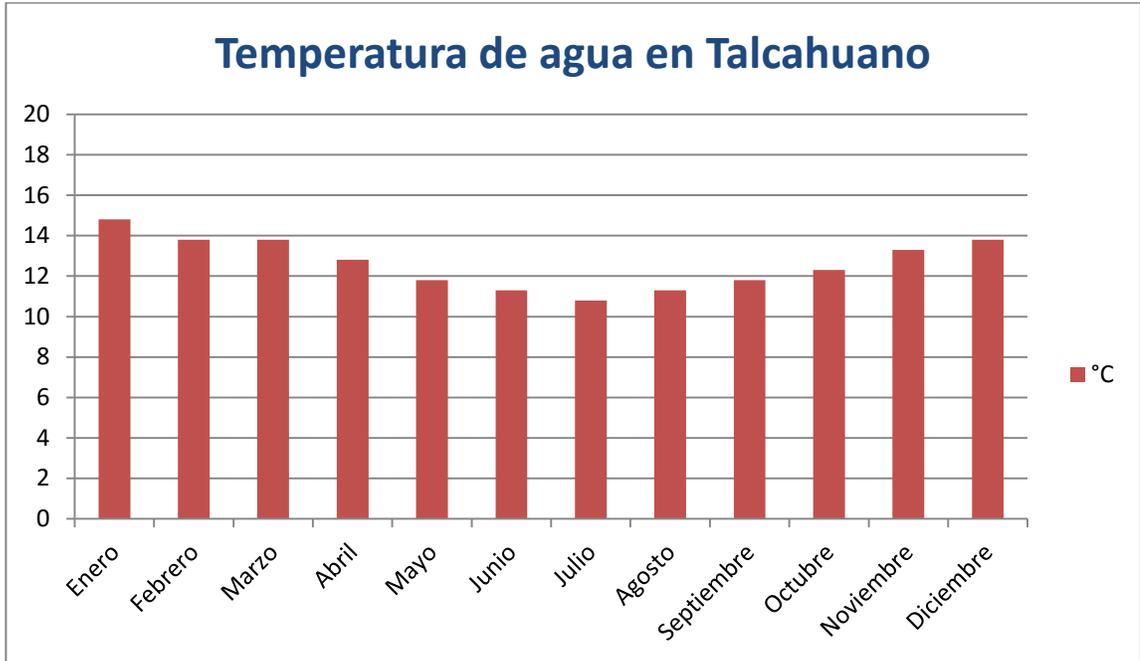


Grafico VI-1: Temperatura en °C mensual del agua en Talcahuano, Elaboración Propia

VI.9 Cálculo del salto térmico a cubrir

La diferencia entre la temperatura de acumulación final de ACS y la temperatura del agua de la red. Temperatura de agua caliente según RITCH 02.5.1 la temperatura óptima para A.C.S. es de 45°C.

Tabla VI-4: Temperatura de agua caliente y salto térmico a cubrir, Elaboración propia

MES	T° red (°C)	T° acumulación (°C)	Salto térmico (°C)
ENERO	14,8	45	30,2
FEBRERO	13,8	45	31,2
MARZO	13,8	45	31,2
ABRIL	12,8	45	32,2
MAYO	11,8	45	33,2
JUNIO	11,3	45	33,7
JULIO	10,8	45	34,2
AGOSTO	11,3	45	33,7
SEPTIEMBRE	11,8	45	33,2
OCTUBRE	12,3	45	32,7
NOVIEMBRE	13,3	45	31,7
DICIEMBRE	13,8	45	31,2
MEDIA ANUAL	12,7	45	32,3

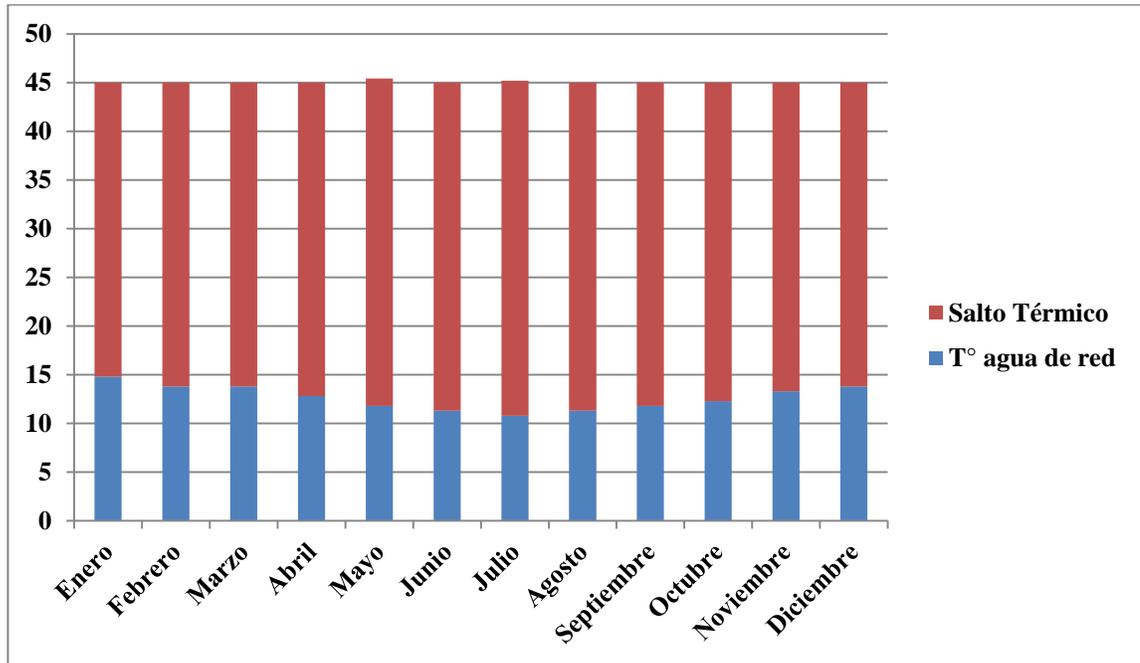


Grafico VI-2: Salto térmico a cubrir

VI.10 Calculo de la energía necesaria para cubrir el salto térmico

Aplicación de la fórmula de calor:

$$Q_{\text{agua}} = \text{densidad del agua} \times \text{calor específico del agua} \times \Delta T$$

Entonces tenemos:

$$\text{Densidad del agua} = (1 \text{ g/cm}^3) = 1000 \left(\text{Kg/m}^3 \right)$$

$$\text{Calor específico del agua} = 1 \left(\text{cal/g} \times \text{°C} \right) = 4,186 \left(\text{J/Kg} \times \text{°C} \right)$$

Ejemplo para el mes de marzo tenemos:

$$Q_{\text{marzo}} = 1,5 \text{ m}^3/\text{dia} \times 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3 \times 4,186 \text{ J}/\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 31,2^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$Q_{\text{marzo}} = 195,9 \text{ MJ}/\text{dia} \approx 196 \left(\text{MJ}/\text{dia} \right)$$

Tabla VI-5: Demanda energética diaria (MJ/día)

Mes	Salto térmico	Demanda energética diaria
ENERO	30,2	190
FEBRERO	31,2	196
MARZO	31,2	196
ABRIL	32,2	202
MAYO	33,2	208
JUNIO	33,7	211
JULIO	34,2	215
AGOSTO	33,7	212
SEPTIEMBRE	33,2	208
OCTUBRE	32,7	205
NOVIEMBRE	31,7	199
DICIEMBRE	31,2	196

VI.11 Cálculo de demandas energéticas mensuales y anuales.

Tabla VI-6: Demanda energética diaria, mensual y anual, Elaboración Propia.

Mes	Día	Demanda energética diaria (MJ/día)	Demanda energética mensual (MJ/mes)	Demanda energética anual (MJ/año)
ENERO	31	190	5.590	73.443
FEBRERO	28	196	5.488	
MARZO	31	196	6.076	
ABRIL	30	202	6.060	
MAYO	31	208	6.448	
JUNIO	30	211	6.330	
JULIO	31	215	6.450	
AGOSTO	30	212	6.360	
SEPTIEMBRE	30	208	6.240	
OCTUBRE	31	205	6.355	
NOVIEMBRE	30	199	5.970	
DICIEMBRE	31	196	6.076	

La suma de todas las necesidades energéticas, para cada uno de los meses del año, serán las necesidades energéticas anuales, siendo en este caso 73.443 MJ

VI.12 Cálculo de la irradiancia

XXII. Irradiación diaria mensual sobre superficie horizontal (H) para Talcahuano.

Para efecto de cálculo los datos fueron convertidos desde kWh/m² a MJ/m².

Tabla VI-7: Irradiación diaria mensual sobre superficie Horizontal, Fuente Sistemas Solares Térmicos II, Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria,

Mes	Irradiación diaria media mensual sobre superficie horizontal (MJ/m ²)
ENERO	799,6
FEBRERO	605,7
MARZO	538,02
ABRIL	354,42
MAYO	208,5
JUNIO	162,7
JULIO	180,7
AGOSTO	277,9
SEPTIEMBRE	408,4
OCTUBRE	594,7
NOVIEMBRE	692,8
DICIEMBRE	778,3
Media diaria anual	15,34

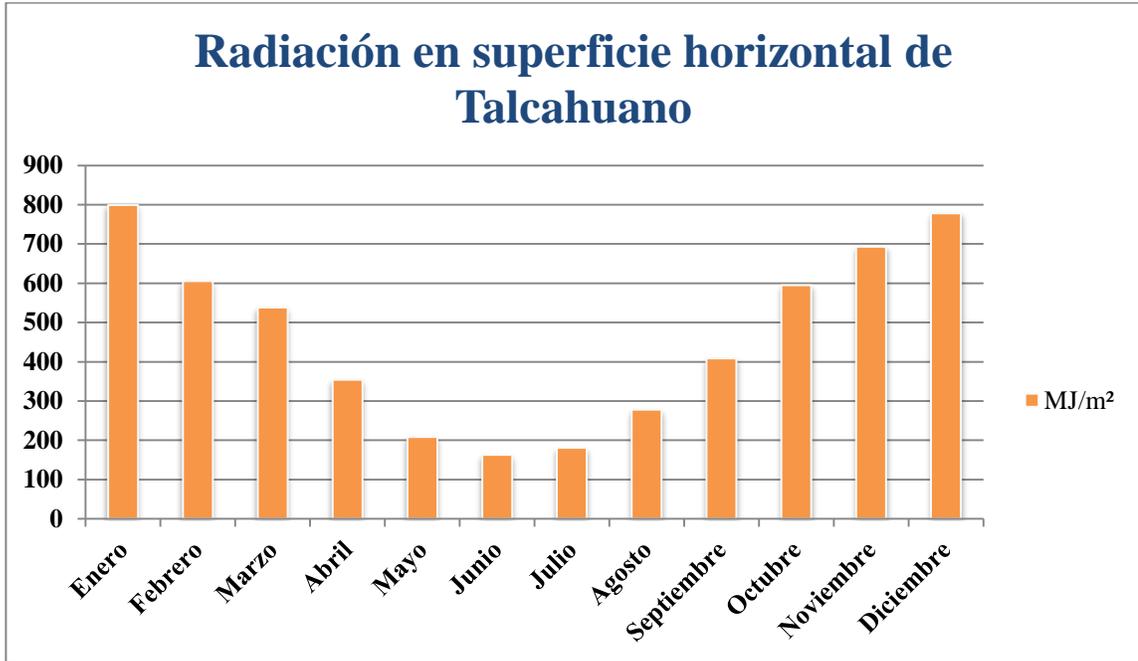


Grafico VI-3: Radiación para Talcahuano en MJ/m², Elaboración Propia.

VI.13 Irradiación diaria mensual efectiva sobre superficie horizontal (He)

Aplicación de coeficientes por suciedad, envejecimiento y no perpendicularidad

Ejemplo para el mes de marzo tenemos:

$$He = 0,97 \times 0,97 \times 583,02 \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \quad (4)$$

$$He = 548,5 \left(\frac{MJ}{m^2} \right)$$

Tabla VI-8: Radiación efectiva en plano horizontal Fuente: CIMNE, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, UPC. Elaboración Propia.

Mes	H (MJ/m ²)	He (MJ/m ²)
ENERO	799,6	752,3
FEBRERO	605,7	569,9
MARZO	538,02	506,22
ABRIL	354,42	333,4
MAYO	208,5	196,1
JUNIO	162,7	153,08
JULIO	180,7	170,02
AGOSTO	277,9	261,4
SEPTIEMBRE	408,4	384,2
OCTUBRE	594,7	559,5
NOVIEMBRE	692,8	651,8
DICIEMBRE	778,3	732,3
Media diaria anual	15,34	14,43

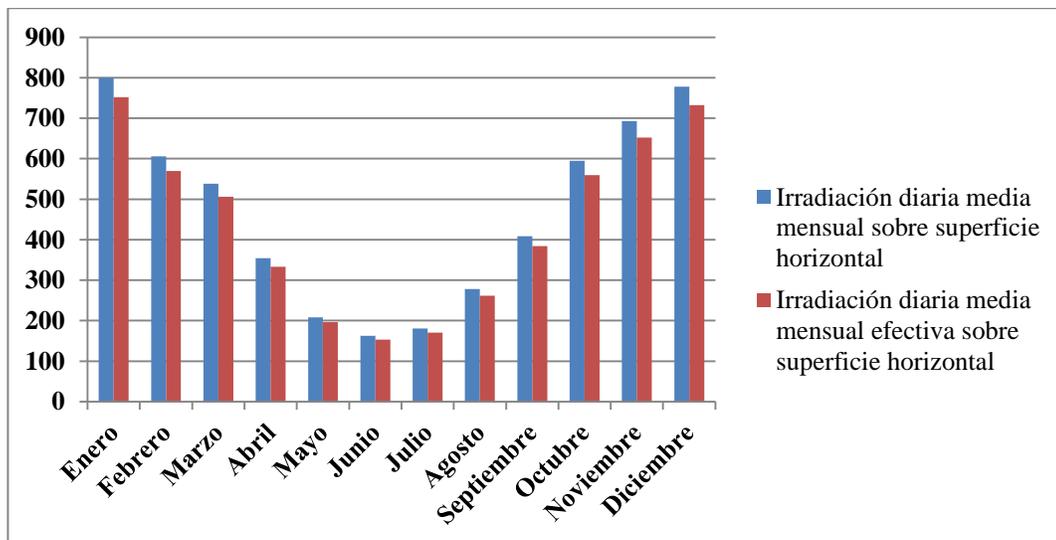


Grafico VI-4: Irradiación diaria media mensual efectiva sobre superficie horizontal, Elaboración Propia.

VI.14 Selección de inclinación del colector solar.

El ángulo entre el plano horizontal y el panel solar se denomina ángulo de inclinación.

Los colectores solares se orientan hacia el norte geográfico, pudiéndose admitir desviaciones no mayores que 25° con respecto a dicha orientación.

El ángulo de inclinación de los colectores sobre un plano horizontal se determina en función de la latitud geográfica β y del periodo de utilización de la instalación, de acuerdo con los siguientes valores:

Tabla VI-9: Ángulo de inclinación, según el periodo de utilización Fuente Sistemas Solares Térmicos II, Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua

Periodo de utilización	Inclinación de los colectores
Anual con consumo constante	la latitud geográfica (β)
Preferentemente en invierno	la latitud geográfica (β) + 10°
Preferentemente en verano	la latitud geográfica (β) - 10°

Se admiten en cualquiera de los tres casos, desviaciones de $\pm 10^\circ$ como máximo

Latitud de Talcahuano: 36,72°S

Inclinación considerada: 45°

Orientación considerada: N

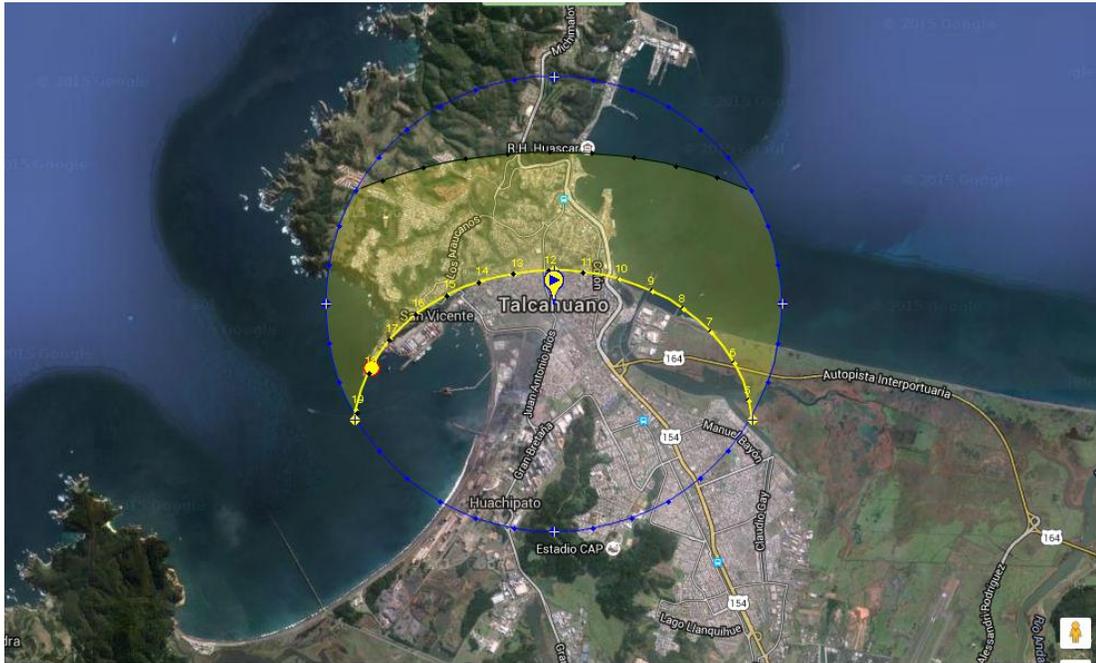


Figura VI-2: Recorrido solar en el solsticio de verano en Talcahuano Fuente www.Sunearthtools.com

VI.15 Aplicación del factor de inclinación (K)

Este factor corrige la irradiación efectiva en una superficie horizontal para un ángulo de inclinación entre 0° y 90° , para el caso particular de nuestro edificio el ángulo de es de 45° , en función a la latitud de 36°S .

Tabla VI-10: Factor de inclinación para latitud 36°S Fuente Sistemas Solares Térmicos II, Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria

Mes	Factor de inclinación(k) a 45°
ENERO	0,85
FEBRERO	0,97
MARZO	1,17
ABRIL	1,44
MAYO	1,71

JUNIO	1,86
JULIO	178
AGOSTO	1,53
SEPTIEMBRE	1,24
OCTUBRE	1,02
NOVIEMBRE	0,87
DICIEMBRE	0,81

VI.16 Aplicación del factor de corrección K

Para el ejemplo del mes de marzo tenemos:

$$\text{Radiación efectiva (He) a } 45^\circ = \text{He} \times K \quad (5)$$

$$\text{Radiación efectiva (He) a } 45^\circ = 506,22 \times 1,17$$

$$\text{Radiación efectiva (He) a } 45^\circ = 592,27 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \right)$$

Tabla VI-11: Irradiación efectiva corregida, Elaboración propia.

Mes	K de inclinación (45)	He (MJ/m ²)	He a 45° (MJ/m ²)
ENERO	0,85	752,3	639,4
FEBRERO	0,97	569,9	552,8
MARZO	1,17	506,2	592,2
ABRIL	1,44	333,4	480
MAYO	1,71	196,1	335,3
JUNIO	1,86	153,08	284,7
JULIO	178	170,02	302,6
AGOSTO	1,53	261,4	400
SEPTIEMBRE	1,24	384,2	476,4

OCTUBRE	1,02	559,5	570,6
NOVIEMBRE	0,87	651,8	567
DICIEMBRE	0,81	732,3	593.1
Media anual	1,27	14,43	18,3

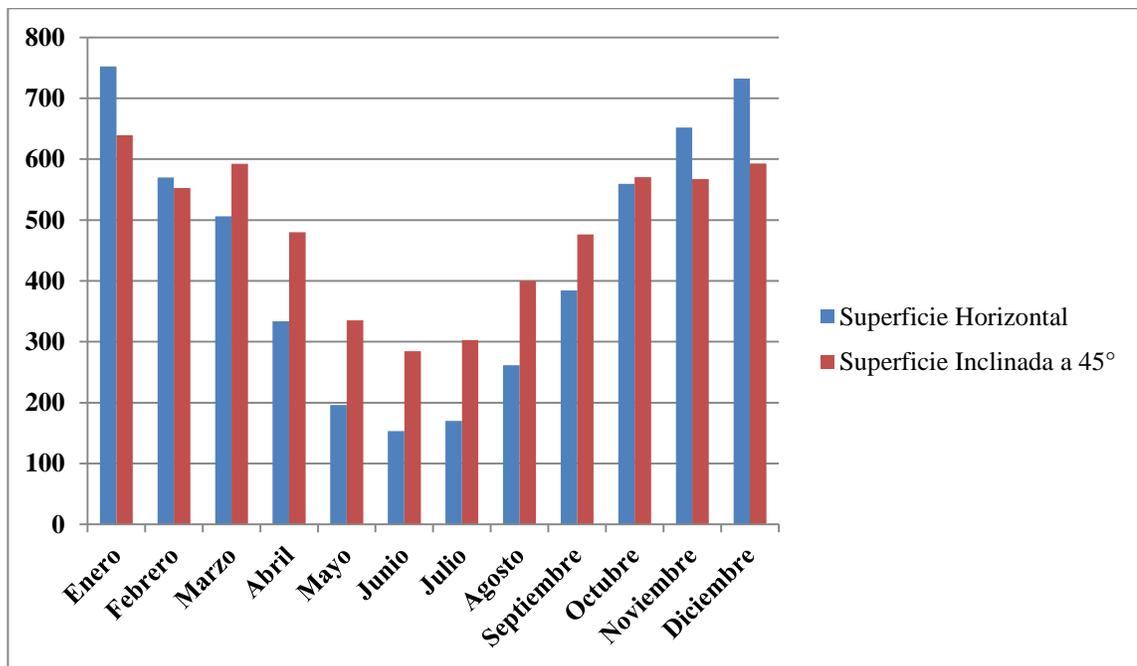


Grafico VI-5: Corrección de plano horizontal a plano inclinado, Elaboración Propia.

VI.17 Determinación de horas útiles de sol en un día medio cada mes

Un concepto necesario para realizar el dimensionado de la cantidad de paneles solares necesarios en la instalación es la determinación de las horas útiles de sol.

Tabla VI-12: Horas útiles de sol en latitud 36°S Fuente CENSOLAR.

Mes	N° de horas de en un día medio de cada mes latitud entre 25° a 45°
ENERO	9,5
FEBRERO	9,5
MARZO	9,0
ABRIL	9,0
MAYO	8,0
JUNIO	7,5
JULIO	8,0
AGOSTO	9,0
SEPTIEMBRE	9,0
OCTUBRE	9,5
NOVIEMBRE	9,5
DICIEMBRE	9,5

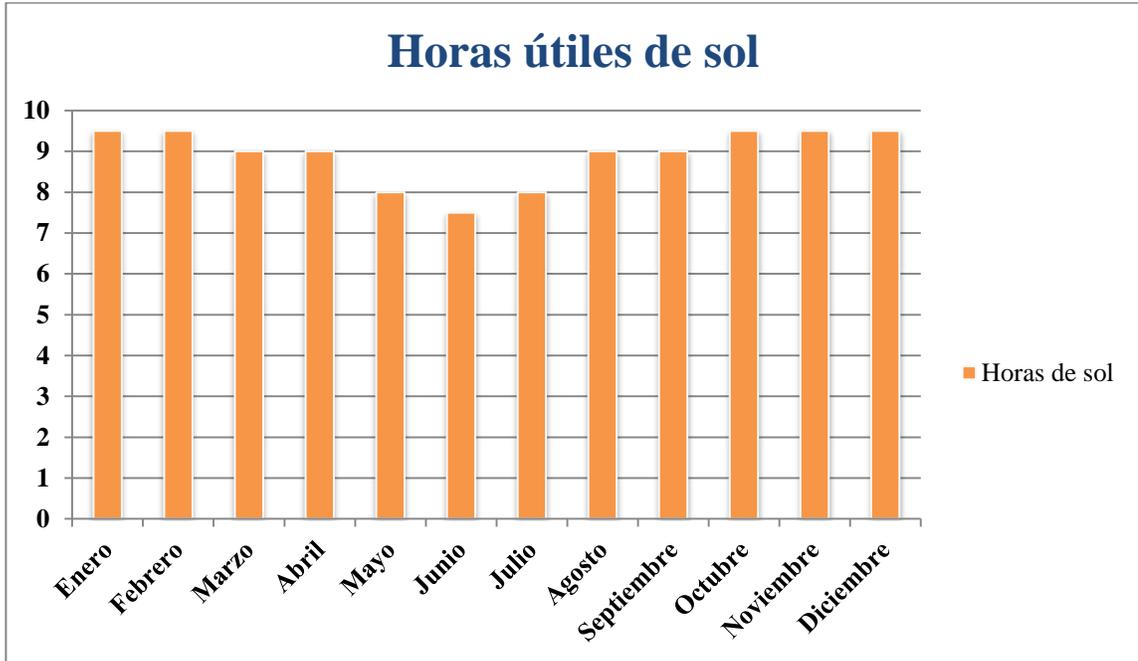


Grafico VI-6: Horas útiles de sol en un día medio en latitud 36°S, Elaboración Propia.

VI.18 Cálculo de la intensidad útil o incidente en un día medio de cada mes, Irradiancia (I).

La intensidad útil varía a lo largo del día, y depende de las horas de sol útiles.

La intensidad útil deberá estar expresada en W/m².

XXIII. Equivalencias de unidades utilizadas

1MJ = 1.000.000 J, 1 Hora = 3.600 segundos.

Para el mes de marzo tenemos:

$$\text{Irradiancia a } 45^\circ = (H_e \text{ a } 45^\circ) / (t) \quad (6)$$

$$\text{Irradiancia a } 45^\circ = 592,8 \frac{\frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \times 1000000}{9,0 \times 3600(\text{s})} = 590,2 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right)$$

Tabla VI-13: Irradiancia día medio de cada mes en (W/m²), Elaboración Propia.

Meses	Día	He a 45° (MJ/m ²)	N° de horas de sol	I a 45°(W/m ²)
ENERO	31	20,6	9,5	602,3
FEBRERO	28	19,7	9,5	576,02
MARZO	31	19,1	9,0	589,5
ABRIL	30	16	9,0	493,8
MAYO	31	10,8	8,0	375
JUNIO	30	9,4	7,5	348,1
JULIO	31	9,7	8,0	336,8
AGOSTO	30	13,3	9,0	410,4
SEPTIEMBRE	30	15,8	9,0	487,6
OCTUBRE	31	18,4	9,5	538,01
NOVIEMBRE	30	18,9	9,5	552,6
DICIEMBRE	31	19,1	9,5	558,4
Media anual		15,9	8,9	489,04

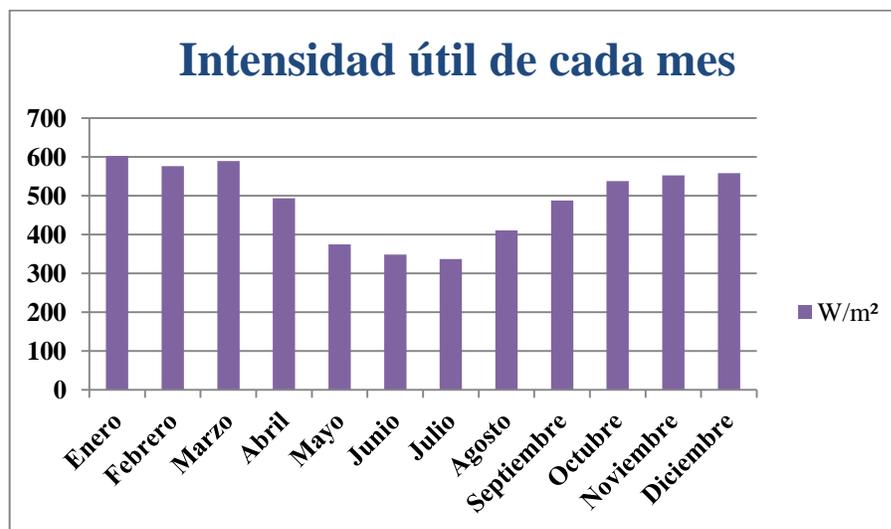


Grafico VI-7: Intensidad útil de cada mes en W/m², Elaboración Propia.

VI.19 Cálculo del aporte solar.

El cálculo del aporte solar de la instalación y dimensionado representa la última etapa y es cuando se une toda la información anterior y se vincula con las curvas de rendimiento de los colectores solares, un dato clave provisto por el fabricante. Así, se obtiene el aporte de cada colector según el mes, y con esto se determinará la cantidad de colectores necesarios para lograr el aporte solar deseado.

XXIV. Colector solar a utilizar

Para la implementación del Sistema Solar Térmico se consideró utilizar el colector de tipo Heat Pipe, modelo TZ47 1500 20 C, 20 tubos al vacío Heat Pipe con estanque de 165 Lts.

Solepanel TZ⁴⁷

Equipo Solar presurizado heat pipe

Usos

- Diseñado para viviendas de hasta 4 dormitorios
- Apto para uso con todo tipo de agua potable
- Diseñado para instalarse en techos planos o con pendiente
- Permite su instalación en zonas de bajas temperaturas .

Ventajas

- Alta capacidad de captación de la radiación solar aún en días nublados y fríos
- Gran capacidad de generación de agua caliente
- Mínima mantención y fácil uso
- **Financiable con subsidio ley N° 20.365.**

Características Técnicas

- Sistema presurizado que mantiene la presión del agua de la red , hasta 6 bar.
- Tubos de Borosilicato al vacío de alta capacidad de captación solar.
- Estante acumulador presurizado



Especificaciones Técnicas

Dimensiones y pesos			
Largo Colector	2,24 m	Peso estanque	50 kg
Ancho Colector	1,67 m	Total liquido caloportador	165 lt
Alto Colector	1,56 m	Peso total	287 kg
Area total Colector	2,33 m ²	Medidas tubos	1500 x 50 mm
Area Apertura Colector	1,72 m ²	Nº de tubos	20
Peso Colector de tubos heat pipe		Diametro externo	47 mm
Especificaciones tecnicas			
Tubos captación	Borosilicato doble al vacío	Liquido caloportador	Agua
Interior estanque	Acero inoxidable	Presión de trabajo	hasta 6 bar
Exterior estanque	Acero Zincado	Sistema	Circuito cerrado
Aislación estanque	50 mm poliuretano	Estructura de soporte	Acero galvanizado
Intercambiador de calor	Tubos heat pipe	Tubo de conexión	3/4"
Rendimiento termico		Certificaciones	
Rendimiento optico	83 %	KEYMARK EN 12976	011-79930A
k1=	2,237 W/ m ² k	Sical	CCSI-03-0088
K2=	0,02 W/ m ² k ²	Resolución SEC	54

Figura VI-3: Características técnicas del colector solar tipo Heat Pipe, modelo TZ47
1500.

XXV. Determinación de la temperatura ambiente.

Tabla VI-14: T° ambiente en Talcahuano, Fuente Sistemas Solares Térmicos II, Guía de Diseño e Instalación para grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria, Anexo V.

Mes	Temperatura Ambiente
ENERO	17
FEBRERO	15
MARZO	15
ABRIL	13
MAYO	11
JUNIO	10
JULIO	9
AGOSTO	10
SEPTIEMBRE	11
OCTUBRE	12
NOVIEMBRE	14
DICIEMBRE	14,8
Media anual	13,6

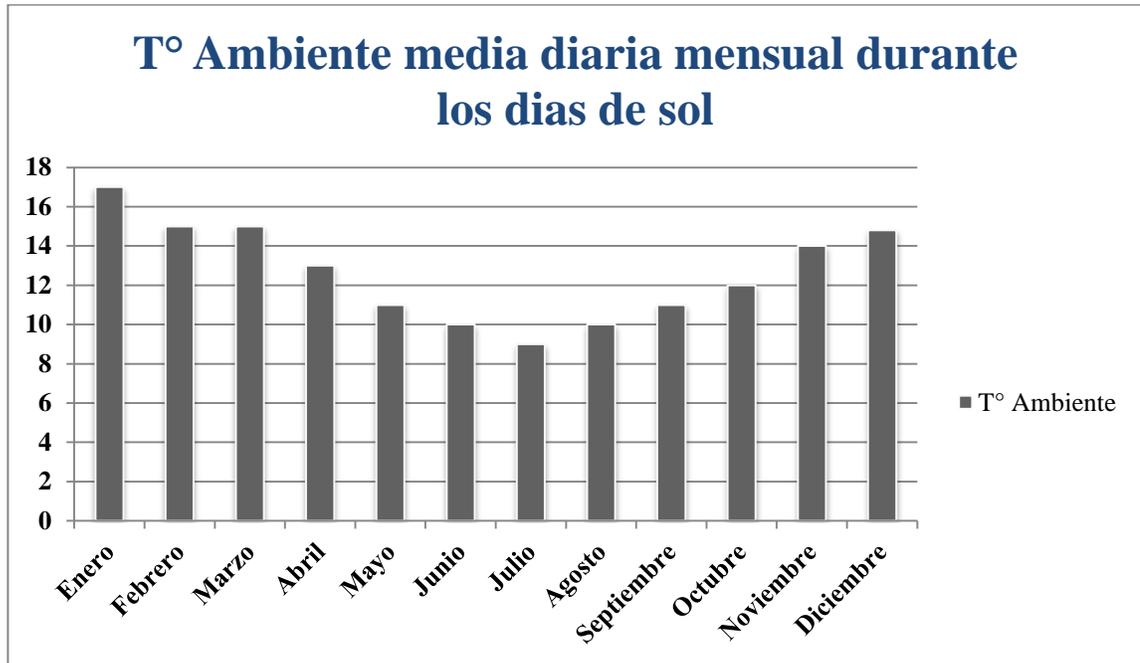


Grafico VI-8: temperatura media diaria de cada mes, durante las horas de sol, Elaboración Propia.

XXVI. Rendimiento instantáneo

El rendimiento instantáneo del colector solar corresponde al cociente entre el flujo de energía en forma de calor entregado al agua y el recurso solar disponible, este parámetro depende de las condiciones de irradiación y la temperatura media del colector.

Para obtener el rendimiento instantáneo del colector se utiliza la siguiente formula:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \times \frac{T_{media} - T_{amb}}{I a 45^\circ} - a_2 \times \left(\frac{T_{media} - T_{amb}}{I a 45^\circ} \right)^2 \quad (7)$$

Donde:

η_0 = Rendimiento óptico o factor de ganancia del colector (entregado en hoja de datos del colector seleccionado)

a_1 = Coeficiente de pérdidas o factor de pérdidas (en el caso de nuestro colector elegido es K_1)

a_2 = Coeficiente de pérdidas o factor de pérdidas (en el caso de nuestro colector elegido es K_2)

Para efecto de cálculo:

$$X = \frac{T_{deseada} - T_{amb}}{I a 45^\circ}; X^2 = \left(\frac{T_{deseada} - T_{amb}}{I a 45^\circ} \right)^2 \quad (8)$$

XXVII. Cálculo del parámetro X, X²

Para el mes de marzo tenemos:

$$\text{Para el parámetro } X = \frac{T_{deseada} - T_{amb}}{I a 45^\circ} = \frac{45^\circ C - 15^\circ C}{589,5 \text{ W/m}^2}$$

$$X = 0,050 \left(^\circ C \text{ m}^2 / W \right)$$

$$\text{Para el parámetro } X^2 = \left[0,050 \left(\frac{^\circ C \text{ m}^2}{W} \right) \right]^2 = 0,0025 \left(^\circ C \text{ m}^2 / W \right)$$

Tabla VI-15: Calculo de parámetros X y X², Elaboración Propia.

Mes	Tdes- T amb (°C)	I a 45°C (W/m ²)	X (°Cm ² / W)	X ² (°Cm ² / W)
ENERO	28	602,3	0,046	0,002
FEBRERO	30	576,02	0,052	0,002
MARZO	30	589,5	0,050	0,002
ABRIL	32	493,8	0,064	0,004
MAYO	34	375	0,090	0,008
JUNIO	35	348,1	0,100	0,010
JULIO	36	336,8	0,106	0,011
AGOSTO	35	410,4	0,085	0,007
SEPTIEMBRE	34	487,6	0,069	0,004
OCTUBRE	33	538,01	0,061	0,003
NOVIEMBRE	31	552,6	0,056	0,003
DICIEMBRE	30,2	558,4	0,054	0,002
Media anual	32,1	489,04	0,069	0,004

XXVIII. Calculo del rendimiento instantáneo.

Para el mes de marzo tenemos:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot X - a_2 \cdot X^2 \quad (9)$$

Donde:

$$\eta_0 = 83\% (0,83) \text{ (Entrega el fabricante)}$$

$$a_1 = K_1 = 2,237 \left(\frac{W}{^\circ C m^2} \right) \text{ (Entrega el fabricante)}$$

$$a_2 = K_2 = 0,02 \left(\frac{W}{^\circ C m^2} \right) \text{ (Entrega el fabricante)}$$

$$X = 0,050 \left(\frac{^{\circ}\text{C m}^2}{\text{W}} \right)$$

$$X^2 = 0,002 \left(\frac{^{\circ}\text{C m}^2}{\text{W}} \right)$$

$$\eta = 0,83 - 2,237 \times 0,050 - 0,02 \times 0,002$$

$$\eta = 0,718 = 71,8\%$$

Tabla VI-16: Rendimiento instantáneo del colector para cada mes, Elaboración Propia.

Mes	I a 45°C (W/m ²)	X (°Cm ² / W)	X ² (°Cm ² / W)	η (%)
ENERO	602,3	0,046	0,002	72,7
FEBRERO	576,02	0,052	0,002	71,3
MARZO	589,5	0,050	0,002	71,8
ABRIL	493,8	0,064	0,004	68,6
MAYO	375	0,090	0,008	62,8
JUNIO	348,1	0,100	0,010	60,6
JULIO	336,8	0,106	0,011	59,2
AGOSTO	410,4	0,085	0,007	63,9
SEPTIEMBRE	487,6	0,069	0,004	67,5
OCTUBRE	538,01	0,061	0,003	69,3
NOVIEMBRE	552,6	0,056	0,003	70
DICIEMBRE	558,4	0,054	0,002	70,9
Media anual	489,04	0,069	0,004	67,3

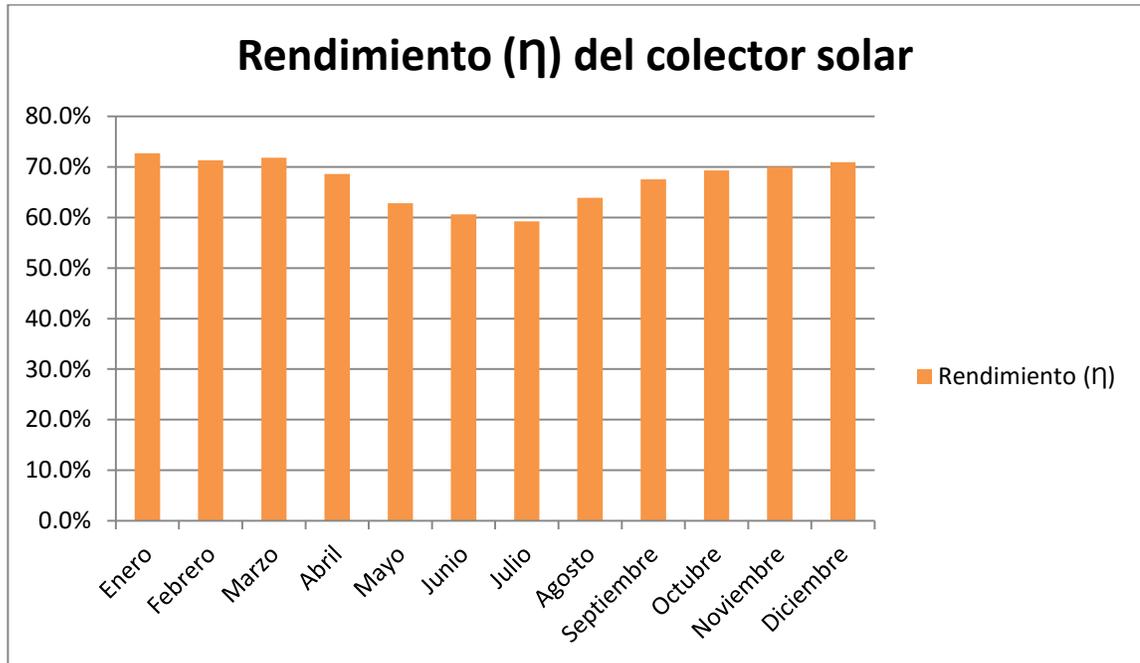


Grafico VI-9: Rendimiento del colector para cada mes, Elaboración Propia.

XXIX. Aporte solar.

Representa la cantidad MJ por m² que aporta el sol para calentar el fluido caloportador que circula por el circuito primario del SST.

Para obtener el aporte solar se utiliza siguiente formula:

$$AS = He \text{ a } 45^\circ \times \eta \quad (10)$$

Para el mes de marzo tenemos:

$$AS = He \text{ a } 45^\circ \times \eta$$

$$AS = 19,1 \times 0,718$$

$$AS = 13,7 \left(\frac{MJ}{m^2} \right)$$

Tabla VI-17: Aporte solar diario, Elaboración Propia.

Mes	He a 45° (MJ/m²)	η (%)	Aporte solar diario (MJ/m²)
ENERO	20,6	72,7	14,9
FEBRERO	19,7	71,3	14
MARZO	19,1	71,8	13,7
ABRIL	16	68,6	10,9
MAYO	10,8	62,8	6,7
JUNIO	9,4	60,6	5,6
JULIO	9,7	59,2	5,7
AGOSTO	13,3	63,9	8,4
SEPTIEMBRE	15,8	67,5	10,6
OCTUBRE	18,4	69,3	12,7
NOVIEMBRE	18,9	70	13,2
DICIEMBRE	19,1	70,9	13,5
Media anual	15,9	67,3	10,7

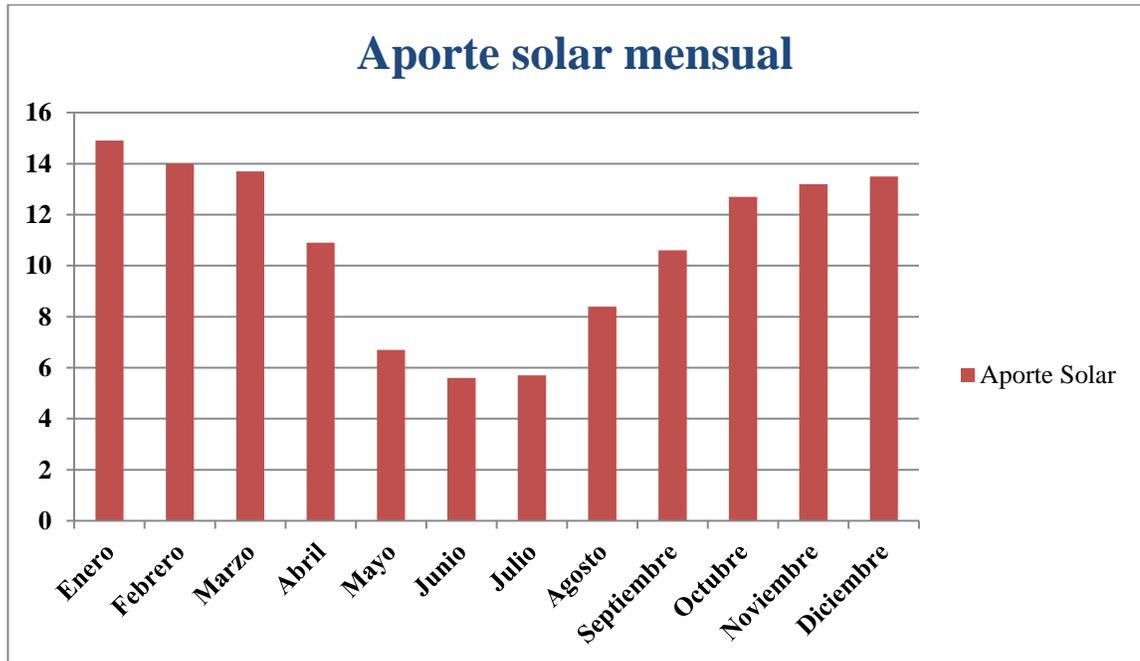


Grafico VI-10: Aporte Solar diario mensual, Elaboración Propia.

VI.20 Energía unitaria o energía neta disponible al día en m²

La energía diaria que aportan los colectores no coincide con la disponible para el consumo ya que en todos los elementos de la instalación se producen pérdidas, principalmente en el acumulador.

Estas pérdidas, a falta de datos, se suelen estimar en un 30 o un 25% y por tanto, para nuestro caso se estimaran las pérdidas en un 25% por lo tanto energía acumulada disponible para el consumo será igual a:

$$E. neta = AS \times (1 - 0,25) \quad (11)$$

Para el mes de marzo (diaria) tenemos:

$$E. neta = 13,7 \times (1 - 0,25)$$

$$E. neta = 10,27 \left(\frac{MJ}{m^2} \right)$$

XXX. Energía neta para el mes de marzo:

$$E. neta = 10,27 \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \times 31 (\text{días del mes})$$

$$E. Neta mensual = 318,37 (MJ/m^2)$$

XXXI. Energía neta disponible diaria y mensual.

Tabla VI-18: Energía neta disponible diaria y mensual., Elaboración Propia.

Mes	Aporte solar diario (MJ/m ²)	Perdidas del sistema	E.neta unitaria disponible diaria (MJ/m ²)	E.neta unitaria disponible mensual (MJ/m ²)
ENERO	14,9	0,25	11,17	346,27
FEBRERO	14	0,25	10,5	294
MARZO	13,7	0,25	10,27	318,37
ABRIL	10,9	0,25	8,17	245,1
MAYO	6,7	0,25	5,02	155,62
JUNIO	5,6	0,25	4,2	126
JULIO	5,7	0,25	4,27	132,37
AGOSTO	8,4	0,25	6,3	189
SEPTIEMBRE	10,6	0,25	7,95	238,5
OCTUBRE	12,7	0,25	9,52	295,12
NOVIEMBRE	13,2	0,25	9,9	297
DICIEMBRE	13,5	0,25	10,12	313,72
Total Anual				2.951,07

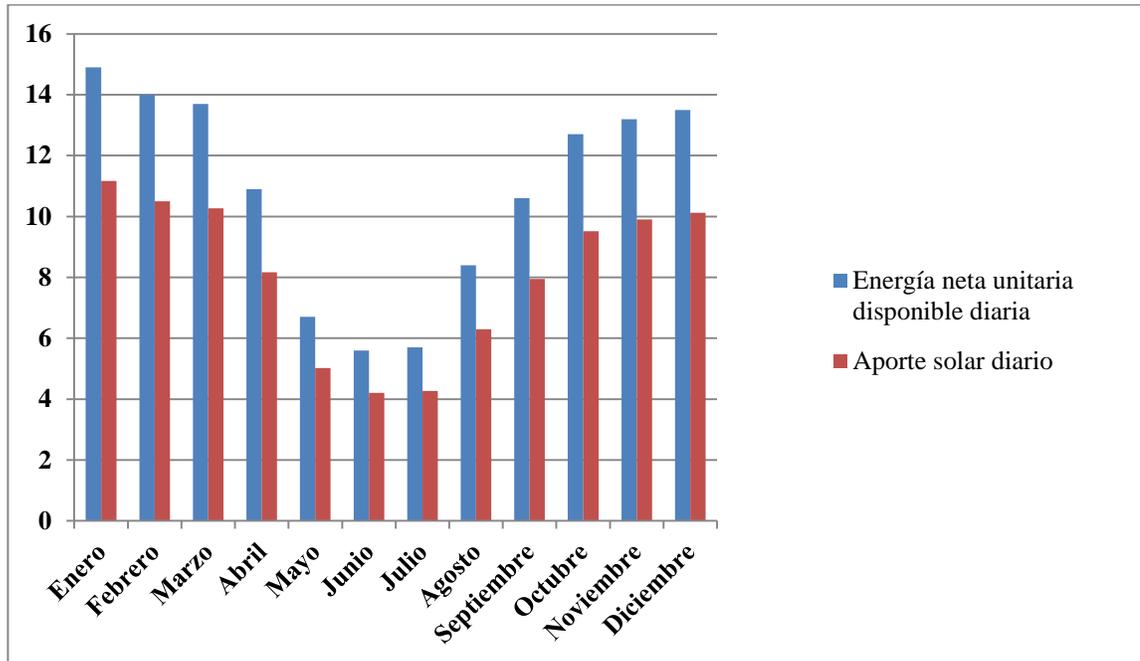


Gráfico VI-11: Energía neta unitaria disponible, Elaboración Propia.

VI.21 Contribución solar mínima.

Las Zonas Climáticas se definen según la radiación solar global media anual para una ubicación geográfica y se clasifican en seis zonas, de la A a la F, siendo la A la que recibe mayor radiación solar correspondiente a las zonas ubicadas más al norte del país y la letra F la que recibe menos radiación solar, correspondiente a las zonas más australes del país. La CSM corresponde a la fracción entre la energía anual aportada por el SST a la salida del acumulador y la demanda energética anual de agua caliente sanitaria estimada para la respectiva vivienda y se expresa en porcentaje.

XXXII. Contribución solar mínima para Talcahuano.

Tabla VI-19: contribución sola mínima para Talcahuano.

	%	(MJ/año)
Demanda energética anual		73.443
Contribución solar mínima anual	57	41.862

VI.22 Calculo de la superficie mínima necesaria de captación

$$S \text{ de captación} = \frac{41.862 \left(\frac{MJ}{\text{año}} \right)}{2951,07 \left(\frac{MJ}{m^2 \text{ año}} \right)} = 14,18 \text{ m}^2 \quad (12)$$

Tabla VI-20: Superficie mínima necesaria.

	%	MJ/año	MJ/m² año	m²
Demanda energética anual		73.443		
Contribución solar mínima anual	57	41.862		
E. neta untaría disponible anual			2.951,07	
Superficie necesaria de captación				14,18

XXXIII. Calculo de la cantidad necesaria de captadores solares tipo Heat Pipe

Tabla VI-21: Cantidad necesaria de captadores solares, Elaboración Propia.

	m²	Unidades
Superficie necesaria	14,18	
Superficie unitaria	1,72	
Cantidad necesaria de captadores	8,74	
Cantidad escogida de captadores		9,00

XXXIV. Cálculo de la cobertura solar.

Conocer la cobertura solar mensual que entregaran los colectores solares, según la superficie de campo, ayuda a saber cuál es la necesidad en porcentaje de utilización de un equipo auxiliar convencional, para nuestro proyecto es gas natural.

Por información entregada por el fabricante, en instalaciones grandes como la nuestra, al resultado final de la cantidad de colectores se le suma uno, para así contrarrestar aún más las pérdidas térmicas, por lo cual en el cálculo de cobertura solar la cantidad total final de colectores solares Tubos al Vacío tipo Heat Pipe serán 10.

Para el mes de marzo tenemos:

$$cobertura = \frac{E_{neta} \times S_{colector}}{demanda} \times 100\% \quad (13)$$

$$cobertura = \frac{318,37 \frac{Mj}{m^2} \times (1,72 m^2 \times 10)}{6.076 MJ} \times 100\%$$

$$cobertura = 90,1 \%$$

XXXV. Cobertura solar mensual.**Tabla VI-22:** Cobertura solar mensual.

Mes	Demanda mensual (MJ)	E. Neta unitaria disponible (MJ/m²)	E. Neta disponible campo de captación (MJ)	cobertura %
ENERO	5.590	346,27	5.956	106,5
FEBRERO	5.488	294	5.057	92,1
MARZO	6.076	318,37	5.476	90,1
ABRIL	6.060	245,1	4.215	69,5
MAYO	6.448	155,62	2.677	41,5
JUNIO	6.330	126	2.167	34,2
JULIO	6.450	132,37	2.277	35,2
AGOSTO	6.360	189	3.250	51,1
SEPTIEMBRE	6.240	238,5	4.102	65,7
OCTUBRE	6.355	295,12	5.076	79,8
NOVIEMBRE	5.970	297	5.108	85,5
DICIEMBRE	6.076	313,72	5.396	88,8
Total anual	73.443	2.951,07	50.757	69,1 %

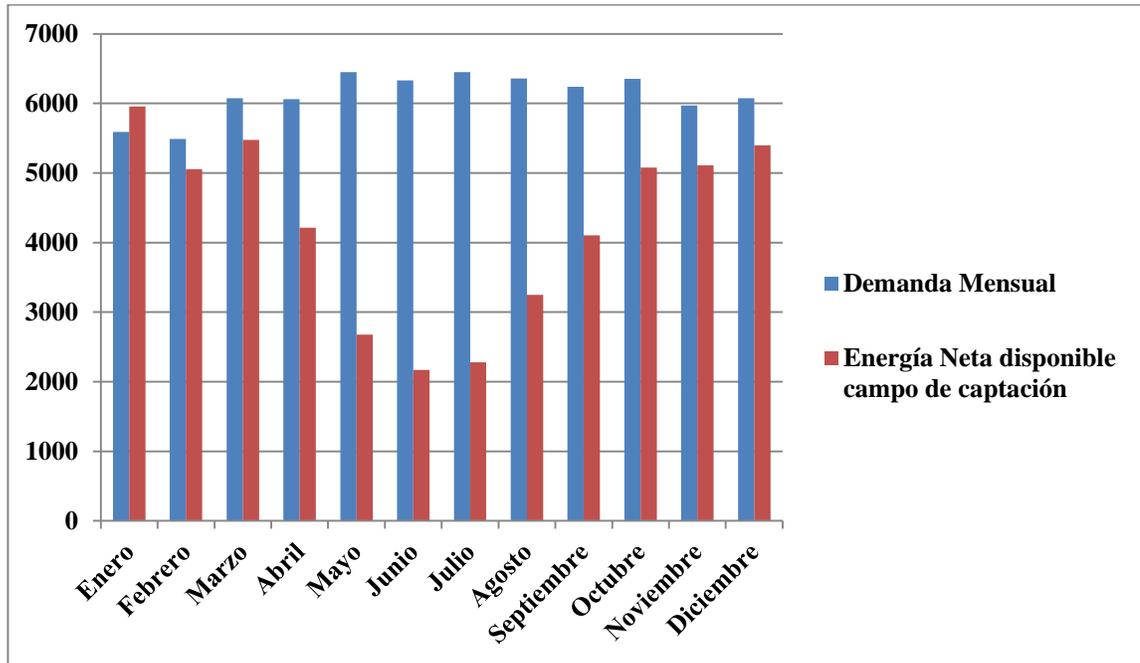


Grafico VI-12: Cobertura Solar en (MJ), Elaboración Propia.

VI.23 Determinación del ahorro anual de gas.

Finalmente y con los cálculos y resultados efectuados en el análisis se puede concluir que el Sistema Solar Térmico aportaría un 69,1 % de energía a la demanda de A.C.S.

Por lo tanto al optar por este tipo de sistema se ahorraría un 63,3 % en consumo de gas natural.

VI.24 Calculo de la distancia entre baterías de colectores solares

Objeto de disminuir las perdidas por efecto sombra que generaría la mala distribución de los colectores solares se calcula la distancia mínima entre colectores.

Para el cálculo de la distancia entre colectores utilizaremos la siguiente formula:

$$d = L(\sin \alpha / \tan h_0 + \cos \alpha) \quad (14)$$

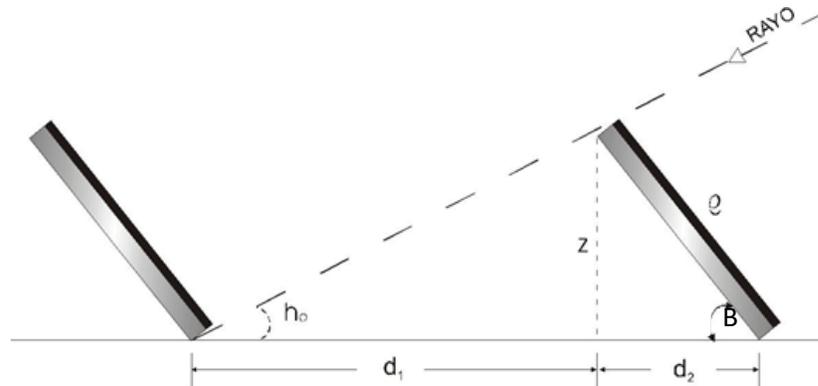


Figura VI-4: Distancia mínima entre colectores.

Donde:

$L = 1,72$ (largo del colector).

$B = 45^\circ$ (ángulo de inclinación de los colectores).

$h_0 = (90 - \text{latitud del lugar}) - 23,5^\circ = 90 - 36,7 - 23,5^\circ = 29,8^\circ$

Entonces:

$$d = 1,72 \times (\sin 45 / \tan 29,8 + \cos 45)$$

$$\text{distancia entre colectores} = 3,33 \text{ mts}$$

VI.25 Otros aspectos a considerar en la instalación del SST en el edificio.

XXXVI. Selección del tipo de tuberías.

Las cañerías interconectan hidráulicamente todos los componentes y canalizan el movimiento de los fluidos, estas serán de cobre y estarán debidamente aisladas para disminuir las pérdidas térmicas.



Figura VI-5: tuberías con aislamiento térmico

XXXVII. Válvula mezcladora termostática.

En el proyecto es necesario utilizar una válvula de 5 vías regulable a 45°C, y es usada en conjunto con el calefón ionizado. Si el agua caliente proveniente del colector solar tiene menos de 45°C, la válvula envía el agua al calefón para ser calentada, para luego mezclarla con el agua fría de la red y por el contrario si el agua proveniente del colector solar es mayor a 45°C el agua pasa directo a la mezcla con agua fría.



Figura VI-6: válvula mezcladora termostática de 5 vías

XXXVIII. Válvula de corte.

Las válvulas de corte se instalan en diversos puntos de la instalación, para así poder realizar las operaciones de mantenimiento de los componentes más importantes, sin necesidad de realizar el vaciado completo de la instalación.



Figura VI-7: Válvula de corte

XXXIX. Válvulas anti retorno.

Se instalarán válvulas de retención o anti retorno para evitar fluidos inversos indeseados en el circuito hidráulico.



Figura VI-8: Válvula anti retorno

XL. Válvula de seguridad

Estas válvulas permiten limitar la presión, protegiendo los componentes de la instalación.



Figura VI-9: Válvula de seguridad

XLI. Válvula manual de tres vías.

Esta es una válvula de control direccional, la cual permite decidir manualmente la circulación de un fluido, en el caso de nuestro proyecto se instala en paralelo con el calefón, permitiendo al usuario decidir si utiliza el agua proveniente del SST o la del equipo de apoyo.



Figura VI-10: Válvula manual de tres vías

XLII. Purga de aire.

Se utilizan en los puntos altos del SST en donde se pueda acumular aire pueden ser manual o automática. La circulación de agua completamente libre de aire asegura el funcionamiento ideal del sistema.



Figura VI-11: Purga de aire automática

XLIII. Mantenimiento del colector solar compacto tipo Heat Pipe.

Este tipo de tecnología por sus características casi no requiere de mantenimiento, no obstante para asegurar el máximo rendimiento el mantenedor podrá hacer una serie de comprobaciones encaminadas a mantener en perfecto estado la instalación.

Entre ellas tenemos:

- Limpieza periódica de los tubos de vacío, con un paño con agua.
- Verificar posibles fugas en las conexiones.
- Verificar el estado del aislamiento de las tuberías.
- Verificar el estado de la estructura: apriete de tornillos y posible corrosión o degradación.

VII. ANÁLISIS ECONÓMICO DE REALIZAR LA INVERSIÓN EN LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE SOLAR TÉRMICO PARA A.C.S. EN UN EDIFICIO DE LA ARMADA DE CHILE EN LA CIUDAD DE TALCAHUANO.

Al desarrollar este estudio se logra obtener la información necesaria para realizar una evaluación de los costos vs los beneficios, representados en indicadores económicos, los que nos ayudarán a determinar la factibilidad de desarrollar el proyecto.

Se utilizará la moneda nacional para la evaluación económica (peso chileno).

En el análisis económico se desarrollarán los siguientes puntos:

- Determinación de los montos totales de inversión requerida y el tiempo de evaluación del proyecto.
- Analizar costos fijos en el consumo de gas natural para A. C.S.
- Determinar los ahorros en consumo de gas al instalar el sistema.
- Determinar el método de financiamiento.
- Aplicar las tasas de depreciación correspondiente a los paneles solares.
- Determinar el periodo de Recuperación (PR) de la inversión.
- Para mejorar el análisis se realizará una simulación de sensibilidad considerando tanto una disminución, como un aumento del 5% Anual del valor del m³ de gas natural.

VII.1 Determinar el costo de inversión para materializar el proyecto de instalación del Sistema Solar Térmico para A.C.S. en un edificio en Talcahuano.

Para determinar el costo de inversión del proyecto se contó solo con los costos de los colectores solares y soportes de instalación, ya que las empresas dedicadas a la instalación no entregan presupuestos, a menos que se pague por realizar una asesoría de instalación, por lo cual se utilizaron costos relacionados a otro proyecto similar de otra repartición de la Armada de Chile en Talcahuano.

Tabla VII-1: Costo de inversión total, Elaboración Propia.

Descripción	cantidad	Valor
Colectores solares tipo Heat	10	\$ 8.234.597
Pipe y soporte de instalación		(35,7 U.F.)
Costos por accesorios de instalación (válvulas, cañerías, kit de conexiones)		\$ 1.250.000
Costo por mano de obra		\$ 8.500.000
Inversión Total		\$ 17.984.597

Nota1: Valor de la U.F. al día 30 de Diciembre: \$ 25.629.

Nota 2: Se le aplicó un ofrecimiento de la empresa del 10% descuento al comprar los 10 colectores.

Nota 3: Costos por mano de obra incluye, una capacitación para el personal encargado del mantenimiento del sistema.



COTIZACION PANELES SOLARES TERMICOS SOLEPANEL

Empresa:	Armada de Chile
Contacto	Roberto Sánchez Cifuentes
Dirección	Arsenal Naval de Talcahuano
Ciudad	Talcahuano
Teléfono	78639553
Fecha:	18/12/2015

1.- Descripción Sistema	
Modelo:	TZ 47 1500 20C
Marca:	SOLEPANEL
Procedencia:	China
Funcionamiento:	Termosifón
Sistema:	Heat Pipe
Posicionamiento sistema:	
colector:	en estructura sobre techumbre
estanque:	en estructura sobre techumbre

Composición Sistema	<p>Colector SOLEPANEL compuesto por 20 tubos boro silicato al vacío Heat pipe</p> <p>Estanque presurizado de 165 lts, con aislación de poliuretano inyectado de 55 mm de espesor</p> <p>Válvula de alivio de presión y temperatura</p> <p>Estructura metálica para recibir estanque y colector solar en techo plano</p> <p>Conexión para recibir aducción de agua de la red al circuito secundario y al estanque.</p>
---------------------	---

Unidades	Modelos Especificados
1	TZ47 1500 20 C, 20 tubos al vacío Heat Pipe con estanque de 165 lts presurizado

COTIZACION	Sistema	Unidades	Precio Unitario UF	Valor Total UF
		TZ47	1	35,7
	TOTAL		35,7	35,70

Entrega:	<p>Inmediata, según disponibilidad de Stock</p> <p>Estructuras soportantes de colectores para recibir sistemas: fecha prevista de inicio de faena de envigado en obra-</p> <p>Entrega en obra y asesoría en instalación de Equipos: 7 días fecha de</p>
----------	---

	contrato
Forma de pago	50% contado con orden de compra, 50% a la entrega de los C.S.T

Figura VII-1: Cotización panel solar Fuente Empresa solepanel.

XLIV. Tiempo de evaluación del proyecto.

En esta oportunidad se realizará la evaluación del proyecto durante los primeros 10 años de vida útil donde el fabricante garantiza un rendimiento óptimo del colector solar, además se simulará el flujo de caja anual y se estimaran los parámetros Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno, y el Periodo de Recuperación (PR), datos claves para este tipo de análisis.

Es necesario destacar que la evaluación se hará a 10 años, sin embargo el colector solar tiene una vida útil de 20 años, esto no significa que al cabo de esos años el panel dejará de funcionar, sino que disminuirá su rendimiento y su degradación será más acelerada.

XLV. Calculo de la depreciación.

La Depreciación se utiliza para referirse a la pérdida contable de valor de activos fijos. Para determinar la depreciación de los activos que corresponden a las obras físicas, se utiliza el método de depreciación lineal de acuerdo a lo establecido por el Servicio de Impuestos Internos en 20 años.

Como el proyecto se encuentra evaluado a 10 años se realiza la depreciación a dichos años, para posterior sacar el valor de rescate de los activos fijos, que es evaluado como un ingreso al término del último año.

XLVI. Método de financiamiento.

Para el financiamiento se considera que la repartición cuenta con el capital para realizar la inversión, a través de fondos propios.

VII.2 Costos fijos en consumo de gas natural en la repetición por concepto de calentamiento de A.C.S.

Según datos entregados por el departamento de Finanzas de la Repartición naval, se puede cuantificar los costos por consumo de gas natural en la siguiente tabla

El valor de la tarifa del m³ de gas natural es según el valor en la boleta entregada por GAS SUR., empresa proveedora de gas natural a la repartición.

Tabla VII-2: consumo y costos en gas natural mensual y anual año 2015 Fuente depto. De Finanzas, Elaboración Propia

Consumo de gas natural en A.C.S. año 2015			
Mes	m³ Mensual	Precio m³	Total (\$)
ENERO	380	\$ 515	\$ 195,700
FEBRERO	370	\$ 515	\$ 190,550
MARZO	510	\$ 515	\$ 262,650
ABRIL	619	\$ 515	\$ 318,785
MAYO	701	\$ 515	\$ 361,015
JUNIO	899	\$ 515	\$ 462,985
JULIO	921	\$ 515	\$ 474,315
AGOSTO	900	\$ 515	\$ 463,500
SEPTIEMBRE	891	\$ 515	\$ 458,865
OCTUBRE	855	\$ 515	\$ 440,325
NOVIEMBRE	803	\$ 515	\$ 413,545
DICIEMBRE	738	\$ 515	\$ 380,070
Total Anual	8587		\$4,422,305

Nota: Para el mes de Diciembre el consumo fue estimado según el mismo mes del año 2014.

VII.3 Costos fijos por uso de la instalación solar térmica.

Estos costos tienen relación con el mantenimiento preventivo, pero como vimos anteriormente, esos no generan un costo monetario.

VII.4 Costos variables por uso de la instalación solar térmica.

Estos costos tienen relación con el mantenimiento correctivo estos son difíciles de cuantificar, pero se estimará con costo por cambio de un tubo Heat Pipe, producto de algún desperfecto o rotura.

Se estimará un cambio de 01 tubos Heat Pipe por año.

Valor de 01 tubo boro silicato al vacío Heat pipe: \$ 24.342 c/u.

VII.5 Ahorro en costos por consumo de gas natural en el año 2105.

En la siguiente tabla se simula el ahorro en el cual habría incurrido la repartición este año si el Sistema Solar térmico habría estado instalado en la repartición.

Tabla VII-3: Ahorro de costos y pago mensual de gas natural año 2015, Elaboración Propia.

Mes	Consumo de gas natural 2015 (m ³)	Pago mensual (\$)	Cobertura solar mensual (%)	Ahorro mensual (\$)	Pago mensual final
Enero	380	\$ 195,700	106.5	\$ 208,421	-\$ 12,721
Febrero	370	\$ 190,550	92.1	\$ 175,497	\$ 15,053
Marzo	510	\$ 262,650	90.1	\$ 236,648	\$ 26,002
Abril	619	\$ 318,785	69.5	\$ 221,556	\$ 97,229
Mayo	701	\$ 361,015	41.5	\$ 149,821	\$ 211,194
Junio	899	\$ 462,985	34.2	\$ 158,341	\$ 304,644
Julio	921	\$ 474,315	35.2	\$ 166,959	\$ 307,356
Agosto	900	\$ 463,500	51.1	\$ 236,849	\$ 226,652
Septiembre	891	\$ 458,865	65.7	\$ 301,474	\$ 157,391
Octubre	855	\$ 440,325	79.8	\$ 351,379	\$ 88,946
Noviembre	803	\$ 413,545	85.5	\$ 353,581	\$ 59,964
Diciembre	738	\$ 380,070	88.8	\$ 337,502	\$ 42,568
TOTAL	8587	\$4,422,305	69.10%	\$ 3,055,813	\$ 1,366,492

VII.6 Proyección del precio del gas natural en Chile (m³).

En nuestro país el precio del gas natural no son regulados, cada empresa los define según su política comercial y la normativa regula que no hallan rentabilidades excesivas, generalmente las compañías definen los cambios de valor, según las variaciones que cada semana define ENAP, las cuales van ligadas al valor internacional.

Para determinar las tarifas de gas natural en Chile para los clientes comerciales y residenciales, uno de sus parámetros es el valor del gas licuado, que es su sustituto. Como este último es un derivado del petróleo, sus variaciones de precio dependen del escenario internacional.

El precio del gas natural en el último año ha ido a la baja con precios inferiores en promedio de un 5%, inducido por el menor costo del precio del petróleo.

En la siguiente tabla se aprecia el valor del m³ los últimos 3 años en la VIII región.

Tabla VII-4: Valor m³ de gas natural últimos 3 años en la VIII Región Fuente Gassur, Elaboración Propia.

Precio m³ Gas Natural en la VIII Región.		
2013	2014	2015
\$ 567.00	\$ 540,75	\$515.00

Cabe destacar como se dijo anteriormente los precios son volátiles y dependen mucho del escenario internacional, al ser nuestro país un claro importador de gas natural.

Por lo cual se hará una estimación a 10 años siguiendo la tendencia de los últimos años, es decir disminución de la tarifa en 5%, otra sin variación en el precio y otra con un aumento del 5%, para así reflejar de mejor manera las tarifas.

Tabla VII-5: Disminución del 5% anual en la tarifa de m³ del gas natural, a 10 años Elaboración Propia.

Año	Disminucion del 5% anual
2016	\$ 489.25
2017	\$ 464.79
2018	\$ 441.55
2019	\$ 419.47
2020	\$ 398.50
2021	\$ 378.57
2022	\$ 359.64
2023	\$ 341.66
2024	\$ 324.58
2025	\$ 308.35

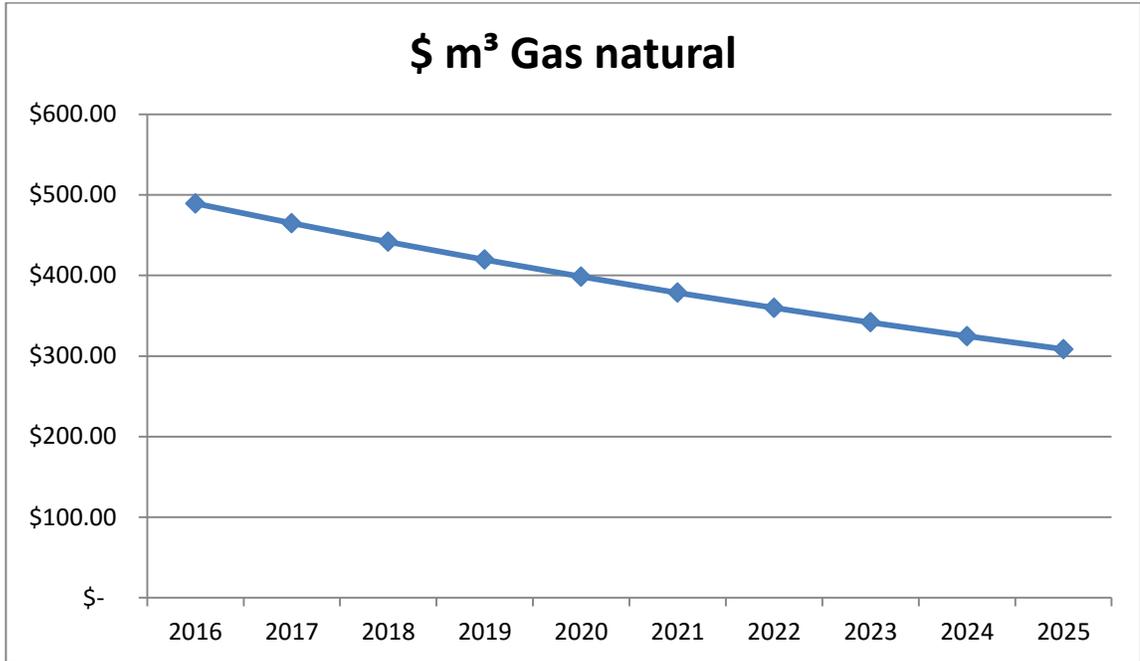


Grafico VII-1: Simulación de tendencia del precio costo m³, con disminución de un 5% a 10 años, Elaboración Propia.

Tabla VII-6: Aumento del 5% anual en la tarifa de m³ del gas natural, a 10 años Elaboración Propia.

Año	Aumento del 5% anual
2016	\$ 540.75
2017	\$ 567.79
2018	\$ 596.18
2019	\$ 625.99
2020	\$ 657.29
2021	\$ 690.15
2022	\$ 724.66
2023	\$ 760.89
2024	\$ 798.93
2025	\$ 838.88

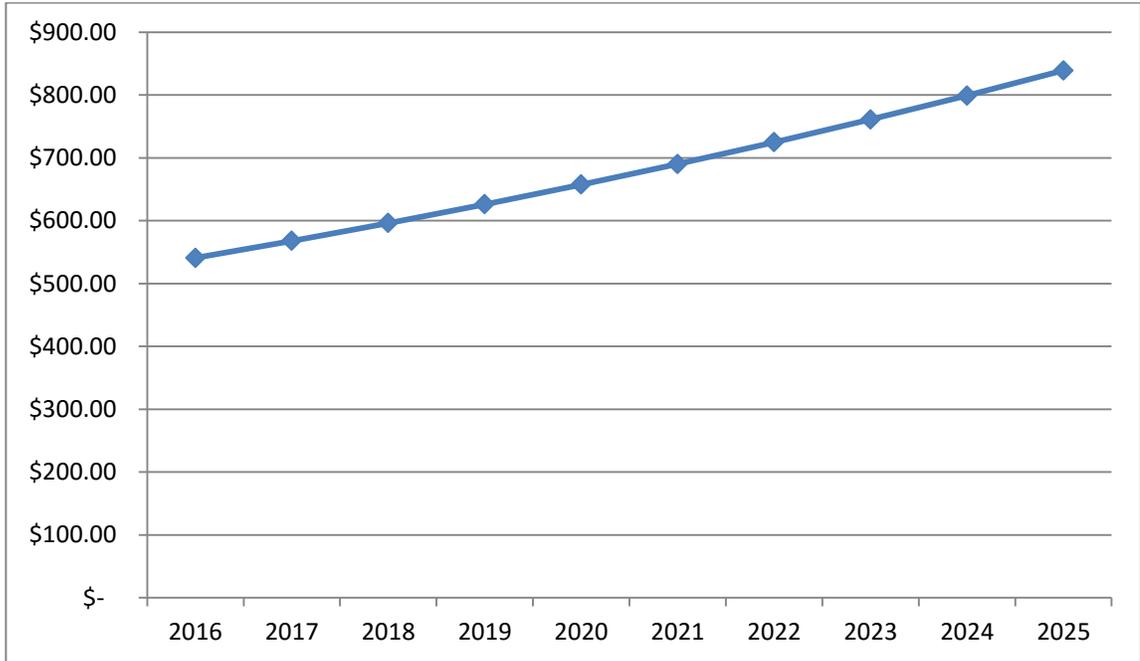


Grafico VII-2: Simulación de tendencia del precio costo m³, con aumento de un 5% a 10 años, Elaboración Propia.

Con los datos proyectados hasta el año 2025 (10 años) de la tarifa del m³ de gas natural se confeccionarán las siguientes tres tablas, una con la tendencia a la disminución del 5% en el precio, otra con la tarifa constante y otra con el aumento del 5%.

Con esto se quiere cuantificar el ahorro de la instalación de acuerdo a los meses del año, posteriormente se suman los costos mensuales y se calcula el ahorro anual el que se usará en el flujo de caja, como ingreso.

Tabla VII-7: Disminución de tarifa del m³ de gas natural en 5% durante 10 años. Elaboración Propia

Ahorro mensual y anual proporsionado por la instalación solar termica										
MES	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
ENERO	\$197,999	\$188,100	\$178,695	\$169,760	\$161,272	\$153,208	\$145,548	\$138,270	\$131,357	\$124,789
FEBRERO	\$166,722	\$158,386	\$150,466	\$142,943	\$135,796	\$129,006	\$122,556	\$116,428	\$110,607	\$105,076
MARZO	\$224,815	\$213,575	\$202,896	\$192,751	\$183,113	\$173,958	\$165,260	\$156,997	\$149,147	\$141,690
ABRIL	\$210,478	\$199,954	\$189,956	\$180,458	\$171,435	\$162,864	\$154,721	\$146,984	\$139,635	\$132,654
MAYO	\$142,330	\$135,214	\$128,453	\$122,030	\$115,929	\$110,132	\$104,626	\$99,394	\$94,425	\$89,704
JUNIO	\$150,424	\$142,903	\$135,758	\$128,970	\$122,521	\$116,395	\$110,575	\$105,047	\$99,794	\$94,805
JULIO	\$158,611	\$150,680	\$143,146	\$135,989	\$129,190	\$122,730	\$116,594	\$110,764	\$105,226	\$99,964
AGOSTO	\$225,006	\$213,756	\$203,068	\$192,915	\$183,269	\$174,105	\$165,400	\$157,130	\$149,274	\$141,810
SEPTIEMBRE	\$286,401	\$272,081	\$258,477	\$245,553	\$233,275	\$221,611	\$210,531	\$200,004	\$190,004	\$180,504
OCTUBRE	\$333,810	\$317,120	\$301,264	\$286,201	\$271,891	\$258,296	\$245,381	\$233,112	\$221,457	\$210,384
NOVIEMBRE	\$335,902	\$319,107	\$303,151	\$287,994	\$273,594	\$259,915	\$246,919	\$234,573	\$222,844	\$211,702
DICIEMBRE	\$320,627	\$304,596	\$289,366	\$274,898	\$261,153	\$248,095	\$235,690	\$223,906	\$212,711	\$202,075
TOTAL	\$2,903,022	\$2,757,871	\$2,619,977	\$2,488,979	\$2,364,530	\$2,246,303	\$2,133,988	\$2,027,289	\$1,925,924	\$1,829,628

Tabla VII-8: Mantenimiento de tarifa del m³ de gas natural durante 10 años. Elaboración Propia

Ahorro mensual y anual proporsionado por la instalación solar termica										
MES	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
ENERO	\$ 208,421	\$ 208,421	\$ 208,421	\$ 208,421	\$ 208,421	\$ 208,421	\$ 208,421	\$ 208,421	\$ 208,421	\$ 208,421
FEBRERO	\$ 175,497	\$ 175,497	\$ 175,497	\$ 175,497	\$ 175,497	\$ 175,497	\$ 175,497	\$ 175,497	\$ 175,497	\$ 175,497
MARZO	\$ 236,648	\$ 236,648	\$ 236,648	\$ 236,648	\$ 236,648	\$ 236,648	\$ 236,648	\$ 236,648	\$ 236,648	\$ 236,648
ABRIL	\$ 221,556	\$ 221,556	\$ 221,556	\$ 221,556	\$ 221,556	\$ 221,556	\$ 221,556	\$ 221,556	\$ 221,556	\$ 221,556
MAYO	\$ 149,821	\$ 149,821	\$ 149,821	\$ 149,821	\$ 149,821	\$ 149,821	\$ 149,821	\$ 149,821	\$ 149,821	\$ 149,821
JUNIO	\$ 158,341	\$ 158,341	\$ 158,341	\$ 158,341	\$ 158,341	\$ 158,341	\$ 158,341	\$ 158,341	\$ 158,341	\$ 158,341
JULIO	\$ 166,959	\$ 166,959	\$ 166,959	\$ 166,959	\$ 166,959	\$ 166,959	\$ 166,959	\$ 166,959	\$ 166,959	\$ 166,959
AGOSTO	\$ 236,849	\$ 236,849	\$ 236,849	\$ 236,849	\$ 236,849	\$ 236,849	\$ 236,849	\$ 236,849	\$ 236,849	\$ 236,849
SEPTIEMBRE	\$ 301,474	\$ 301,474	\$ 301,474	\$ 301,474	\$ 301,474	\$ 301,474	\$ 301,474	\$ 301,474	\$ 301,474	\$ 301,474
OCTUBRE	\$ 351,379	\$ 351,379	\$ 351,379	\$ 351,379	\$ 351,379	\$ 351,379	\$ 351,379	\$ 351,379	\$ 351,379	\$ 351,379
NOVIEMBRE	\$ 353,581	\$ 353,581	\$ 353,581	\$ 353,581	\$ 353,581	\$ 353,581	\$ 353,581	\$ 353,581	\$ 353,581	\$ 353,581
DICIEMBRE	\$ 337,502	\$ 337,502	\$ 337,502	\$ 337,502	\$ 337,502	\$ 337,502	\$ 337,502	\$ 337,502	\$ 337,502	\$ 337,502
TO TAL	\$3,055,813	\$ 3,055,813	\$3,055,813							

Tabla VII-9: Aumento de tarifa del m³ de gas natural en 5% durante 10 años. Elaboración Propia

Ahorro mensual y anual proporsionado por la instalación solar termica										
MES	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
ENERO	\$ 218,842	\$ 229,784	\$ 241,273	\$ 253,336	\$ 266,003	\$ 279,303	\$ 293,269	\$ 307,932	\$ 323,329	\$ 339,495
FEBRERO	\$ 184,271	\$ 193,485	\$ 203,159	\$ 213,317	\$ 223,983	\$ 235,182	\$ 246,941	\$ 259,288	\$ 272,253	\$ 285,865
MARZO	\$ 248,480	\$ 260,904	\$ 273,949	\$ 287,647	\$ 302,029	\$ 317,130	\$ 332,987	\$ 349,636	\$ 367,118	\$ 385,474
ABRIL	\$ 232,633	\$ 244,265	\$ 256,478	\$ 269,302	\$ 282,767	\$ 296,906	\$ 311,751	\$ 327,338	\$ 343,705	\$ 360,891
MAYO	\$ 157,312	\$ 165,178	\$ 173,437	\$ 182,109	\$ 191,214	\$ 200,775	\$ 210,814	\$ 221,354	\$ 232,422	\$ 244,043
JUNIO	\$ 166,258	\$ 174,571	\$ 183,299	\$ 192,464	\$ 202,088	\$ 212,192	\$ 222,802	\$ 233,942	\$ 245,639	\$ 257,921
JULIO	\$ 175,307	\$ 184,072	\$ 193,276	\$ 202,940	\$ 213,087	\$ 223,741	\$ 234,928	\$ 246,674	\$ 259,008	\$ 271,958
AGOSTO	\$ 248,691	\$ 261,125	\$ 274,182	\$ 287,891	\$ 302,285	\$ 317,400	\$ 333,270	\$ 349,933	\$ 367,430	\$ 385,801
SEPTIEMBRE	\$ 316,548	\$ 332,375	\$ 348,994	\$ 366,444	\$ 384,766	\$ 404,004	\$ 424,205	\$ 445,415	\$ 467,686	\$ 491,070
OCTUBRE	\$ 368,948	\$ 387,396	\$ 406,766	\$ 427,104	\$ 448,459	\$ 470,882	\$ 494,426	\$ 519,147	\$ 545,105	\$ 572,360
NOVIEMBRE	\$ 371,260	\$ 389,823	\$ 409,314	\$ 429,780	\$ 451,269	\$ 473,832	\$ 497,524	\$ 522,400	\$ 548,520	\$ 575,946
DICIEMBRE	\$ 354,377	\$ 372,096	\$ 390,701	\$ 410,236	\$ 430,748	\$ 452,285	\$ 474,899	\$ 498,644	\$ 523,577	\$ 549,755
TOTAL	\$3,208,603	\$ 3,369,034	\$ 3,537,485	\$ 3,714,360	\$ 3,900,077	\$ 4,095,081	\$ 4,299,835	\$ 4,514,827	\$ 4,740,569	\$ 4,977,597

Tabla VII-10: Flujo de caja sin variación de la tarifa de gas natural a 10 años, Elaboración Propia.

FLUJO DE CAJA A 10 AÑOS SIN VARIACIÓN DE LA TARIFA DE GAS NATURAL											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ahorro por SST		\$3,055,813	\$3,055,813	\$3,055,813	\$3,055,813	\$3,055,813	\$3,055,813	\$3,055,813	\$3,055,813	\$3,055,813	\$3,055,813
Cambio de tuvo Heat Pipe		-\$24,342	-\$26,776.20	-\$29,454	-\$32,399	-\$35,639	-\$39,203	-\$43,123	-\$47,436	-\$52,179	-\$57,397
Inversion Inicial	-\$17,984,597										
Venta de Activos											\$4,117,299
Ahorro total	-\$17,984,597	\$3,031,471	\$3,029,037	\$3,026,359	\$3,023,414	\$3,020,174	\$3,016,610	\$3,012,689	\$3,008,377	\$3,003,634	\$7,115,714
Costo de capital	10%										
VAN Neto	\$1,961,959										
TIR Neto	13%										

Tabla VII-11: Flujo de caja con variación de la tarifa de gas natural, Elaboración Propia.

FLUJO DE CAJA A 10 AÑOS CON DISMINUCIÓN DE LA TARIFA DE GAS NATURAL EN 5% ANUAL											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ahorro por SST		\$2,903,022	\$2,757,871	\$2,619,977	\$2,488,979	\$2,364,530	\$2,246,303	\$2,133,988	\$2,027,289	\$1,925,924	\$1,829,628
Cambio de tuvo Heat Pipe		-\$24,342	-\$26,776	-\$29,454	-\$32,399	-\$35,639	-\$39,203	-\$43,123	-\$47,436	-\$52,179	-\$57,397
Inversion Inicial	-\$17,984,597										
Venta de Acivos											\$4,117,299
Ahorro total	-\$17,984,597	\$2,878,680	\$2,731,095	\$2,590,524	\$2,456,579	\$2,328,891	\$2,207,100	\$2,090,865	\$1,979,853	\$1,873,745	\$5,889,529
Costo de capital	10%										
VAN Neto	-\$1,575,044										
TIR Neto	8%										

Tabla VII-12: Flujo de caja con variación de la tarifa de gas natural, Elaboración Propia.

FLUJO DE CAJA A 10 AÑOS CON AUMENTO DE LA TARIFA DE GAS NATURAL EN 5% ANUAL											
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ahorro por SST		\$3,208,603	\$3,369,034	\$3,537,485	\$3,714,360	\$3,900,077	\$4,095,081	\$4,299,835	\$4,514,827	\$4,740,569	\$4,977,597
Cambio de tuvo Heat Pipe		-\$24,342	-\$26,776	-\$29,454	-\$32,399	-\$35,639	-\$39,203	-\$43,123	-\$47,436	-\$52,179	-\$57,397
Inversion Inicial	-\$17,984,597										
Venta de Activos											\$4,117,299
Ahorro total	-\$17,984,597	\$ 3,184,261	\$3,342,257	\$ 3,508,031	\$3,681,960	\$3,864,438	\$4,055,878	\$4,256,712	\$4,467,392	\$4,688,389	\$9,037,498
Costo de capital	10%										
VAN Neto	\$6,593,559										
TIR Neto	18%										

Tabla VII-13: VAN sensibilizado costo m³ Gas Natural, Elaboración Propia.

Sensibilizando costo de Gas Natural				
VARIACIÓN COSTO GAS NATURAL	TASA CASTIGO	VAN	TIR	RETORNO INVERSIÓN
-5%	10%	-\$1,575,044	8%	7 AÑOS 2 MESES
0%	10%	\$1,961,959	13%	5 AÑOS 9 MESES
5%	10%	\$6,593,559	18%	5 AÑOS 1 MES

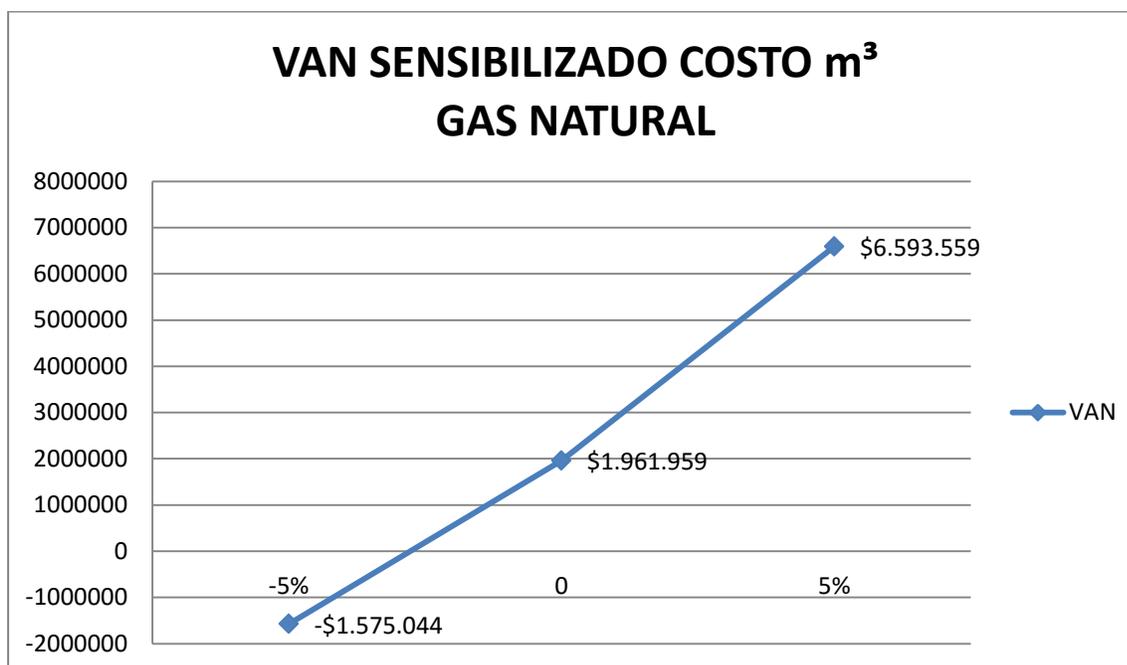


Grafico VII-3: VAN Sensibilizado costo m³ Gas Natural, Elaboración Propia.

VIII. CONCLUSIONES.

Finalizado el estudio de factibilidad técnica y económica, para la instalación de paneles solares térmicos para Agua Caliente Sanitaria se puede determinar que:

Las condiciones de radiación solar en VIII región y principalmente en Talcahuano son propicias para realizar este tipo de instalaciones, produciéndose rangos de más de 200 KWh/m² en los meses de verano y junto con las características técnicas del colector solar a emplear entrega una cobertura solar para generar A.C.S. de más de 100% en el mes de Enero, para comenzar a disminuir paulatinamente, llegando a solo un 34,2% en el mes de Junio.

El promedio anual de radiación en Talcahuano alcanza un total de 1.555,57 KWh/m², superando incluso a países de Europa y EEUU, en donde este tipo de instalaciones son ampliamente utilizadas.

Analizado los Sistemas Solares Térmicos, esta es una tecnología bastante utilizada y consolidada a nivel mundial, utilizando principalmente 2 tipos de paneles o cobertores solares los de placa plana y los de Heat Pipe, utilizando también 2 tipos de sistemas para su funcionamiento, a través de un sistema forzado el cual necesita una bomba de circulación y los de tipo Termosifón siendo estos de circulación natural.

Como se pudo observar, en nuestro proyecto se decidió por la utilización de un sistema de funcionamiento de tipo natural, a través de colectores solares de tipo Heat Pipe, principalmente porque requiere un mantenimiento preventivo sin costos, y por las condiciones climáticas de la zona las cuales hacen que el colector Heat Pipe por sus características técnicas sea más eficiente.

En cuanto a los aspectos técnicos la ventaja de la implementación y el acoplado a un sistema convencional son relativamente fácil, solo se tiene que realizar un buen cálculo para determinar en forma fehaciente la cantidad exacta de colectores a utilizar, además de utilizar los accesorios adecuados para su funcionamiento.

Además el personal con el que la repartición naval cuenta está capacitado para garantizar el funcionamiento del sistema sin ningún problema, sumado a esto la capacitación que efectuará la empresa, reúnen las condiciones ideales para garantizar un funcionamiento constante.

Analizado también el estudio económico se puede apreciar que los mayores costos para la implementación de un sistema solar térmico están en la compra de los paneles solares, además de la mano de obra, haciendo un total de inversión de \$17.984.597, cabe destacar eso si la disminución de los precios de los paneles en los últimos años, producto de la inclusión de china en el mercado.

Analizado también los ahorros que genera este tipo de instalación se pudo apreciar que son relativamente convenientes ya que al instalar el sistema se ahorra hasta un 69,1% anual de pago por consumo de gas natural, lo que se traduce específicamente un ahorro en la repartición de la Armada de Chile de \$3.055.813, para una tarifa del m³ de gas natural a cañería de \$ 515, al mantener constante la tarifa al término de los 10 años de análisis se genera un VAN de \$1.961.959 y un TIR del 11% y el retorno de inversión sería de 5 años y 9 meses.

Cabe destacar que producto de la antes mencionada volatilidad de los precios del gas natural se simuló también otros 2 escenarios con aumento y disminución la tarifa en un 5%, durante el periodo de análisis de 10 años. Claramente en la disminución de la tarifa es el escenario menos favorable siendo económicamente no viable su instalación ya que se genera un VAN de -\$1.575.044 y un TIR de solo 8% y el retorno de inversión sería recién a los 7 años y 2 meses.

El escenario económicamente más favorable es cuando la tarifa de gas natural aumenta un 5% anual durante el periodo de análisis de 10 años haciendo muy atractiva su instalación, ya que se genera un VAN de \$6.593.559 y un TIR del 18%, recuperando la inversión en tan solo 5 años y 1 mes.

Al analizar estos resultados, si fuera una empresa que no solo está orientada a disminuir los costos, sino que también a generar ganancias, claramente sería más económicamente viable invertir estos recursos en otro proyecto más conveniente, eso si la utilización de energías renovables no convencionales le da un valor agregado a la empresa.

La Armada de Chile organización sin fines de lucro y dependiente del estado al utilizar esta tecnología se estará alineando a la estrategia del gobierno de producir energía de manera eficiente, disminuyendo el consumo de energías convencionales, además sería una ventaja estratégica al no depender en un 100% de las empresas de las empresas proveedoras de gas natural y ante la imposibilidad de que las empresas puedan suministrar gas, se podría generar A.C.S. hasta en un 69,1% pudiendo satisfacer la demanda de agua, utilizándola racionalmente.

Por último analizado los escenarios, se sugiere postergar el desarrollo del proyecto para volver a ser evaluado en un periodo de 2 a 5 años, analizando las tarifas de gas natural que actualmente son volátiles, así como también los precios de los colectores solares térmicos que deberían disminuir, disminuyendo con esto también el riesgo de realizar el proyecto.

IX. BIBLIOGRAFÍA

ALARCON, F. R. (2011). *TESIS: "EVALUACIÓN DE DOS SISTEMAS SOLARES DE AGUA CALIENTE SANITARIA PARA EL LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS*. CONCEPCIÓN, CHILE.

Aschwanden, M. J. (2007). *THE SUN*.

Comite Nacional de Energía (CNE), PNUD, UTFSM. (2008). *REGISTRO SOLARIMETRICO*.

Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT), Cámara Chilena de la Construcción . (2011). *ANUARIO SOLAR* .

Energía, A. V. (2012). *ENERGÍA SOLAR TÉRMICA*.

LETELIER, E. J. (2013). *TESIS: "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO PARA UNA VIVIENDA DE LA VIII REGIÓN"*. CONCEPCIÓN, CHILE.

Ministerio de Energía, PNUD. (2013). *Manual Práctico de Técnico Solar SST de ACS en Viviendas Unifamiliares*.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Ministerio de Energía, Corporación del Desarrollo Tecnológico (CDT). (2010). *SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS II*.

