



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE VIÑA DEL MAR

13-08-2020
JOSÉ MIGUEL CARRERA

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA COMPARAR CALEFACCIÓN DE
PISO RADIANTE CON SISTEMA SOLAR TÉRMICO EN SUSTITUCIÓN
POR CALEFACCIÓN A LEÑA EN LA COMUNA DE OSORNO

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Técnico Universitario en
Energías Renovables

Alumnos
Diego Andrés Ramírez Maldonado
Aníbal Pablo Solar Olivares
Profesor guía: Ing. Vanessa Mella

Resumen

En siguiente trabajo se investigó la real capacidad que tendría un sistema de calefacción por piso radiante, suministrado por una fuente de calor en base a un sistema solar térmico, de poder desplazar a la matriz energética de la ciudad Osorno, que para este fin de calefacción domiciliaria, consiste principalmente en leña.

En el primer capítulo se comenzó explicando la situación actual de contaminación en el país para continuar con la situación de Osorno cuya principal causal es el uso de leña, además se entregó una primera y breve explicación de la idea propuesta. Se finalizó con la explicación del sistema solar térmico y descripción del sistema de piso radiante.

En el segundo capítulo se realizó el cálculo de la solución de piso radiante más el sistema solar térmico, mediante la confección de una vivienda tipo para la ciudad en base a bibliografía oficial. Posteriormente se procedió con el cálculo del piso radiante, el cual se confeccionó mediante la guía de la norma UNE EN 1264 más una serie de trabajos relacionados al mismo tema. Por su parte el Sistema solar térmico se elaboró en base al método de cálculo F-chart modificado implementado en la Ley 20.365.

En la última parte del mismo capítulo se presentó una propuesta de confección para el sistema completo.

Con el tercer y último capítulo de este trabajo se finalizó toda la propuesta ideada con una evaluación económica para determinar la viabilidad del proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

OBJETIVOS DEL PROYECTO	
Objetivo General	
Objetivos Específicos	
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES	
1.1. SITUACIÓN ACTUAL EN EL PAÍS	14
1.2. SITUACIÓN DE OSORNO	15
1.2.1. Combustión como problemática	16
1.3. SOLUCIÓN DE FORMA SIMPLIFICADA	20
1.4. TECNOLOGÍA DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO	22
1.5. COMPONENTES DEL SISTEMA TÉRMICO	23
1.5.1. Colector solar	23
1.5.2. Colector solar de tubos al vacío	23
1.5.3. Colector Solar plano	24
1.5.4. Tubos al vacío heat-pipe	24
1.5.5. Depósito acumulador	25
1.5.6. Intercambiador de calor	26
1.5.7. Estructura de soporte	27
1.5.8. Circuito hidráulico del SST	28
1.5.9. Tuberías	29
1.5.10. Sistemas de expansión	29
1.5.11. Sistema automático de mezcla	30
1.5.12. Válvulas	31
1.6. TECNOLOGÍA DE LOSA RADIANTE	33
1.6.1 Principio de funcionamiento	33
1.7. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DE LOSA RADIANTE	35
1.7.1. Film anti -vapor	36
1.7.2. La cinta o zócalo perimetral	36
1.7.3. Plancha aislante	36
1.7.4. Tubería	37
1.7.5. Juntas de dilatación y funda aislante	37
1.7.6. Colectores	38
1.7.7. Regulación	38
1.7.8 Mortero	39
CAPITULO 2: TEORIA DE LA PROPUESTA	40

2.1.	INTRODUCCIÓN DE LA PROPUESTA	41
2.2.	INFORMACIÓN DEL LUGAR	42
2.3.	TIPO DE VIVIENDA	43
2.4.	METODOLOGÍA DEL CÁLCULO	44
2.4.1	Cálculo piso radiante	45
2.4.2.	Determinación de la temperatura superficial del piso	50
2.5.	CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS PARA LA INSTALACIÓN	52
2.5.1	Determinación de separación entre tuberías	53
2.5.2.	Cálculo de pérdidas en tubería	54
2.5.3.	Perdidas de carga en piezas especiales	55
2.5.4.	Cálculo de volumen de agua del piso radiante	57
2.5.5.	Bomba de circulación	58
2.6.	CÁLCULOS DE SISTEMA SOLAR TÉRMICO	59
2.6.1.	Modelo con SST natural 1	61
2.6.2.	Modelo SST natural 2	66
2.6.3.	Modelo SST forzado	71
2.7.	SISTEMA AUXILIAR	74
2.8.	DIAGRAMAS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	76
CAPITULO 3: EVALUACION ECONOMICA		82
3.1	TABLA DE COSTOS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	83
3.2	COSTOS PISO RADIANTE	85
3.3	COSTOS SISTEMA SOLAR TÉRMICO	86
3.4	COSTOS SISTEMA AUXILIAR	87
3.5	COSTOS DE INSTALACIÓN	87
3.6	COSTOS DE FUNCIONAMIENTO	89
3.7	AHORROS	92
3.8	INDICADOR ECONOMICO	94
CONCLUSIÓN		97
BIBLIOGRAFÍA		101
ANEXOS		103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 ¿Porque Osorno se contamina? 20

Figura 1-2 Diagrama sistema solar térmico 22

Figura 1-3 Tubos Heat pipe 23

Figura 1-4 Colector solar 24

Figura 1-5 Componentes Heat Pipe 25

Figura 1-6 Deposito acumulador 26

Figura 1-7 Tipos de deposito 27

Figura 1-8 Soporte convencional 28

Figura 1-9 Tubería ppr con aislación térmica 29

Figura 1-10 Vaso de expansión Vardeem 12 Litros 30

Figura 1-11 Valvula de corte 31

Figura 1-12 Valvula antirretorno 31

Figura 1-13 Valvula mezcladora 31

Figura 1-14 Valvula de seguridad 32

Figura 1-15 Valvula 3 vias 32

Figura 1-16 Diagrama de sistema completo SST 32

Figura 1-17 Esquema losa radiante 33

Figura 1-18 Tipo de transferencia de calor 34

Figura 1-19 Fotos de Film y zócalo perimetral 36

Figura 1-20 Tuberías losa radiante 37

Figura 1-21 Juntas de dilatación 37

Figura 1-22 Central de colector 38

Figura 1-23 Aplicación de mortero 39

Figura 2-24 Irradiancia en Osorno 42

Figura 2-25 Tipo de vivienda 43

Figura 2-26 Tipos de resistencias de inmersión 75

Figura 2- 27 Vista de planta casa modelo 76

Figura 2 -28 Diagrama de piso radiante 77

Figura 2-29 Diagrama de piso radiante 78

Figura 2- 30 Simbología 79

Figura 2-31 Diagrama de SST 80

Figura 2-32 Simbología SST 81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Límite máximo de emisión de MP y eficiencia para caldera nueva menor a 75kWt	15
Tabla 1-2 Límites máximos de emisión de MP para calderas nuevas y existentes	16
Tabla 1-3 Valores anuales de temperatura promedio	17
Tabla 1-4 Tipo de contaminantes según origen [Ton/año]	19
Tabla 1-5 Distribución según tipo de calefacción	19
Tabla 1-6 Proyección de cantidad de viviendas	21
Tabla 1-7 Características técnicas Heat-Pipe	24
Tabla 2-8 Perdidas en piezas especiales	56
Tabla 2-9 Perdidas en piezas especiales	57
Tabla 2-10 Resumen de perdidas	57
Tabla 2-11 temperatura ambiente de Osorno	60
Tabla 2-12 temperatura agua de red de Osorno	60
Tabla 2-13 Radiación solar global	60
Tabla 2- 14 Factor modificador de radiación	61
Tabla 2- 15 Factor modificador de radiación	68
Tabla 2- 16 Factor modificador de radiación	73
Tabla 2- 17 Factor modificador de radiación	73
Tabla 2- 18 Factor modificador de radiación	74
Tabla 3-18 Resumen de Costos	84
Tabla 3-19 Costos Piso radiante	85
Tabla 3-20 Costos SST forzado	86
Tabla 3-21 Costos Sistema auxiliar	87
Tabla 3-22 Costos de instalación SST	88
Tabla 3-23 Costos de carga inicial SST	89
Tabla 3-24 Costos mantenimiento SST	90
Tabla 3-25 Costos mantenimiento piso radiante	90
Tabla 3-25 Costos carga inicial piso radiante	90
Tabla 3-26 Costos de uso sist. Aux	91
Tabla 3-27 Costos de uso sist. Aux	92
Tabla 3-28 Costos de uso sist. Aux	93
Tabla 3-29 Flujo de caja simple	95

ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 1-1 consumo energético según fuente de calefacción 17

Grafico 2-2 Irradiancia en Osorno 43

Grafico 2-3 Temperatura / carga térmica 50

Grafico 2-4 Distancia entre tubos 53

INDICE DE ECUACIONES

Ecuacion 1-1 Espesor minimo 25

Ecuacion 2-2 Carga térmica 46

Ecuacion 2-3 Perdida de calor por renovación de aire 47

Ecuacion 2-4 Perdida térmica de un espacio a calentar 48

Ecuacion 2-5 Capacidad de calentamiento 49

Ecuacion 2-6 Flujo termico 50

Ecuacion 2-7 Cant. De tubería PEX-A 51

Ecuacion 2-8 Caudal según energía y salto termico 51

Ecuacion 2-9 Perdida en piezas especiales 55

Ecuacion 2-9 Velocidad de escurrimiento 56

Ecuacion 2-10 Volumen según tuberio 57

Ecuación 2-11 Radiación solar global 61

Ecuación 2-12 Demanda térmica diaria 62

Ecuación 2-13 Demanda térmica mensual 62

Ecuación 2-14 Parámetro D1 63

Ecuación 2-15 Parámetro D2 63

Ecuación 2-16 Factor de correlación F-chart 64

Ecuación 2-17 Energía mensual aportada 65

Ecuación 2-18 Contribución solar mínima 65

Ecuación 2-19 Energía mensual aportada 70

Ecuación 3-20 Ecuacion VAN 96

Ecuación 3-21 Ecuacion VAN 96

SIGLA

PDAO: Plan de descontaminación atmosférica para Osorno.

CONAMA: Comisión Nacional del Medio Ambiente.

FEGECA: Asociación de Fabricantes de Generadores y Emisores de Calor.

D.S: Decreto Supremo.

SST: Sistema solar térmico.

Sernac: Servicio nacional del consumidor.

ACS: Agua caliente sanitaria.

OMS: Organización mundial de la salud.

PEX: Tubo de polietileno reticulado.

PEX-A: Tubo de polietileno reticulado con barrera antioxígeno.

MP 2,5: Material particulado de 2,5 micrómetros.

MP 10: Material particulado de 10 micrómetros.

ACESOL: Asociación Chilena de Energía Solar.

UNE: Asociación Europea de Normalización.

EN: Norma Europea.

NCh: Norma Chilena.

SEC: Superintendencia de electricidad y combustibles

SIMBOLOGIA

BAR: Unidad de presión equivalente a 0.98 atm

[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]: microgramos por metro cúbico

[mg/m^3]: miligramos por metro cubico

[mg/Nm^3]: Miligramos por metro cúbico normal

[mm]: milímetro

[cm]: Centímetro

[m]: Metro

[m^2]: Metro cuadrado

[m^3]: Metro Cúbico

[l]: Litros

[°C]: Grados Celsius

[kW]: Kilowatt

[kCal]: Kilocalorías

[W/m^2]: Densidad de Flujo

[Kg/m^3]: Unidad de Densidad, Kg por metro cúbico.

[Kg/s]: Caudal Másico

[l/s]: Caudal Volumétrico

INTRODUCCIÓN

Existe una evidente contaminación en el aire de la ciudad de Santiago, lo que sumado a la influencia del impacto visual que genera la capa de smog en contraste con la cordillera, también gracias a las postales desde algún edificio o desde el cerro Santa Lucía, que, desde las alturas evidencian aún más la existencia de una densa cortina de smog. Dentro de las múltiples razones de esta situación se encuentra la gran cantidad de industrias, formación geográfica que propicia la acumulación de contaminantes en el ambiente, el sobrepoblado parque automotriz y por último, la densidad de población.

Ciertos conocedores e investigadores del tema venían publicitando desde hace algún tiempo la información de que la mala calidad del aire era una situación extendida a más lugares de nuestro país y no solo que abarcaba a Santiago.

Con la noticia sobre la realidad del aire a nivel país entregada por Greenpeace en el año 2018 quien junto con su partner tecnológico IQ Air, publicaron su reporte *World Air Quality Report* en el cual se exponían y comparaban los resultados de calidad del aire en nuestro país con otros de la región, se evidenció la real gravedad de la situación, a nivel más público.

Sin embargo a nivel gubernamental, los primeros caminos se dieron en el año 2011, con la promulgación de una nueva norma sobre el material particulado fino respirable MP 2,5, que siguiendo los estándares de la OMS y junto con otras medidas de medición, permitieron obtener información confiable sobre la calidad del aire a nivel país. De todas maneras, Santiago acaparó la mayor cantidad de esfuerzos, ya que se consideraba que era la ciudad con la peor calidad del aire en el país.

Retomando la situación del informe de Greenpeace, organización que tiene una filial muy activa en nuestro país, se explicó que, de las 10 ciudades más contaminadas de Sudamérica, 6 se encontraban en Chile y siendo Santiago recién la tercera de la lista.

En la actualidad, a pesar de los muchos programas y esfuerzos por mejorar la calidad del aire, la contaminación ha aumentado paulatinamente, manteniendo e incluso aumentando los episodios críticos de calidad del aire en los años siguientes.

Y a pesar de estar en el segundo lugar de la lista, se eligió a la ciudad de Osorno, para la implementación de la medida, dado que su lugar geográfico, justo entre el centro sur y el inicio del sur austral, entregara una versión que puede implementarse a ciudades cercanas y seguir obteniendo resultados similares.

Osorno es una ciudad del sur de Chile, la segunda ciudad más importante de la región de los lagos, con una población aproximada de 120 mil personas. Y a pesar de contar con su propio plan de descontaminación desde el año 2015, el 2018 obtuvo el segundo lugar a nivel de Sudamérica con una medición de 38.2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], solo superada por la ciudad Padre las Casas.

El problema de fondo parecer ser más complejo de lo que aparenta; porque a pesar de muchos esfuerzos, metodologías y planes para cambiar la calidad del aire en la ciudad, según la revisión de datos que hemos explorado y que gracias a la realización del PDAO, se instruyó la construcción de la estación de monitoreo "El Alba", situación que permite sostener una base de datos que muestran un aumento de los episodios críticos de la calidad de aire a través de los años.

Sin embargo, podemos identificar claramente la principal causa de la mala calidad del aire en las ciudades del sur del país, y en cual encuentra en Osorno, su principal exponente.

La calefacción mediante fuentes de material vegetal, como la leña son el principal foco de contaminación en la región, y en Osorno, que gracias a otras condiciones se genera una problemática de gran impacto, afectando una variedad diversa de parámetros de calidad de vida, como; salud, infraestructura, transporte, etc.

Razón por la cual este trabajo tendrá como finalidad, evaluar un sistema de calefacción para la comuna, en base a una vivienda ideada para esta finalidad. Dado que existe un claro impedimento de realizar una muestra in situ de estas características, se homologará la información encontrada en bases de datos confiables para este fin.

Con la demanda térmica ya establecida, se harán los cálculos correspondientes para responder la interrogante de si el sistema de piso radiante es una solución viable, y posterior a eso, se calculará la contribución de un SST como principal aporte de energía, finalizando con una evaluación económica de la misma medida.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General

- Evaluar de manera técnica y económica el uso de un sistema solar térmico (SST) para calefacción residencial por piso radiante, en sustitución de uso de leña en la comuna de Osorno.

Objetivos Específicos

- Caracterizar el estado de contaminación de la localidad debido al uso de leña para calefacción a nivel residencial, mediante uso de bibliografía para determinar la necesidad del uso de energías renovables.
- Determinar el recurso energético solar en la localidad, mediante uso de tablas de radiación para cuantificar la energía disponible.
- Dimensionar el sistema solar térmico a instalar, definiendo su configuración para determinar los equipos a implementar.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1.1. SITUACIÓN ACTUAL EN EL PAÍS

Recapitulando la información concerniente a la contaminación y calidad del aire y presentando una revisión del desarrollo en materia de cuidado ambiental se expone que: recién desde el año 1996, con la puesta en marcha del decreto supremo N° 131 que declaró la zona de Santiago como "Zona Saturada por Material Particulado (MP10), Ozono Troposférico (O₃), Partículas Totales en Suspensión (PTS) y Monóxido de Carbono (CO) y como Zona Latente por Dióxido de Nitrógeno (NO₂)" se situó a la contaminación ambiental, como una problemática de interés nacional. Diversas políticas, estudios, medidas y centros de control sobre la calidad del aire se fueron implementando desde la década del 2000 en adelante.

Una de estas medidas concretas fue la promulgación del decreto N°12, en el año 2011 del Ministerio del Medio Ambiente que vino a reemplazar a la ahora extinta CONAMA, en el año 2010. La cual estableció la norma primaria de calidad ambiental de material particulado fino respirable o mejor conocido MP 2,5, adoptando estándares de la OMS. De aquí en adelante siguieron, en la misma línea, planes especializados para las ciudades que presentaban mayores problemas.

Lamentablemente, a medida que el desarrollo económico aumentó en el país, también lo hizo la contaminación ambiental, tanto que, en la actualidad, de las diez ciudades con mayor contaminación del aire en Latino-América, ocho son chilenas y situando a la ciudad foco de este trabajo, Osorno, como la segunda de la lista. Exponiendo un ejemplo, según el reporte *Breve examen al cambio climático, contaminación del aire y salud en Chile* de Jaime Hurtubia para la revista de la sociedad de medicina de Chile, para el año 2018, se estimó que 9 millones de personas en el país se encontraban expuestas a concentraciones promedio superiores a lo que exige la norma de material particulado fino y de igual forma, se calculan más de 3 mil casos de mortalidad prematura por enfermedades cardiopulmonares, asociadas a la exposición crónica a estos contaminantes ambientales.

Y es que las razones del aumento son varias, por ejemplo, el parque automotriz, según datos oficiales, aumentó desde 1.314.129 en 2013 a un poco menos de 7,8 millones en el año 2018. Lo que implica una enorme descarga de CO₂ al medio ambiente.

El acelerado crecimiento de una variable con gran impacto en la calidad de aire es probable que anule cualquier avance en manejo de este mismo problema, que de por sí hasta el momento se ha caracterizado por un lento actuar o con medidas a medias para desarrollar soluciones a esta problemática.

1.2. **SITUACIÓN DE OSORNO**

La concentración máxima de PM 2,5 es de 10 [mg/m³] según la OMS, en el caso de Osorno el promedio anual es de 35 [mg/m³]. A pesar que desde el año 2015 cuenta con su propio plan de descontaminación ambiental.

Este plan dio inicio con la mediciones realizadas por la Estación de Monitoreo El Alba, ubicada en la Comuna de Osorno, en la cual se mostró evidencia del incumplimiento de las Normas Primarias de Calidad del Aire, lo que fue la base sobre la cual en el año 2013 con el D.S. N°27 del Ministerio del Medio Ambiente, 2013, se declarara la comuna como zona saturada por MP10 y MP2,5.

La siguiente lista enumera los principales puntos del plan de descontaminación ambiental de Osorno (PDAO).

Mejoramiento de la Calidad de la Leña: Mediante un programa de apoyo a los integrantes actuales y potenciales del mercado de la leña para acceder a una serie de programas de para comercialización asociativa, apoyo en gestión empresarial, innovación tecnológica, y acceso a financiamientos. La finalidad es aumentar el mercado de la leña seca de una cobertura mínima de 150.000 [m³/año] al primer año de la implementación.

Mejoramiento de la Eficiencia de Artefactos de Combustión Residencial: Se establecen los siguientes requisitos de límite máximo de emisión para MP y eficiencias en las calderas.

Tamaño [kWt]	Límite máximo de Emisión MP [mg/Nm³]	Eficiencia (%)
Menor a 75 [kWt]	50	Mayor o igual a 90

Tabla 1-1 Límite máximo de emisión de MP y eficiencia para caldera nueva menor a 75kWt

Fuente: Creación propia, Decreto N° 47, PDAO

Potencia térmica nominal de la caldera	Límite máximo de MP [mg/Nm³]	
	Caldera existente	Caldera nueva
Mayor o igual a 75 kWt y menor a 300 kWt	100	50
Mayor o igual a 300 kWt y menor a 1 MWt	50	50
Mayor o igual a 1 kWt y menor a 20 MWt	50	30
Mayor o igual a 20 MWt	30	30

Tabla 1-2 Límites máximos de emisión de MP para calderas nuevas y existentes

Fuente: Creación propia, Decreto N° 47, PDAO

Mejoramiento Térmico de las Viviendas: Solución ofrecida mediante un subsidio para el reacondicionamiento térmico de 15.000 viviendas en Osorno.

Educación y Sensibilización de la Comunidad: Para esta medida, la Seremi del medio ambiente, deberá contar un programa de capacitaciones, enfocada en los usuarios inscritos en el registro de calefactores. Crear una campaña publica de comunicación sobre las buenas prácticas en el uso de la leña y calefactores para toda la comunidad, y al cabo de un par de años tener establecido un programa de educación a nivel parvulario, básico y medio sobre la problemática ambiental.

1.2.1. Combustión como problemática

La necesidad de calefacción es de primera necesidad para sectores que se encuentran bajo un estrés de temperatura, el sur de nuestro país es uno de ellos, y por eso es entendible que la población recurra de cualquier manera al uso de ellos, generando un mercado informal de gran magnitud en la región, situación que sigue la misma línea en Osorno.

Según datos oficiales, el clima de la ciudad es templado-marítimo frío lluvioso, con un promedio de precipitaciones anuales próximo a los 3.000 [mm]. Y en términos de temperatura, tomando como información a los datos públicos que otorga la Dirección General de Aeronáutica Civil, de la Dirección Meteorológica de Chile, se pudo obtener datos del periodo del año 2008-2012, sobre la temperatura promedio. Si a esto consideramos los episodios de cambios extremos en el clima en los últimos años, tenemos un ambiente que justifica la urgencia de tener acceso global a calefacción.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Año 2008	4,2	0	1,8	-3,1	-5,3	-2,1	-3,1	-1,3	-2,5	-0,2	2,4	0,3
Año 2009	1	2,7	-1	-1,2	-3,8	-3,5	-5,3	0	-2,9	-2,6	-1,1	1,2
Año 2010	2	2	1,7	-0,6	-2,5	-5	-6,8	-5,5	-3	-1	1,2	0,5
Año 2011	1,7	2	0	0,8	-3	-5	-5,2	-2,8	-1,6	0	1	1
Año 2012	5	3,5	1,4	-0,8	-2,2	-4,5	-4,3	-3,6	-2,3	-0,5	-0,7	4,5

Tabla 1-3 Valores anuales de temperatura promedio

Fuente: Tesis evaluación técnico - económica de alternativas a la calefacción residencial a leña en ciudades de la zona centro-sur de chile, Pereira. A 2012, UCh

Los datos del censo del año 2012, establecen que cerca del 88,6% de los hogares en la región de Los Lagos utiliza leña o derivados para calefacción. Por lo que se puede asumir que Osorno sigue la misma tendencia.

En la siguiente tabla se muestra el total de hogares, según el combustible que utilizan para calefacción, tanto para la Provincia de Osorno, como también para su región. Adicionalmente, se muestra un gráfico circular sobre los porcentajes equivalentes a los sectores urbano y rural para el consumo de leña y sus derivados en cada área.

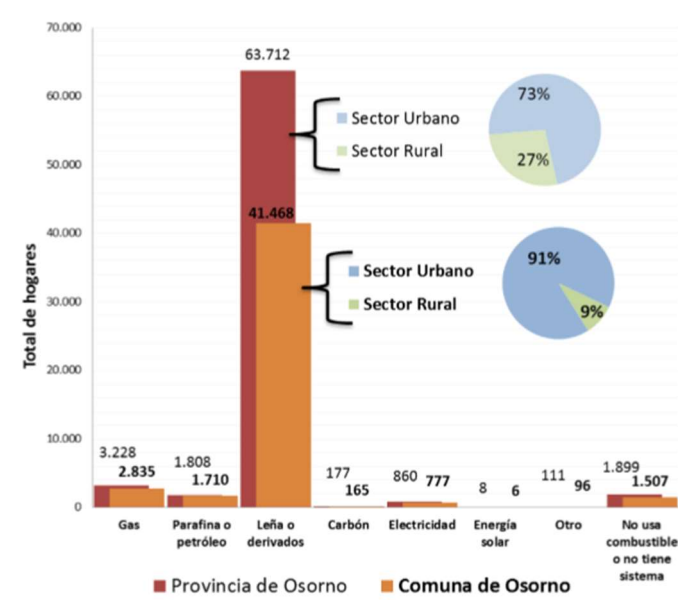


Grafico 1-1 consumo energético según fuente de calefacción

Fuente: Censo 2012 preliminar, INE

1.2.2. LEÑA

La leña como biocombustible se ha ocupado desde tiempos prehistóricos, y en este preciso momento se puede asegurar que tiene al menos dos mil veinte años proveyendo al ser humano con energía, principalmente para calefacción.

Como se expuso anteriormente, la leña tiene un impacto registable en el medio ambiente, y como un subconjunto de la leña, se encuentran las que tienen un mayor grado de humedad, que al ser quemadas liberan sustancias como el monóxido de carbono y dióxido de carbono, también sustancias diminutas como el PM10 y PM2,5. Este último parámetro termina siendo el mas dañino para las personas, puesto que puede respirarse y llegar al interior de los pulmones, siendo en algunos casos una condición de riesgo para personas con problemas o enfermedades respiratorios.

A pesar de que esta leña húmeda sea dañina para la salud, sigue siendo muy comercializada, por el hecho de tener un menor costo, a diferencia de la leña normal quien al presentar una regulación y procedimientos de comercialización, ve incrementado su valor.

El problema con la leña húmeda es la perdida de energía con la acción de evaporar el remanente de agua en vez de quemar su materia vegetal, al realizar esta acción se desprende un excedente en forma de material fino y dañino (PM2,5 Y PM10) por la combustión incompleta que existe a causa de esta humedad, razón por la cual ademas demora más tiempo en quemarse completamente (leña con 25% de humedad en adelante).

En el sur del país está muy arraigado el uso cultural de leña como principal método de calefacción y de cocina, en menor cantidad. A excepción de Punta Arenas, donde se encuentra un subsidio permanente para el gas natural, permitiendo que la población priorice este suministro para su calefacción.

En el caso de Osorno, ocurre que la formación geográfica del lugar, la humedad y la alta *inversión térmica*¹ mantiene una obstrucción al flujo del aire.

Según datos oficiales sobre la comuna de Osorno, tomadas desde la estación El Alba, la emisión de contaminantes al ambiente según su fuente de emisión, se establece de la siguiente manera:

¹ Proceso natural que afecta a la circulación del aire en las capas bajas de la atmósfera

	MP10	MP2,5	SO ₂	NOX	NH ₃	CO
Combustión residencial de leña	9740	9462	66	428	362	250852
Quema e incendios	173	162	28	68	4	1268
Fuentes fijas	399	215	739	409	0	378
Móviles en ruta	33	29	3	723	14	3180
Fugitivas	625	93	0	0	0	0
Total	10970	9961	836	1628	380	255678

Tabla 1-4 Tipo de contaminantes según origen
 [Ton/año]

Fuente: Decreto N° 47, PDAO 2015

Informacion en donde se evidencia el fuerte impacto que genera la calefacción domiciliaria en la contaminación ambiental de la comuna. Ahora, si se cambia el foco del cuestionamiento y se indaga sobre la distribución por tipos de calefactores en la zona, se obtiene la siguiente información proveniente del estudio *Encuesta de consumo de energía a nivel residencial* realizado por el CIVA de la UACH en el año 2014.

Tenencia de artefactos	% de hogares
Cocina leña + cocina gas	15%
Calefactor leña + cocina leña	6%
Calefactor leña + cocina leña + cocina gas	28%
Solo cocina leña	4%
Solo calefactor leña	44%

Tabla 1-5 Distribución según tipo de calefacción

Fuente: CIVA, UACH 2014

Sin embargo, es necesario explicar que la comuna presenta condiciones geográficas que facilitan el colapso en la calidad del aire, cuando se suman variables tan críticas como las ya expuestas.



Figura 1-1 ¿Porque Osorno se contamina?

Fuente: PDAO. 2015

1.3. SOLUCIÓN DE FORMA SIMPLIFICADA

Según lo expuesto, la calefacción mediante leña es el principal causante en relación con los episodios críticos de material particulado y este trabajo de investigación está orientado en otorgar una solución para la consecuencia de la calefacción en el sur de Chile.

Tomando en consideración la cantidad de viviendas que utilizan la calefacción a leña, es posible asumir que el impacto de esta media en la calidad del aire será considerable.

Acá se presenta una estimación desde el año 2015 al 2025 sobre la cantidad de viviendas totales y de las que usan leña.

Año	Nº viviendas totales	Nº viviendas consumen leña
2015	49.169	46.563
2016	50.074	47.420
2017	50.995	48.292
2018	51.934	49.181
2019	52.889	50.086
2020	53.862	51.008
2021	54.853	51.946
2022	55.863	52.902
2023	56.890	53.875
2024	57.937	54.867
2025	59.003	55.876

Tabla 1-6 Proyección de cantidad de viviendas

Fuente: Tesis evaluación técnico - económica de alternativas a la calefacción residencial a leña en ciudades de la zona centro-sur de Chile, Pereira. P 2017, UTFSM

Por lo cual se explorará a largo de los siguientes capítulos, si un sustituto a la calefacción convencional del hogar contra una suministrada por losa radiante puede considerarse una posible alternativa.

Para este fin, se estimará la demanda térmica de una vivienda promedio de la comuna de Osorno, una vez con estos valores se evaluará la contribución solar del sistema térmico, dado que en el sur de Chile se registran bajos niveles de radiación solar, por último se resolverá si el sistema de calefacción por losa radiante es funcional.

Si durante el desarrollo de esta investigación se encuentra algún impedimento capaz de inhabilitar la propuesta tecnológica, se añadirán los complementos necesarios para resolver la problemática, analizando al final de todo este trabajo las conclusiones obtenidas con la o las propuestas que se hayan conseguido en base a la información recopilada.

1.4. TECNOLOGÍA DEL SISTEMA SOLAR TÉRMICO

El mecanismo por el cual funciona el sistema térmico por energía solar es bastante simple, y su funcionamiento es el siguiente: un equipo permite la conversión de irradiación solar en energía térmica, la cual se trasmite hacía un líquido y el movimiento de este fluido permite la transferencia de esa energía para el fin que disponga el usuario.

Este líquido, dependiendo del tipo de sistema, podrá ser agua u otro liquido calo-transportador. Y será este el aprovechado como suministro de ACS o para calefaccionar, por medio de la ayuda con otro equipo.

En resumen, el sistema de calefacción solar corresponde a una serie de equipos y componentes que permiten el aprovechamiento de la energía solar.

Este trabajo está enfocado en las viviendas promedios de la comuna de Osorno y es un requerimiento estimar la demanda térmica, por lo cual, con la imposibilidad de obtener datos en terreno, se realizara un desarrollo en base a un modelo elegido que cumpla con el propósito de esta investigación. Para validar el sistema térmico se utilizaran los requisitos de aporte energético que se presentan en la norma técnica de la Ley 20.365.

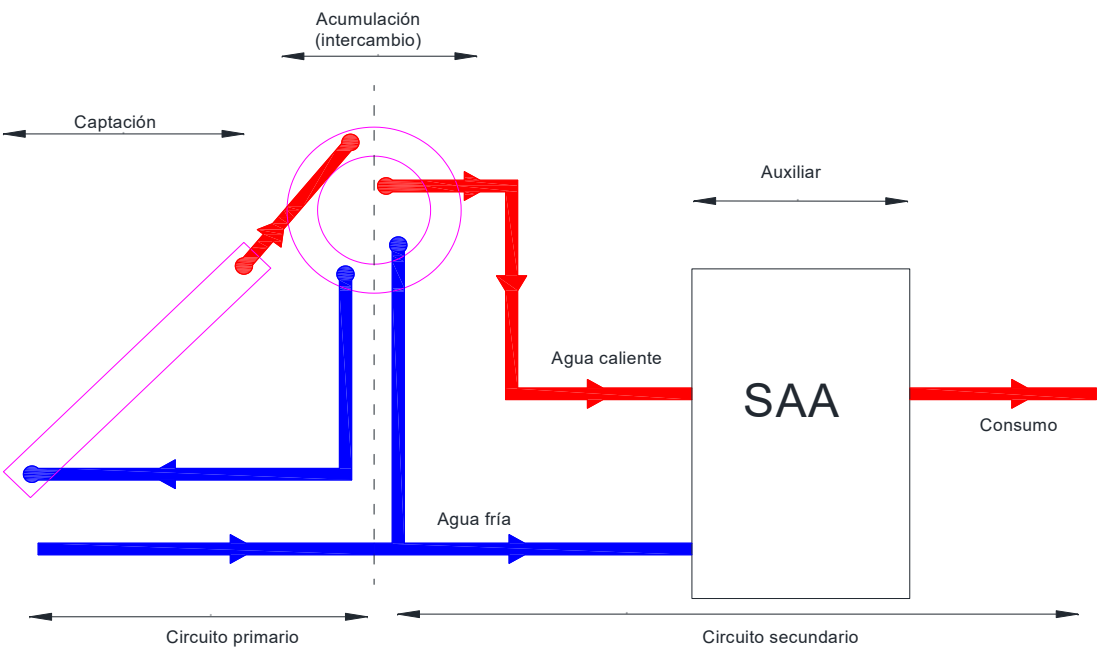


Figura 1-2 Diagrama sistema solar térmico

Fuente: Creación propia, Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

1.5. COMPONENTES DEL SISTEMA TÉRMICO

No basta con equipar al sistema de todos los componentes que se requieren para dejarlo operativo, también deben ser los equipos adecuados y específicos para las situaciones que presentara el medio en donde este inmerso. Esto se consigue mediante el cálculo de instalación. Sin embargo, los equipos principales que componen el sistema siempre son los mismos, enumerándose los siguientes acá:

1.5.1. Colector solar

Es el encargado de recolectar los rayos incidentes del sol y permiten que se esa energía se transmita el líquido de trabajo. Existen diferentes tipos de colectores y con distintas tecnologías de fabricación. En términos generales, se pueden clasificar en dos tipos principales; Colectores Solares de Tubos al Vacío y Colectores Solares Planos.

1.5.2. Colector solar de tubos al vacío

Estos colectores están conformados por tubos de vidrio, que al cerrarlos al final de su producción se extrae todo el aire, generando un ambiente de vacío. El vacío funciona como un aislante térmico disminuyendo significativamente las pérdidas de calor por conducción y convección. El más conocido de esta tecnología de colector, es el denominado "Heat Pipe", que es un tubo de vacío igualmente, pero que lleva en su interior una placa absorbente de cobre-aluminio con un tubo hueco cerrado por los dos extremos, con una pequeña cantidad de una mezcla de alcohol dentro del mismo. Al calentarse, mezcla que se evapora ascendiendo hasta el extremo con menor temperatura, donde se enfría al ceder su calor latente al agua del circuito primario y, por tanto, se condensa y desciende de nuevo por gravedad



Figura 1-3 Tubos Heat pipe

Fuente: Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

1.5.3. Colector Solar plano

Este colector consta de una placa continua uniforme, en donde pasan una serie de conductos que transportan el fluido de trabajo. Son del tipo más habitual de colectores que se encuentran en las viviendas, por su menor costo.



Figura 1-4 Colector solar

Fuente: Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

1.5.4. Tubos al vacío heat-pipe

Consiste en un tubo al vacío de borosilicato al cual se le incorpora una pipeta de cobre, la que está en contacto con dos films de aluminio que ayudan a transferir todo el calor hacia la pipeta. Dentro de la pipeta de cobre existe una mezcla de glicol con agua, cuya función es transferir la energía captada hacia el extremo superior de dicha pipeta, llamado condensador.

1	Grosor exterior del tubo	1,8 mm
2	Grosor interior del tubo	1,6 mm
3	Cristal de borosilicato	
4	Clasificado SS-C/CU, selectiva absorción de recubrimiento	
5	Absorbancia %	93%
6	vacío	0,005 PA
7	Radiancia exposición solar	9,4 MJ/m2/día
8	Capacidad de resistencia granizos	25 mm de diámetro
9	Cantidad de tubos	16
10	Diámetro de tubo	58 mm
11	Largo de tubo	1800 mm

Tabla 1-7 Características técnicas Heat-Pipe

Fuente: Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

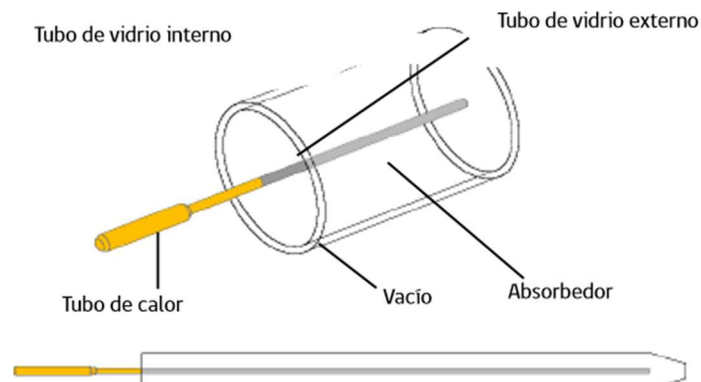


Figura 1-5 Componentes Heat Pipe

Fuente: Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

1.5.5. Depósito acumulador

El depósito es un recipiente para almacenar el agua, en palabras simples. Lo que realmente se está haciendo con esta acción es almacenar toda la energía térmica, con la temperatura en la que está el agua y poder ocuparla en el momento en que la necesitemos, con la misma temperatura con la que fue recolectada. Razon por la cual el deposito debe resistir variaciones temperatura y presión.

Para esta acción, de forma obligatoria, el depósito debe cumplir con ciertas características y requerimientos.

El volumen del depósito de acumulación debe tener un valor tal que cumpla con la relación indicada en el numeral 1 artículo 32 del D.S. N° 331 DE 2003, del Ministerio de Economía, también deberán llevar una válvula de retención (Antirretorno), que impida que el agua del acumulador se pueda devolver por la línea de entrada de agua fría a DA.

Y para que la energía térmica pueda ser ocupada, el acumulador deberá estar totalmente aislado de forma tal de reducir las pérdidas de esta energía. El espesor mínimo del aislamiento debe cumplir con la relación indicada en el número 3 del artículo 32 del D.S. N° 331 de 2009 del Ministerio de Economía.

Ecuación para determinar espesor mínimo:

$$Emim \geq 50 \times \frac{\lambda}{0.04}$$

Ecuacion 1-1 Espesor minimo

Fuente: Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

Emim: espesor mínimo

λ : Conductividad térmica del material aislante (w/mk)

Además, la construcción interna del acumulador deberá cumplir con los siguientes requisitos:

- La alimentación de agua fría al acumulador solar deberá inyectar el agua directamente hacia la parte inferior.
- La extracción de agua caliente del acumulador solar se realizará por la parte superior del acumulador.
- Los acumuladores horizontales, tomas de agua caliente y fría estarán situadas en extremos diagonalmente opuestos de forma que se eviten caminos preferentes de circulación del fluido.

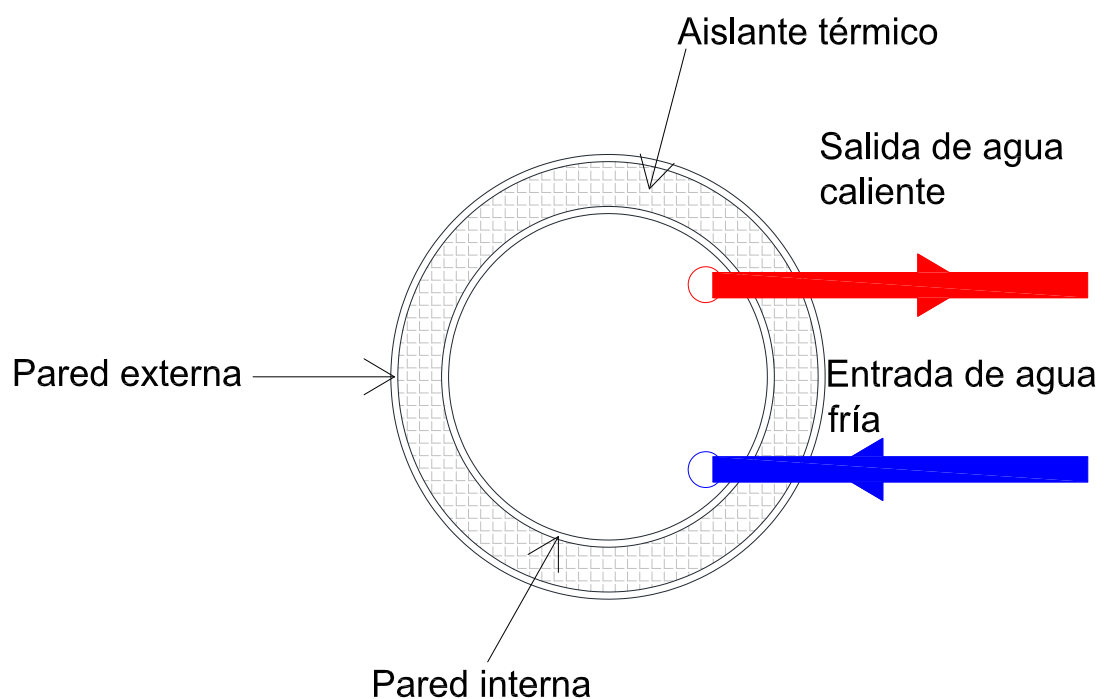


Figura 1-6 Deposito acumulador

Fuente: Creación propia

1.5.6. Intercambiador de calor

Es en este equipo donde se produce el intercambio de energía entre el circuito primario y el secundario. Puede ser un serpentín de cobre, o una superficie de acumulación. Al final lo que debe conseguir es un contacto indirecto entre ambas masas de agua.

Existen tres tipos básicos de intercambiadores de calor internos:

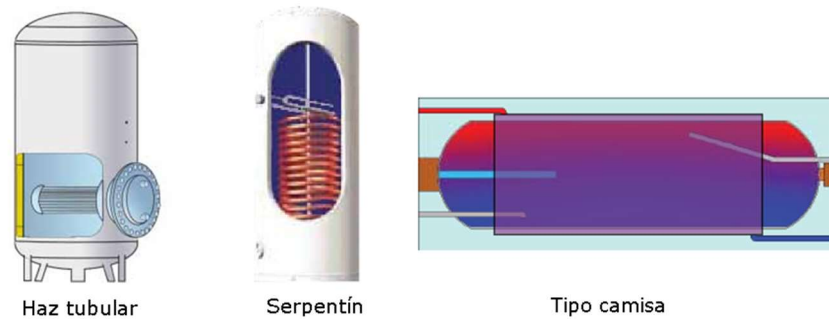


Figura 1-7 Tipos de deposito

Fuente: Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

1.5.7. Estructura de soporte

La forma física de la estructura es algo muy variable, dado que se modifica según la vivienda y la orientación óptima, quedarse con una forma prefijada puede llevar a obtener resultados menos eficientes. De igual forma, deben cumplir con 3 características normadas por ley.

- La estructura de soporte deberá tener puntos de sujeción del colector, suficientes en número y debe permitir las dilataciones térmicas, sin que se produzcan flexiones en el colector que comprometan su integridad.
- El cálculo y diseño de la estructura de soporte de los colectores se debe realizar mediante un proyecto estructural. Este requerimiento es más flexible, dependiendo del tamaño de la solución y la condición de la vivienda.
- Todos los materiales de la estructura de soporte deberán contar con protección contra la acción de los agentes ambientales, en particular contra el efecto de la radiación solar y la acción combinada del aire y el agua (especialmente en ambientes de tipo marino o salino).

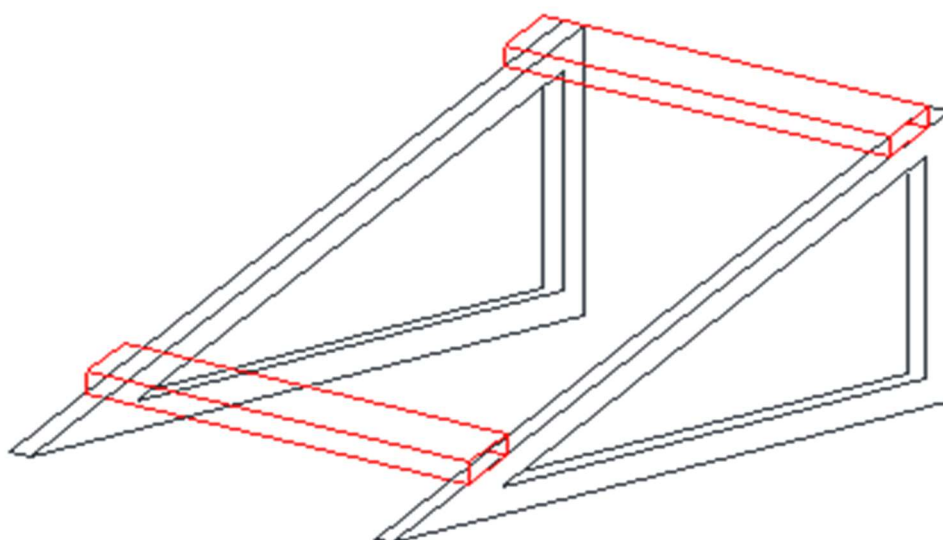


Figura 1-8 Soporte convencional

Fuente: Creación propia, manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

1.5.8. Circuito hidráulico del SST

Es el responsable de distribuir el fluido de trabajo, lleva la energía térmica hacia todo el sistema y los distribuye entre sus partes. Es la suma de todas las tuberías y componentes responsables del funcionamiento del sistema, como válvulas y dispositivos de seguridad.

Este circuito, diferenciara claramente un circuito primario y un circuito secundario, evitándose cualquier tipo de mezcla de los distintos fluidos que puedan operar en el SST. También es requisito fundamental que los circuitos del SST deban estar diseñados de forma que nunca se sobrepase la máxima presión soportada por cualquiera de sus materiales. Para ello, deberán estar provistos de válvulas de seguridad configuradas a una presión que garantice que en cualquier punto del circuito no se supere la presión máxima de trabajo de los componentes.

1.5.9. Tuberías

En este componente del sistema, se busca que el material a ocupar resista una Temperatura constante de 100 [°C], una presión constante de 3 BAR y con estas condiciones tener una vida útil superior a 5 años. Y cumplir con el siguiente requerimiento normado de un espesor mínimo de aislamiento térmico de las tuberías instaladas en el interior y exterior de la vivienda, deben cumplir con las relaciones indicadas en la letra b. del artículo 35, del D.S. N° 331 de 2009 (Reglamento Ley 20.365) del Ministerio de Economía.



Figura 1-9 Tubería ppr con aislación térmica

Fuente: Tesis analisis de las instalaciones de sistemas solares termicos para una vivienda urbana, Arias. M 2018, UTFSM

1.5.10. Sistemas de expansión

Los circuitos cerrados de un SST necesitan de un sistema de expansión con el fin de absorber las dilataciones provocadas por el cambio de presión del fluido en el recorrido dentro del circuito y evitar que la presión supere los valores máximos previstos.

Deben cumplir de igual forma con las siguientes condiciones:

- Los sistemas de expansión dispondrán de al menos una válvula de seguridad y deben ser capaces de absorber completamente la expansión del fluido a la máxima temperatura de trabajo, manteniendo la presión dentro del rango de trabajo.
- La presión de alivio de la válvula de seguridad debe ser menor a la presión máxima admisible de cualquier componente del circuito donde se instale.
- El dimensionado del sistema de expansión de cada circuito se realizará conforme al rango de presiones y temperaturas máximas y mínimas previstas y su diseño deberá contemplar que no operen las válvulas de seguridad en las condiciones de trabajo previstas, limitándose la operación de las válvulas de seguridad sólo para el caso de fallas.

- Los vasos de expansión utilizados en los circuitos primarios deberán soportar los valores máximos de temperatura y presión de trabajo previstos en el diseño, para el lugar donde será conectado.
- Los vasos de expansión deberán ser siempre cerrados. Su conexión será tal que impida el ingreso de agua a una temperatura que lo dañe.



Figura 1-10 Vaso de expansión Vardeem 12 Litros

Fuente: Tesis analisis de las instalaciones de sistemas solares termicos para una vivienda urbana, Arias. M 2018, UTFSM

1.5.11. Sistema automático de mezcla

A fin de evitar quemaduras en los usuarios, los SST deberán disponer de un sistema automático de mezcla o cualquier otro dispositivo que limite la temperatura de consumo de Agua Caliente Sanitaria a 50 [°C] o menos, instalado antes del despacho a consumo, lo más cerca del SAA, ya sea a la salida del agua caliente del estanque de acumulación solar, en el caso que el sistema de aporte auxiliar sea instantáneo, o a la salida del sistema de aporte auxiliar, cuando éste sea de acumulación. El sistema más utilizado es una válvula mezcladora termostática.

1.5.12. Válvulas

<u>Valvula de corte</u>  Figura 1-11 Valvula de corte	• Se instalan en diversos puntos de la instalación para realizar operaciones de mantenimiento en los componentes más importantes, sin necesidad de realizar el vaciado completo de la instalación. • Las válvulas de corte solo podrán ser de bola metálicas y • Se instalan en: entrada y salida del acumulador y entrada y salida del circuito de distribución de agua fría y caliente.
<u>Válvula de retención (antirretorno)</u>  Figura 1-12 Valvula antirretorno	• Su función es evitar flujos inversos indeseados en el circuito hidráulico. • El circuito de alimentación del estanque deberá incluir una válvula de retención (antirretorno) que impida el vaciado del agua del estanque hacia la red de agua fría o la red pública de agua potable. • La válvula de retención no deberá impedir que el fluido desplazado alcance al sistema de expansión, para lo cual se debe instalar aguas abajo del sistema de expansión.
<u>Válvula mezcladora termostática</u>  Figura 1-13 Valvula mezcladora	• La válvula provista de un elemento regulador que funciona como un sensor de temperatura. A través de dilatación y contracción, este sensor regula continuamente la relación correcta entre el agua caliente y fría. • Con un dispositivo ubicado en la parte superior de la válvula se puede ajustar manualmente la temperatura del agua mezclada, que debe ser 50 [°C] o menos.

<u>Válvulas de seguridad</u>  Figura 1-14 Valvula de seguridad	• Permiten limitar la presión, protegiendo los componentes de la instalación. • comó mínimo, una válvula de seguridad en cada uno de los circuitos cerrados de la instalación • una válvula en cada uno de los colectores y en cada uno de los acumuladores.
<u>Valvula 3 vias</u>  Figura 1-15 Valvula 3 vias	• Es una válvula de control direccional que permite decidir manualmente la circulación de un fluido. • En las instalaciones solares el conexionado con el sistema de aporte auxiliar (SAA), cuando éste sea un calefón tradicional, deberá ser en paralelo y mediante una válvula de bola de tres vías manual que permita al usuario decidir si utiliza el agua del SST o la del sistema de apoyo.

Fuente: Creación propia, Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

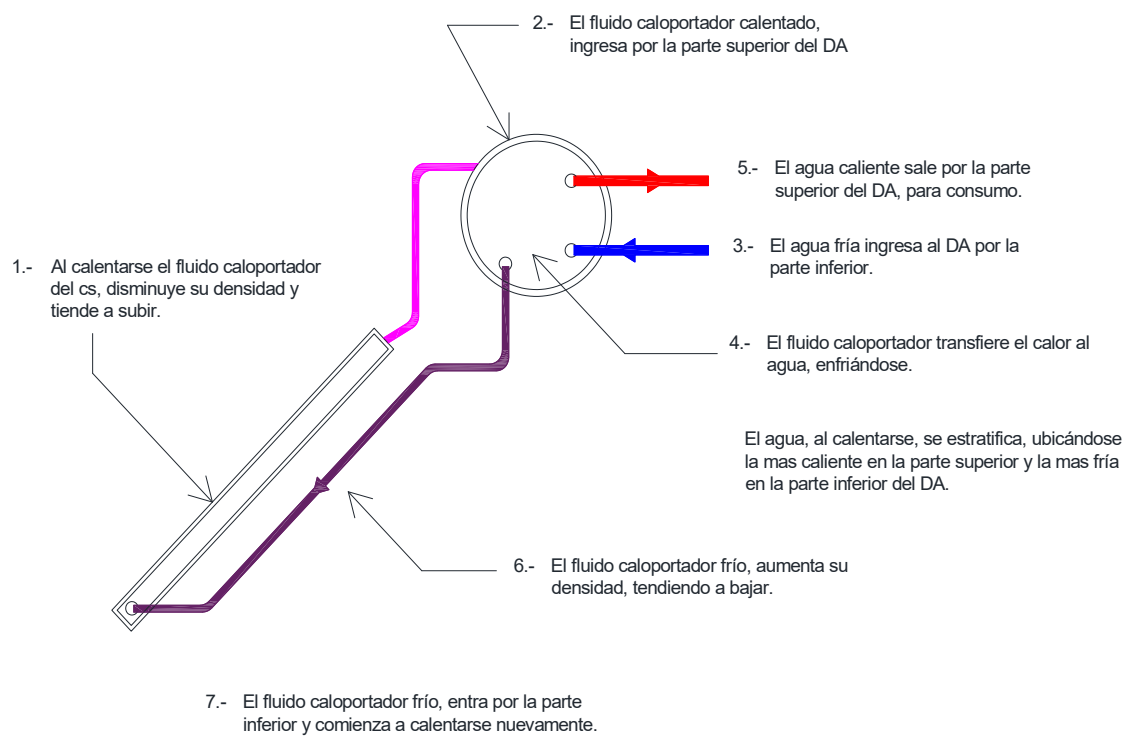


Figura 1-16 Diagrama de sistema completo SST

Fuente: Creación propia, Manual de sistemas solares térmicos Minvu 2014

1.6. TECNOLOGÍA DE LOSA RADIANTE

1.6.1 Principio de funcionamiento

El principio de su función es el movimiento de un flujo de agua a través del circuitos de tuberías plásticas, donde estas temperaturas serian en torno a los 40 [°C] en invierno y 16 [°C] en verano, de esta forma se calefacciona y enfria el lugar en donde este la instalación.

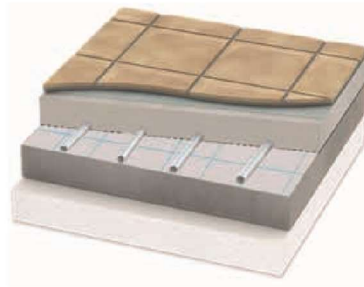


Figura 1-17 Esquema losa radiante

Fuente: Guía de suelo radiante. FEGECA 2017

Los circuitos se instalan sobre un aislante térmico y quedan cubiertos por una capa de mortero, donde finalmente se coloca el pavimento final, el cual podría ser cerámica, piedra, etc.

El calor es cedido al ambiente como radiación, conducción y también convección a través del mortero y el pavimento, esto gracias a las tuberías instaladas donde está pasando agua caliente.

El intercambio de energía por radiación² depende de un cuarto de la potencia absoluta de los cuerpos. Aumentar o disminuir en un grado la temperatura de la superficie radiante, significa un factor multiplicador que no alcanza si variamos la temperatura del aire en 1 grado.

² Ley de Stefan-Boltzmann: La energía radiada por un radiador de cuerpo negro por segundo, por unidad de superficie, es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta

Por último, cuando funciona como refrigerante, el calor se absorbe por las tuberías por donde está pasando agua fría para la disipación de energía.

Este tipo de tecnología tiene sus ventajas, las cuales algunas son:

- Reducción de emisión de CO2
- Ausencia de corrientes de aire
- Mejora de confort térmico
- Mejora la certificación energética
- Menor necesidad de energía

1.6.1.1. Confort

Este tipo de sistema de climatización es el mejor para ajustarse a las bajas temperaturas, por la radiación, convección y conducción que tiene este.
El intercambio ideal de energía entre una persona y el entorno sería:

- 50% por radiación
- 30% evaporación
- 15% convección
- 5% conducción

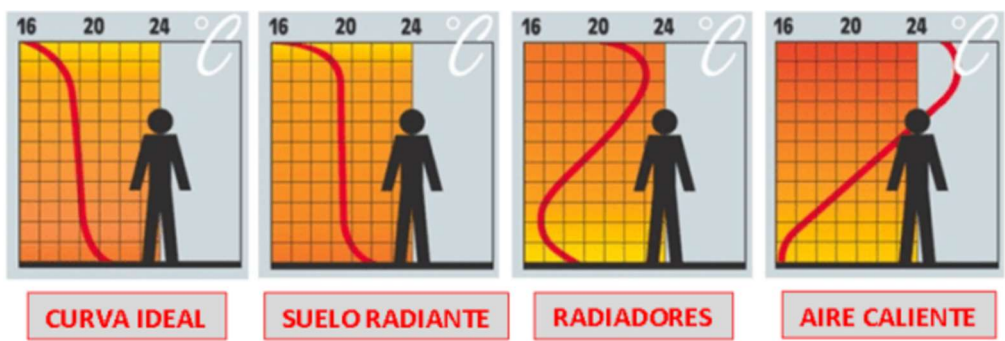


Figura 1-18 Tipo de transferencia de calor

Fuente: Guía de suelo radiante UPONOR

Se debe tener una gran superficie de losa radiante para lograr el intercambio uniforme de energía, donde se deben instalar en puntos estratégicos de la casa, tales como el techo o las paredes.

La rapidez con la cual el aire caliente se mueve hacia las zonas frías es proporcional a la gradiente de temperatura entre ambas.

Si la vivienda cuenta con un sistema radiante a baja temperatura la diferencia de temperatura entre el aire y la superficie de los suelos (techos, pisos, paredes) serán reducidas, de modo que el efecto de convección del aire no se percibe y no generan molestias, tampoco movimiento de polvo logrando un entorno más higiénico y saludable.

No olvidar que cuanto mayor sea el diferencial de temperatura entre el exterior e interior de la vivienda, mayor será el choque térmico ³para las personas cuando salgan o entren a la casa.

Este sistema es ideal para trabajar con energías renovables, como en este caso con los sistemas solares térmicos (SST) ya que el promedio de la temperatura que se necesita para que funcione la losa radiante está entre los 35 [°C]– 45 [°C].

1.7. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN DE LOSA RADIANTE

Estos circuitos se diseñan con una separación entre los tubos y se instalan sobre planchas aislantes que evita que el calor se transmita al forjado.

Estos se cubren en una capa de mortero de cemento, que puede ser tradicional o autonivelante, donde finalmente se coloca el pavimento final, que podría ser cerámica, madera, piedra, etc.

De esta forma, el mortero absorbe el calor disipado por las tuberías y se transmite al pavimento, que a su vez emite esta energía mediante la radiación hacia las paredes y techos, y en una pequeña proporción mediante convección natural.

El método constructivo de un sistema de suelo radiante se basa en la instalación de los siguientes materiales.

³ Cambio drástico de temperatura

1.7.1. Film anti -vapor

Es una hoja de polietileno o hoja de PE que actúa como barrera ante la humedad que pueda filtrarse por capilaridad a través del forjado. Se utiliza en las plantas bajas, locales en contacto con terreno, etc.

1.7.2. La cinta o zócalo perimetral

Este componente evita las pérdidas de calor absorbiendo las dilataciones del mortero, esta se coloca en todo el perímetro de la zona calefactada, donde puede ir grapada o con banda autoadhesiva. Además, esta lleva una hoja de PE que tiene que colocarse por encima de la plancha para evitar puentes térmicos con el forjado.



Figura 1-19 Fotos de Film y zócalo perimetral

Fuente: Guía de suelo radiante. FEGECA 2017

1.7.3. Plancha aislante

Este componente soporta los circuitos de las tuberías y gracias a su resistencia térmica, evita la transmisión del calor al forjado y mientras más resistencia térmica tenga la plancha aislante, mayor es la calidad de esta. Esto es importante ya que influye en los cálculos y en la temperatura de impulsión de los circuitos y por último en el ahorro que genera gracias a la aislación para bajar la temperatura. Para sacar el dato técnico de la resistencia térmica de este, se debe tener conocimiento del espesor y de la conductividad del material utilizado, donde el más utilizado es el poliestireno expandido.

1.7.4. Tubería

El tipo de tubería que se utilizan son generalmente plásticos por su flexibilidad, no son afectadas por el hormigón, además de la poca fuerza que tienen de dilatación y la fricción.

El tubo de los circuitos, entre el generador y el colector deben tener una barrera anti-difusión de oxígeno conforme a la UNE EN 1264. Los tubos más utilizados son los PEX (polietileno reticulado), el multicapa y en menor el polibutileno. Los diámetros exteriores pueden variar, donde su variación sería entre los 16 y 20 mm, aunque existen tubos con menor diámetro para aplicaciones especiales. En la instalación, se emplean rollos que varían desde los 200 hasta 400 metros.

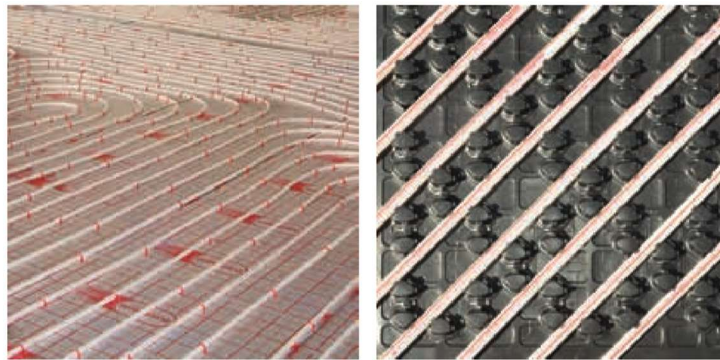


Figura 1-20 Tuberías losa radiante

Fuente: Guía de suelo radiante. FEGECA 2017

1.7.5. Juntas de dilatación y funda aislante

Cuando se superan los 40 [m²] de superficie o son irregulares, el zócalo perimetral no es suficiente para absorber las dilataciones del mortero, por lo que se debe acudir a otro componente y se debe colocar una junta de dilatación como indica la normativa. También es recomendable colocarlo en zonas como el paso de la puerta, donde el mortero trabaja a diferentes temperaturas.



Figura 1-21 Juntas de dilatación

Fuente: Guía de suelo radiante. FEGECA 2017

1.7.6. Colectores

Dependiendo de la aplicación que se le considere ya sea solo para calefacción o calefacción y refrigeración, los colectores pueden ser de latón u otros materiales plásticos como la poliamida o la polisulfona. Se es habitual que se utilice colectores con detentores y caudalímetros. En cuanto a la sección normalmente se utiliza de 1", limitado a un caudal determinado y a una cantidad de circuitos, aunque existen de 1 ¼" o incluso mayor para aplicaciones industriales.

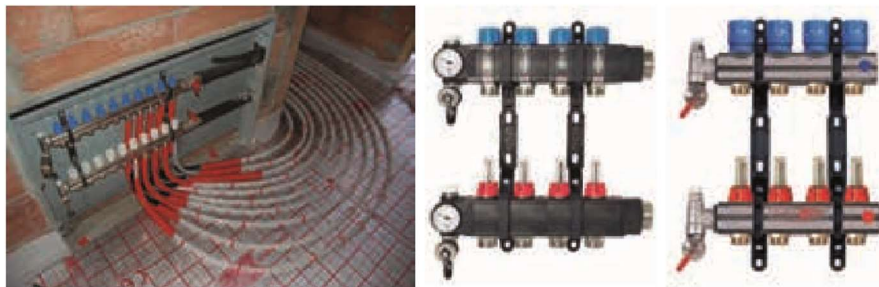


Figura 1-22 Central de colector

Fuente: Guía de suelo radiante. FEGECA 2017

1.7.7. Regulación

Por un lado, dentro de la regulación, están los componentes para independizar estancias y están los equipos hidráulicos para la mezcla y bombeo.

Se independizan las estancias mediante termostatos y cabezales o actuadores electotérmicos que se abren o cierran el paso del agua a los circuitos que se disponen del colector. En algunos casos se independizan mediante válvulas de zona a zonas o plantas enteras.

En cuanto a los equipos de mezcla y bombeo (sencillos) se establecen una temperatura fija mediante una mezcladora, mientras que los equipos climáticos se impulsan a una temperatura variable, con respecto a la temperatura exterior y mediante una centralita que gobierna un servomotor de una mezcladora con los datos registrados de una sonda exterior y/o una sonda ambiental.

1.7.8 Mortero

El mortero es el componente final del suelo radiante. Se debe realizar una prueba de presión que se establece por la UNE EN 1624 antes de realizar el vertido, esto se hace para que no haya ninguna fuga antes de tapar los circuitos. La presión mínima son 6 bar, en consideración también con lo indicado por el fabricante en cuanto a la máxima presión.

Para el secado de este conviene no acelerar el proceso, para evitar deshidrataciones que pueden dar a lugar pérdidas de la capacidad del mortero y su posterior fracturación, si se es necesario acelerar el proceso, se debe consultar con el fabricante primero.



Figura 1-23 Aplicación de mortero

Fuente: Guía de suelo radiante. FEGECA 2017

CAPITULO II: TEORIA DE LA PROPUESTA

2.1. INTRODUCCIÓN DE LA PROPUESTA

Como se expuso durante el primer capítulo de este trabajo, los sistemas de calefacción por leña son los más usados en el sur de nuestro país y son la solución de más fácil acceso para gran parte de la población. Por lo que para empezar con la propuesta es necesario aterrizar toda la teoría que se ha presentado, determinar un sector en específico de la comuna de Osorno, elegir qué tipo de vivienda y en base a este punto iniciar el cálculo para la idea propuesta.

Desde el principio se estableció que el fin de esta investigación era proponer un sustituto a la calefacción convencional de la ciudad, haciendo énfasis en las consecuencias que esto acarrea para la calidad del aire. El problema real de este postulado es el costo adicional que se necesita asumir para equiparar la calefacción actual con un sistema por piso radiante, situación que se adaptará para el cálculo de la propuesta. Además, para suministrar la energía calórica para el sistema se estableció desde un principio que se implementaría un sistema solar térmico, ¿pero las condiciones de radiación en Osorno serán suficientes para la propuesta?

Existen más situaciones en condiciones reales que pueden modificar aún más la medida por lo cual todo el material a continuación se centrará en la respuesta de la siguiente pregunta; ¿Es posible esta solución?

Hay que considerar que esta medida está enfocada en suplir las necesidades de calefacción en los meses en los cuales ya se ha presentado que la leña genera consecuencias críticas en el nivel del aire de la ciudad. Pero estos meses coinciden con los niveles más bajos de radiación, y también hemos presentado que el funcionamiento del SST está en directa relación con este parámetro.

2.2. **INFORMACIÓN DEL LUGAR**

Osorno es una ciudad y comuna de la décima región, tiene una superficie de 951 [Km²] está rodeado por los ríos Rahue y Damas, que anteriormente se explicó en este trabajo mantienen una inversión térmica muy alta en la ciudad, permitiendo que la densa capa de humo este suspendida durante más tiempo. En términos de población, según datos del censo del 2017 tiene una población de 161.460 habitantes. Para este trabajo se designó un sitio al azar, como ubicación de la medida propuesta, situación que no influirá de mayor manera en el cálculo de las condiciones. Según datos del sitio Explorador Solar, la ciudad de Osorno cuenta con características de radiación muy similares en toda su extensión, como se presenta a continuación:

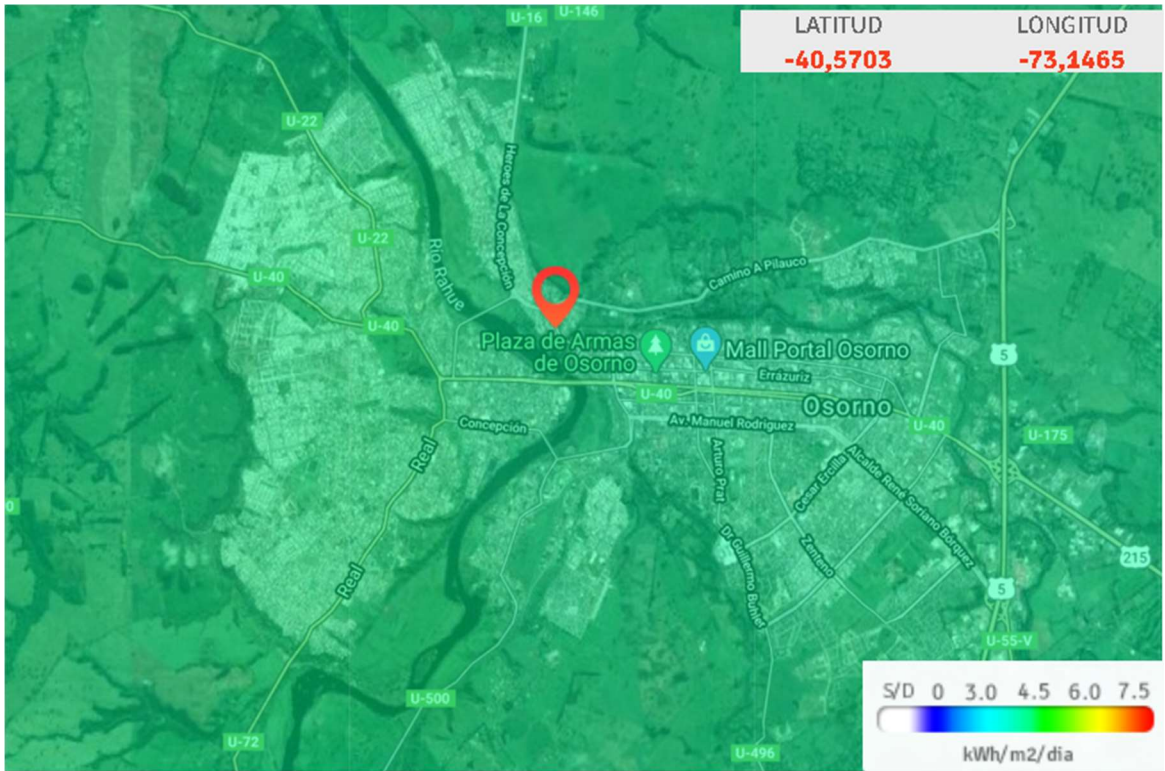


Figura 2-24 Irradiancia en Osorno
Fuente: Explorador Solar, 2020

Dejando de lado los episodios no habituales en el clima, por causas como el calentamiento global. Los datos climatológicos en la base de la página Explorador Solar, son la base de datos nacional y de libre uso más precisa que el público general tiene a disposición. Si se observa la imagen descrita, la radiación global de toda la ciudad presenta la misma tonalidad, razón de porque la foto de la vista satelital muestra un color verdoso. Además, desde la misma página se puede obtener información muy importante para las futuras evaluaciones de medidas relacionadas, como la radiación anual promedio en un año, tomando como respaldo la información desde el año 2004 a 2016.

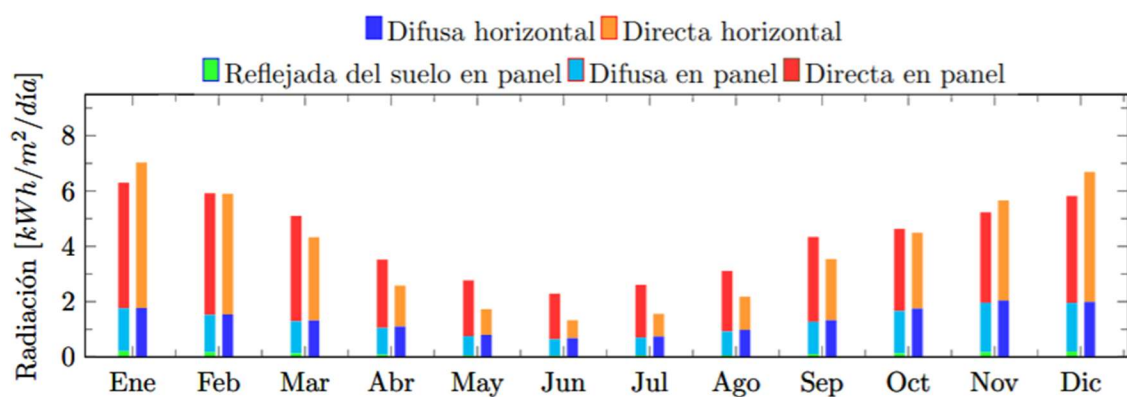


Grafico 2-2 Irradiancia en Osorno

Fuente: Explorador Solar, 2020

2.3. TIPO DE VIVIENDA

La elección específica del tipo de vivienda corresponde una de tipo aislada de madera, la cual en términos de porcentaje solo equivale al 11% del conjunto de viviendas categorizados en el estudio base del cual se extrajo el tipo de vivienda. Sin embargo, al ser una elección que cumple con las exigencias de resistencia térmica del año 2007 del MINVU, puede ser equivalente a un desarrollo del mercado inmobiliario a futuro y al ser solo de 1 piso y material de madera, puede aún mantener los aspectos de las viviendas del estrato social más bajo de la comuna.

Un ejemplo de sus características se detalla en la siguiente imagen:

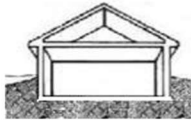
	Superficie	70 m²
	Material de construcción	Madera / tabiquería
	Muros	Madera
		Planchas de yeso cartón
	Techo	Entretecho
	Cielo	Yeso de cartón
		Lana de vidrio
		Listones de madera de pino
	Piso	Sin ventilación inferior
	Ventanas por casa	6 ventanas
	Pequeñas	2 de madera
	Medianas	3 de madera
	Grandes	1 de aluminio

Figura 2-25 Tipo de vivienda

Fuente: Consultora CREARA, 2013

El cálculo de transmitancias térmicas para el modelo seleccionado se detallará en el anexo A y el cálculo del sistema de piso radiante comenzará desde el cálculo de la renovación de aire.

2.4. METODOLOGÍA DEL CÁLCULO

Para realizar la simulación de la idea propuesta se debe fijar el tipo de vivienda sobre la cual se elaborarán los cálculos. Sería algo utópico pensar en una solución capaz de ser adoptada en cualquier tipo de vivienda, porque las limitantes de tecnología para este tipo de solución acotan la forma de implementarse.

Dentro de la etapa de levantamiento de información, en el proceso de construir una base de datos del estado de la contaminación de la ciudad de Osorno, en el año 2013, se generaron distintos tipos de estudios relacionados a la eficiencia energética. Uno de los estudios que se generaron en este periodo de tiempo, corresponde al estudio de la agencia de eficiencia energética Creara, *Análisis energético de viviendas para ciudades del centro y sur de Chile y sistematización en la información asociada a la leña*. Donde se agruparon los tipos de viviendas de la ciudad en grupos según su composición y norma de resistencia térmica adoptada, además de otros parámetros igual de importantes.

Una vez elegida el tipo de vivienda se procederá con el cálculo del piso radiante, el cual se sustentará en base a bibliografía con una temática similar y a la norma *UNE EN 1264: Sistemas de calefacción y refrigeración de circulación de agua integrados en superficies*, la cual también tiene gran preponderancia en los parámetros de las tuberías que se ocupan para este mismo fin.

Con el cálculo de la carga térmica de la vivienda, y entendiéndose que esta carga determinara el cálculo del piso radiante, se evaluara si es posible suplir su requerimiento de funcionamiento con un SST equivalente a los establecidos bajo la norma técnica de la Ley N.º 20.365.

Si el cálculo establece que la demanda no es suplida por el SST, se realizaran los cambios necesarios para la aplicación de la medida.

Una consideración importante para la implementación de la medida es que para poder ser realmente una propuesta factible tiene que ser equiparable a otras soluciones, si por ejemplo; una familia de clase media, encontrándose en búsqueda de una medida de calefacción para su hogar, se presupone que será mas difícil que se decante por una opción que involucra una reestructuración de todo el piso de su hogar. Situación que ni siquiera amerita un cálculo para notar la gran inversión que requiere.

Tomando este punto de inicio, la propuesta se planteará como una medida obligatoria en cualquier nueva vivienda de la ciudad, las cuales tendrán que disponer de toda la instalación del sistema en su piso, desde su entrega, para que pueda ser elegido por el usuario el momento en que se ocupará el sistema. De esta forma el cálculo del concreto y mortero se anula, ya que formará parte de la construcción normal del piso de la casa, y solo se evaluará los componentes ajenos a la construcción normal de este.

2.4.1 Cálculo piso radiante

Dentro de las formas de cálculo de este tipo de tecnología, la más establecida es la norma *UNE EN 1264*, la cual siempre empieza con el cálculo de la carga térmica para calefacción del lugar de instalación, y sus distintas pérdidas térmicas por transmitancia de la envolvente. Una vez obtenido estos valores, se hacen las relaciones con el tipo de tubería y emisividad del tipo de piso radiante.

Sin embargo, un cálculo correcto de este tipo involucra modelamientos de fluidos y análisis de curvas, integrando valores de temperatura que varían dentro de un plazo de tiempo establecido, nivel que se aleja del alcance de este trabajo. De todas formas, para poder sustentar la propuesta, el cálculo térmico se realizará de la forma más completa posible dentro de las circunstancias.

Para este fin se procederá con el cálculo de la siguiente manera:

Cálculo de Transmitancia Térmica: Este término se refiere a la capacidad que tiene el ambiente de transmitir la energía a través de sus componentes de construcción, se representa en términos de tiempo y superficie, debe ser calculado para todo el lugar de la instalación, en detalle por cada sector.

Cálculo de Pérdida de Calor Por Renovación de Aire: Tomando en consideración una equivalencia de humedad o a lo menos no una gran diferencia, se puede estimar la cantidad de energía perdida por la renovación normal de aire de un espacio determinado.

Cálculo de Carga Térmica: En términos simples, es la suma de la transmitancia con la renovación de aire, corregidos bajo un factor que relaciona el tipo de construcción.

Calcular la capacidad de calentamiento: Toda construcción en su proceso de recambio de su masa de aire que compone su ambiente, necesita de un movimiento continuo de esta misma, lo que provoca una pérdida de energía en términos caloríficos.

Cálculo de pérdida térmica total: Es el valor final de la energía necesaria para mantener la temperatura propuesta en el interior de la vivienda tipo. Es la suma de todos los valores obtenidos anteriormente.

2.4.1.1. Cálculo de carga térmica

Como ya hablamos anteriormente de este parámetro, que consiste en la transmisividad de los materiales ocupados en la construcción, los cuales ya han sido detallados, se seguirá el procedimiento de cálculo sugerido en la bibliografía.

El detalle para este cálculo consiste en calcular por separado todos los componentes de la envolvente, y dado que para este cálculo la vivienda se considera como un todo en sus requerimientos energéticos, al sumarlos podemos generar un valor bien cercano al requerimiento real de la vivienda.

Pero existen unos valores que son base para el proceso de cálculo, como la superficie de la vivienda que es de 70 [m²], la temperatura interior de cálculo que corresponde a 21[°C] y la de exterior, promedio para Osorno, que será de 3[°C]. El coeficiente de transmisión será distinto para cada tipo de material.

Para realizar un cálculo con valores aceptables la norma 1264 establece la siguiente relación para el cálculo de la carga térmica:

$$Q = S \bullet (T_i - T_e) \bullet U \bullet 0,86 \text{ [Kcal/h]}$$

Ecuacion 2-2 Carga térmica

Fuente: Anteproyecto de calefacción por piso radiante para salón de eventos de centro de ferias parque saval, Villaruel Rodrigo ,2010, UACH

Q = Potencia Requerida [Kcal/h]

S = Superficie [m²]

T_i = Temperatura interior de cálculo en [°C]

T_e= Temperatura exterior de cálculo en [°C]

U = Coeficiente global de transmisión de calor [W/m² °K]

Lo que para el modelo elegido de vivienda resulta en el valor de **2457 [Kcal/h]**.

2.4.1.2 Cálculo de pérdida de calor por renovación de aire

Al determinar el cálculo para esta vivienda y tomar la construcción como un cuerpo completo, el cálculo de la renovación de aire se puede estimar de forma simple, sin ser un cálculo muy alejado de la realidad. Desde un inicio el cálculo que establece la norma supone que la humedad no difiere mucho del flujo de aire que entra y sale, pero la realidad del sur de país dista bastante de tener condiciones regulares en el tiempo. De igual forma se presupone que el factor más adecuado para la renovación de aire equivale 1. Por otro lado, se necesitan los valores de calor específico y densidad del aire.

$$Q_r = C_{aire} \bullet \rho_{aire} \bullet V \bullet N \bullet (T_a - T_e)$$

Ecuacion 2-3 Perdida de calor por renovación de aire

Fuente: Anteproyecto de calefacción por piso radiante para salón de eventos de centro de ferias parque saval, Villaruel Rodrigo ,2010, UACH

Q_r = Perdida por renovación de aire [Kcal/h]

C_{aire} = Calor específico aire

ρ_{aire} = Densidad del aire

V = Volumen del recinto [m^3]

T_a = Temperatura ambiente interior [$^{\circ}C$]

Para este cálculo el valor del volumen para vivienda corresponde a 204 m^3 , por lo cual al incorporar toda la información en la fórmula propuesta se obtiene el valor de:

1086,6 [Kcal/h]

Los 2 valores obtenidos al ser sumados corresponden a las pérdidas térmicas que son consecuencia de la misma forma de la vivienda, relacionadas con sus materiales y volumen de esta, el valor total obtenido en [Kcal/h] debe ser convertido en Watt para los pasos siguientes.

2.4.1.3. Pérdida térmica de un espacio a calentar

Al existir una diferencia de temperaturas entre una vivienda y su medio ambiente, provocará un movimiento de la masa de aire que compone el medio interno, esta medida se relaciona con la consecuencia de tener filtraciones de aire imperceptibles, como es normal en cualquier tipo de vivienda y está influido directamente por causa de los aislantes de uniones en la construcción. Por lo cual este valor se puede explicar como la energía que se pierde solo por concepto de movimiento del aire desde el medio externo a un medio interno.

Q_i para este caso es la energía que pierde por este concepto

$$Q_i = (Q_{T,i} + Q_{V,i}) \bullet f_{\Delta\theta i} \text{ [W]}$$

Ecuacion 2-4 Perdida térmica de un espacio a calentar

Fuente: Diseño y simulación de un sistema de calefacción por piso radiante para un refugio de montaña, Sánchez Henry - Quito, 2019, Escuela politécnica nacional

El valor Q_{Ti} es equivalente al valor de la pérdida por transmitancia ya descrito en el primer paso y el Q_{Vi} es el valor por el concepto de la pérdida por ventilación y el termino $f_{\Delta\theta i}$ corresponde Factor de corrección de temperatura para espacios calentados a una mayor temperatura que los adyacentes, equivalente a 1.

El valor total de la vivienda es **4726,4 [W]**

2.4.1.4. Capacidad de calentamiento

Por último, toda construcción debido a sus características en términos de volumen posibilita el relacionar la energía necesaria para subir la temperatura de acuerdo con el espacio interno que abarca toda su envolvente. Este valor se estima para compensar la necesidad de un sistema que mantiene su calefacción de forma intermitente, por lo cual habrá momentos en que el gradiente de temperatura permitirá el movimiento de energía hacia afuera, de todas formas, en esta última relación entran en juego otros componentes que no serán tomados en consideración para esta calculo.

$$Q_{RL,i} = A_i \bullet f_{RH} \text{ [W]}$$

Ecuacion 2-5 Capacidad de calentamiento

Fuente: Diseño y simulación de un sistema de calefacción por piso radiante para un refugio de montaña,Sánchez Henry - quito, 2019, Escuela politécnica nacional

Donde:

A_i = Superficie del piso del espacio (70 m²)

f_{RH} = Factor de recalentamiento

Q_{RLi} equivale a la capacidad de calentamiento, lo que para la vivienda corresponde a **1540 [W]**

2.4.1.5 Carga térmica total

Al sumar todos los valores encontrados hasta el momento y en la forma en la que fueron relacionados, obtenemos un estimado de la energía necesaria para mantener el requerimiento, en términos de calor, para la vivienda propuesta en base a la norma y bibliografía de base para este trabajo. Si se tuviera que explicar, en otros términos, el valor obtenido de esta forma es la energía necesaria para el ambiente propuesto necesario para mantener la temperatura de 21 [°C].

Sus valores en distintas unidades de energía son los siguientes:

- **6,26 [Kw]**
- **5387,79 [Kcal/h]**
- **22,5 [MJ/h]**

Con este valor obtenido ya es posible realizar el dimensionamiento del sistema de piso radiante, afortunadamente el segmento de calefacción es algo muy regulado, tanto por normas nacionales como internacionales, por lo cual los valores de las tuberías y los tipos de piso que pueden ser ocupados, se encuentran ampliamente descritos.

Por lo cual se pueden hacer las equivalencias necesarias en base a la energía encontrada con los parámetros sugeridos de los componentes para el sistema, como la misma tubería PEX. Así entonces la metodología del cálculo para el sistema prosigue de la siguiente manera:

2.4.2. Determinación de la temperatura superficial del piso

La temperatura del piso igual es un valor establecido por norma, su valor máximo para el uso domiciliario no debe superar los 29 [°C] y con esta misma relación de energía y temperatura se puede encontrar el flujo térmico por m² requerido para la vivienda. Para determinar esta relación se interpola la información en la siguiente tabla:

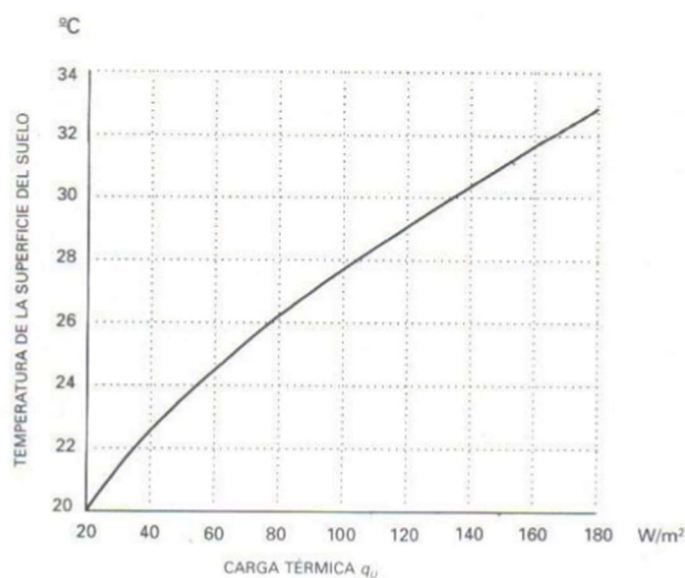


Grafico 2-3 Temperatura / carga térmica

Fuente: Tesis anteproyecto de calefaccion por piso radiante para salon de eventos de centro de ferias parque saval, Villarruel Rodrigo, 2010, UACH

Para encontrar el flujo térmico se procederá con el siguiente cálculo:

$$q = \frac{Q}{S_{Ut}} \cdot 1.16 \text{ [W]}$$

Ecuacion 2-6 Flujo termico

Fuente: Anteproyecto de calefacción por piso radiante para salón de eventos de centro de ferias parque saval, Villarruel Rodrigo ,2010, UACH

Q = Potencia requerida [Kcal/h]

S_{ut} = Superficie total a utilizar como emisor radiante [m^2]

Lo que nos entrega el valor de **97,62 [W/m²]** y una temperatura de 27 [°C] promedio.

La norma igual instruye en una relación, la cantidad de tubería necesaria para entregar la energía ya calculada, para esto se asume que el tipo de tubería PEX entregara una cantidad de 30 [Kcal/ml], la unidad ml se atribuye a metro lineal. Este cálculo de desarrolla de la siguiente manera:

$$L = \frac{Q_c}{Q_s} [m]$$

Ecuacion 2-7 Cant. De tubería PEX-A

Fuente: Norme UNE EN 1264

Donde Q_c equivale a la energía total calculada de 5387,79 [Kcal/h] y Q_s a la energía entregada por la tubería, se asume esta característica porque para que una tubería sea denominada como categoría PEX debe cumplir con este mismo valor de transmitancia por metro línea.

Para esta vivienda se necesitan **269,4** metros de tubería.

De igual forma al tener la cantidad de energía en Kcal/h, si la incluimos en la relación de cantidad de caudal de la siguiente manera:

$$MW = \frac{Q}{\Delta T}$$

Ecuacion 2-8 Caudal según energía y salto termico

Fuente: Norme UNE EN 1264

Donde el Delta T equivale a los requerimientos de salto térmico del sistema, el cual por norma corresponde a 10 [°C].

Con lo cual, después de las conversiones adecuadas, se obtiene el valor de:

- **538,77 [l/h]**
- **8,97 [l/min]**
- **0,149 [l/s]**
- **0.0001636 [m³/s]**

El valor del salto térmico del sistema se obtiene directamente de la bibliografía, y por razones de complejidad, no se evaluará el cálculo del flujo másico en el presente trabajo, por escaparse del alcance de este nivel, cuyo valor establece la energía que transporta la masa del agua del sistema y está influenciado directamente por el aumento del valor del salto térmico.

2.5. CONSIDERACIONES HIDRÁULICAS PARA LA INSTALACIÓN

Como la finalidad del trabajo es establecer si es posible tomar como alternativa un sistema de calefacción por piso radiante por sobre un sistema a leña, con los valores obtenidos hasta el momento es suficiente para hacer la comparación en requisitos energéticos, en contraste con la capacidad que puede generar un SST.

Sin embargo, para finalizar la explicación del sistema radiante se entregarán datos respecto a la misma instalación del sistema.

2.5.1 Determinación de separación entre tuberías

Afortunadamente, el lugar en donde se realizará la supuesta instalación, en términos técnicos es un ambiente pequeño. Por lo que será suficiente con mantener lo requerido por la norma y bibliografía.

Dentro de la misma bibliografía base, se sugiere el siguiente método para estimar la distancia entre tubería, por medio de la emisividad térmica del piso y del salto térmico, el cual también esta normado dentro de la misma bibliografía.

El salto térmico debe calcularse entre la temperatura promedio de ida y retorno, que también ya se ha establecido como 50 [°C] de ida y 40 [°C] retorno menos la temperatura ambiente de diseño, con la siguiente formula.

$$T = T_m - T_a$$

$T_m = 45 \text{ [°C]}$

$T_a = 21 \text{ [°C]}$

Fórmula que entrega un valor de salto térmico para este ejemplo de: 24° [°C]

Para obtener el estimado recomendado de la separación entre tuberías, se entrega el siguiente grafico para la estimación de la distancia.

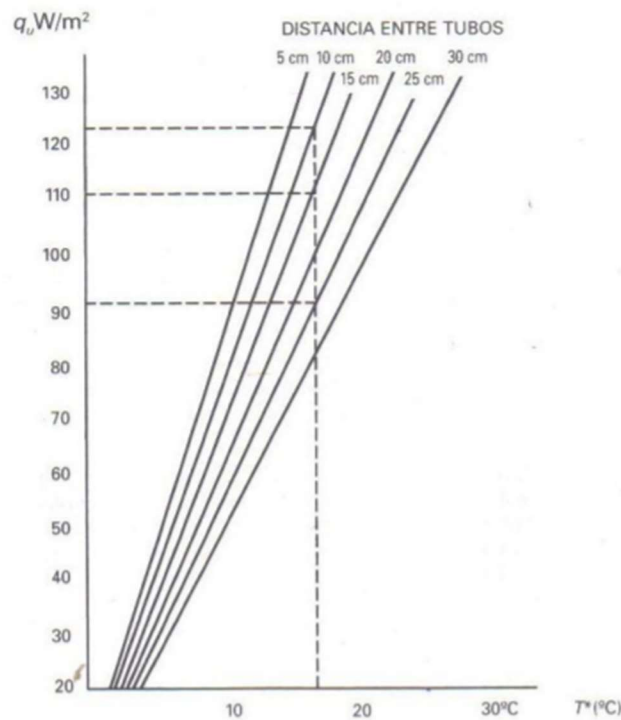


Gráfico 2-4 Distancia entre tubos

Fuente: Tesis anteproyecto de calefaccion por piso radiante para salon de eventos de centro de ferias parque saval, Villarruel Rodrigo, 2010, UACH

Si se extrapola la información del salto térmico de 24 [°C] y la emisividad térmica obtenida de 97,62 [W/m²] se obtiene una distancia mayor a 30 [cm], lo cual es la distancia máxima de separación según la bibliografía. La distancia entre tubería recomendadas para este tipo de instalación es de 5 a 30 [cm]. Por lo que se sugiere mantener una distancia de 30 [cm].

2.5.2. Cálculo de pérdidas en tubería

Un sistema de piso radiante, que involucra un fluido con cierta temperatura en movimiento requiriere un aporte en el empuje del fluido, es por esta razón que se aconseja la instalación de una bomba de agua no importante que tan pequeña sea la instalación. Para saber que potencia de bomba será necesario se deben considerar, principalmente, dos pérdidas en el sistema. La primera son las pérdidas en las tuberías que llegan al colector, provenientes del inicio del sistema, en este caso el SST y se denomina pérdida de arranque. Término que se refiere a la energía necesaria para mover el fluido hasta el punto de inicio de la distribución del sistema. Y la segunda, son las pérdidas en las matrices de alimentación y retorno, lo cual hace alusión a las pérdidas que se producirán en las tuberías PEX del piso radiante.

Para el cálculo del caudal de arranque, se deben tener en cuenta algunas situaciones. La norma recomienda un máximo de distancia desde el colector de hasta el último panel del piso radiante de máximo 120 metros, además de una velocidad de circulación entre 0,35 y 0,85 [m/s] y no superar una pérdida de 20 [mmca/ml]. Para este ejemplo ya se obtuvo una cantidad de tubería de 269,4 metros de tubería, por lo que si solo se ocupa un solo sistema se estaría sobrepasando el límite de 120 metros que se ha encontrado como recomendación en la bibliografía y normas.

Así lo más adecuado para el ejemplo calculado serian 1 colector de 5 vías que alimente 3 sistemas de serpentines del mismo tamaño, aproximadamente 89 metros.

Para empezar el cálculo, que para alcances de trabajo se mantendrá de forma simplificada, se puede extrapolar la información que ya se maneja; como caudal y velocidad del fluido, para seleccionar en un diagrama de pérdidas de tuberías en cobre para agua caliente el diámetro necesario para la conexión. Tablas conocidas como Abaco de tuberías. Para el cálculo final se considera una distancia desde el acumulador hasta el colector de 1 metro, para evitar pérdidas excesivas. Obteniendo los siguientes valores:

- Caudal: 538,77[l/h] o 8,97 [l/m] o 0,149 [l/s]
- Velocidad del fluido: 0,35 a 0,85 [m/s]
- Pérdida de carga por metro lineal: 8,1 [mm/ml]
- Diámetro de la tubería de cobre al colector: 26mm o 1"

Obtenidas del anexo B

Y para calcular las pérdidas del sistema de matrices de alimentación y retorno, constituida por el sistema de tuberías PEX, se selecciona en una tabla de pérdidas de carga característico de la una tubería PEX-A, obtenido los siguientes valores:

- Caudal: 538,77 [l/h]
- Velocidad del fluido: 0,35 a 0,85 [m/s]
- Pérdida de carga por metro lineal: 12 [mmca/ml]
- Tipo de tubería PEX-A: DN 20 Aqualine

Obtenidas del anexo C

2.5.3. Perdidas de carga en piezas especiales

Para el cálculo de las perdidas especiales, tomando como referencia la Norma Nch 2485.Of2000. Se entregan una serie de métodos para calcular la pérdida de carga, como; método cinético, método de longitud equivalente y método simplificado de la longitud equivalente. Para el cálculo del piso radiante se tomará el método cinético, dado que el más usado en la bibliografía de base para esta parte del trabajo.

Sin embargo, el valor del cálculo de perdidas en piezas especiales toma un valor considerable cuando se trata de instalaciones industriales. Para el ejemplo que se está trabajando, el valor no influirá de mayor manera.

Método cinético

$$J_s = \frac{K \bullet v^2}{2 \bullet g}$$

Ecuacion 2-9 Perdida en piezas especiales

Fuente: Nch 2485.Of2000

J_s = Perdida singular en m.c.a

v = velocidad de escurrimiento en [m/seg]

g = 9,8 [m/seg²]

Velocidad de escurrimiento

$$v = \frac{4 \bullet Q}{\pi \bullet D^2}$$

Ecuacion 2-9 Velocidad de escurrimiento

Fuente: Nch 2485.Of2000

Q = Caudal máximo probable en [m³/s]

D = Diámetro interior en metros

Piezas	Caudal (l/s)	m ³ /seg	Velocidad	J	Cantidad	Perdida	K
Codo 1	0,163	0,000163	0,3	0,00413265	4	0,01653061	0,9
codo 1"4	0,163	0,000163	0,5	0,01147959	4	0,04591837	0,9
Tee 1"x 1 1/4"x1 1/4"	0,163	0,000163	0,3	0,00826531	1	0,00826531	1,8
Tee 1 1/4"x 1 1/2"x1 1/4"	0,163	0,000163	0,5	0,02295918	1	0,02295918	1,8
Válvula de bola 1"	0,163	0,000163	0,3	0,00091837	1	0,00091837	0,2
Válvula de retención 1 1/4"	0,163	0,000163	0,3	0,01147959	1	0,01147959	2,5
Válvula de bola 1 1/4"	0,163	0,000163	0,3	0,00091837	1	0,00091837	0,2
Válvula de bola 3/4"	0,094	0,000094	0,3	0,00091837	1	0,00091837	0,2
Colector	0,163	0,000163	0,3	0,00459184	1	0,00459184	1
						0,1125	

Tabla 2-8 Perdidas en piezas especiales

Fuente: Creación propia

Las piezas especiales consideradas en la tabla anterior son las más comunes en las instalaciones de piso radiante según bibliografía. De todas formas, en valor total es mucho menor que las demás perdidas ya calculadas.

Obtenidas del anexo D

Resumen de perdidas

Perdida total	mm	M
Perdida en piezas especiales	0,1125	0,0001125
Matriz Alimentación y Retorno	8,1	0,0081
Arranque al Manifold	2784	2,784
		2,7922125

Tabla 2-9 Perdidas en piezas especiales

Fuente: Creación propia

2.5.4. Cálculo de volumen de agua del piso radiante

El volumen de agua para un tipo de instalación como el que se plantea acá se verá obligatoriamente afectado por el volumen del depósito acumulador del SST, dado que este considera su propio deposito. De igual forma, el siguiente calculo entregara el valor mínimo de agua que requerirá el piso radiante, para que cuando se estime el SST necesario este deba contar un depósito acumulador mayor a este volumen ya presentado.

Formula de volumen

$$\frac{Lt}{m} = 1000 \bullet \pi \bullet [D/2]^2$$

Ecuacion 2-10 Volumen según tuberio

Fuente: Nch 2485.Of2000

D = Diámetro interior en metros

Sistema	Diámetro	Diámetro (m)	Metro lineal (ml)	Lt/ml	Volumen Lt
Tuberia cobre	1"	0,025	2	0,51	1,01
Tuberia cobre	1 1"4	0,032	2	0,79	1,58
Pex-A	DN20	0,002	240	0,2	48
				Volumen Total	51

Tabla 2-10 Resumen de perdidas

Fuente: Creación propia

2.5.5. Bomba de circulación

Según lo expuesto, el sistema de piso radiante para el ejemplo presentado es un sistema más bien pequeño que solo contara de un colector y 3 circuitos de piso radiante, de igual condiciones y requerimientos. De todas formas, en base a toda la información recopilada, es obligatorio la inclusión de una bomba en estos tipos de sistemas, dado que se requiere una circulación continua del fluido de trabajo y a una velocidad estable, siendo la única manera de asegurar esta situación, por medio de la inclusión de una bomba de agua. Específicamente, la función de la bomba de circulación es generar la energía necesaria para soportar las pérdida de carga del circuito más desfavorable de la instalación y mantener el caudal de diseño que se requiere para que el sistema entregue la cantidad de calor deseada.

Ambos valores ya se conocen, siendo el caudal en [l/s] de 0,149 y una pérdida de carga total aproximada de un ΔH 2,79 metros. Y llevando estos valores a la curva de trabajo característica de una bomba, se encuentra la siguiente opción, siendo una opción real para el ejemplo propuesto.

Marca: PK – Electrobomba con rodete periférico

Modelo: PKm60

Información obtenida con su curva de trabajo en Anexo E.

2.6. CÁLCULOS DE SISTEMA SOLAR TÉRMICO

Los sistemas solares térmicos son muy eficientes cuando se utilizan en zonas con una alta radiación solar, por lo que para el norte y centro de nuestro país mantienen una alta eficiencia. Pero en el caso de la zona sur, los datos de radiación siempre son una parte compleja del cálculo para soluciones de este tipo, y lo son más cuando se tiene que trabajar en meses críticos de invierno como junio y julio, ya que en estos meses la radiación solar que incide sobre los colectores será significativamente menor que en otros meses.

Para los cálculos que se presentaran a continuación, primero se supondrá una instalación con un sistema solar térmico natural y después se comparará con el sistema solar forzado, siendo este último el que se utilice para la aplicación de losa radiante. Dado que, según la revisión bibliográfica de piso radiante, la incorporación de una bomba es una condición obligatoria.

Como prioridad, esta solución se planteará como una simbiosis con los distintos tipos de subsidio, como por ejemplo la iniciativa de techos solares. Dentro del universo de estos subsidios, los referidos a sistemas térmicos solares, se rigen bajo una forma de cálculo denominada método *F-chart modificado*. Razón por la cual los siguientes cálculos son en base a este procedimiento.

Para la demostración del cálculo solo se expresarán los datos obtenidos para el mes de agosto dado que esta solución está pensada para suplir la necesidad de calefacción a leña en los meses de invierno. Y además solo se describirán los parámetros más importantes de la metodología de cálculo ya descrita.

Por esta razón, lo primero por hacer para obtener unos cálculos adecuados es describir los datos de la zona en la cual se está trabajando, que son los siguientes:

Datos de la zona y vivienda:

- Provincia: Osorno
- Comuna: Osorno
- Latitud: -40.5725
- Zona: D⁴
- Orientación: Orientación del SST
- Inclinación: 35°
- Perdidas: Perdidas del SST
- N° viviendas: 1
- N° dormitorios: 2
- N° personas: 4
- N° personas totales: Número de personas por cada vivienda
- Demanda diaria de agua caliente: No se requiere

Datos para la zona según clasificación:

- Zona climática: D
- Latitud: 41°

Datos tabulados de zona para radiación, temperatura, zona, entre otros:

- Temperatura ambiente de Osorno por mes (°C):

Osorno	14,7	12,9	12,9	10,7	9,7	6,9	6,9	7,9	8,7	10,0	11,9	13,7
--------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Tabla 2-11 temperatura ambiente de Osorno

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

- Temperatura agua de red de Osorno por mes (°C):

Osorno	12,7	11,8	11,8	10,7	10,2	8,8	8,8	9,3	9,7	10,3	11,3	12,2
--------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Tabla 2-12 temperatura agua de red de Osorno

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

- Radiación solar global sobre superficie horizontal mensual (W/m²):

Osorno	185,76	158,06	117,53	76,86	47,99	33,83	40,66	63,23	91,04	125,43	149,97	180,63
--------	--------	--------	--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------

Tabla 2-13 Radiación solar global

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

⁴ Contribución Solar Mínima correspondiente acada zona climática, definida según su radiación solar, anexos de reglamento Ley 20.365

- Factor modificador de radiación incidente por mes (adimensional):

0,98	1,08	1,23	1,44	1,65	1,77	1,71	1,51	1,28	1,11	1,00	0,96
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Tabla 2- 14 Factor modificador de radiación

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

2.6.1. Modelo con SST natural 1

Datos del SST:

- Modelo de SST: KSS-150V20
- Área del colector: 2,02 m²
- Volumen del estanque: 140 L
- Rendimiento óptico: 68,6
- Coeficiente de perdidas (UL): 3,53

Metodología F-Chart modificado

Radiación solar global inclinada media diaria:

$$R_{Gd_inc_i} = [\frac{R_{Gm_i}}{N_{diasMes_i}} \times F_{d_i} \times (-(\frac{3,5}{100000}) \times O_{SST}^2) \times (-\frac{PS}{100})] \times 3,6$$

Ecuación 2-11 Radiación solar global

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

Donde:

- RGd_inc_i = Radiación solar media diaria,
- RGm_i = Radiación solar superficie horizontal
- NdiasMes_i = Número de días del mes
- Osst = Orientación del SST
- PS = Perdidas por sombra
- Fd_i = Factor modificador de radiación incidente
- Resultado mes de agosto = **11,09** [MJ/m²]

Demanda térmica diaria:

$$D_{ed_i} = 0,0041868 \times D_{SST} \times (45 - T_{red_i})$$

Ecuación 2-12 Demanda térmica diaria

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

Este dato nos indica la demanda térmica diaria que necesitamos para calentar el agua caliente sanitaria (ACS) a una temperatura de 45 [°C], donde:

- Ded_i = Demanda térmica diaria
- DSST = Demanda diaria de ACS
- Tred_i = Temperatura de agua de red

- Resultado para mes de mayo = **17,94** [MJ/día]

Demanda térmica mensual:

$$D_{em_i} = D_{ed_i} \times N_{diasMes_i}$$

Ecuación 2-13 Demanda térmica mensual

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

Se refiere a la demanda termina mensual que necesita la vivienda

Donde:

- Dem_i = Demanda térmica mensual
- Ded_i = Demanda térmica diaria
- Ndiasmes_i = Número de días del mes

- Resultado para mes de mayo = **556,02** [MJ/mes]

Parámetro D1:

$$D_{1_i} = \frac{A \times \eta \times 0,912 \times R_{Gd_inc_i}}{D_{ed_i} \times 100}$$

Ecuación 2-14 Parámetro D1

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

Este parámetro da una relación entre la energía que es absorbida por el colector y la demanda de energía diaria que se necesita para calentar el agua, donde:

- D1_i = Parámetro de relación
- A = Superficie instalada de colectores [m²]
- η0 = Eficiencia óptica del colector solar
- RGd_inc_i = Radiación solar media diaria
- Ded_i = Demanda térmica diaria

- Resultado para el mes de mayo = **0,78**

Parámetro D2:

$$D_{2_i} = \frac{A \times UL \times 0,95 \times (100 - T_{am_i}) \times (\frac{V}{75 \times A})^{(-0,25)} \times (64,7 + 3,86 \times T_{Red_i} - \frac{2,32 \times T_{am_i}}{(100 - T_{am_i})})}{D_{ed_i} \times 1000}$$

Ecuación 2-15 Parámetro D2

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

Este parámetro relaciona entre las pérdidas de energía que tiene el colector con la demanda térmica diaria de cada mes, donde:

- D2_i = Parámetro de relación entre las pérdidas de energía del colector y la demanda térmica diaria para cada mes
- UL = Coeficiente de pérdidas del SST
- Tam_i = Temperatura ambiente media mensual
- V = Volumen del estanque acumulador [L]
- A = superficie de colectores solares [m²]
- Tred_i = Temperatura de agua de red del mes
- Ded_i = Demanda térmica diaria

- Resultado para el mes de mayo = **3,56**

Factor de correlación F-Chart:

$$f_i = 1,029 \times D_{1_i} - 0,065 \times D_{2_i} - 0,245 \times D_{1_i}^2 + 0,0018 \times D_{2_i}^2 + 0,0215 \times D_{1_i}^3$$

Ecuación 2-16 Factor de correlación F-chart

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

Este factor determina el aporte del SST a la energía necesaria para cubrir la demanda, donde:

- F_i = Factor de correlación F-chart
- $D1_i$ = Parámetro D1
- $D2_i$ = Parámetro D2

- Resultados del mes mayo = **0,46**

Factor P_i para cada mes del año.

Si $f_i < 0$, entonces $P_i = 0$

Si $f_i > 1$, entonces $P_i = 1$

Si $f_i > 0$ y $f_i < 1$, entonces $P_i = f_i$

Este factor nos indica la cantidad de porcentaje que nuestro SST abarca en el total de la demanda térmica.

Donde:

- F_i = Factor de correlación F-chart
- P_i = Factor de correlación ajustado

- Resultado de mayo = 0,57
- $F_i = 0,46$
- $F_i = P_i$
- $P_i = 0,46$

Energía mensual aportada por el SST:

$$Q_{u_i} = P_i \times D_{em_i}$$

Ecuación 2-17 Energía mensual aportada

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

Donde:

- Q_{u_i} = Energía mensual aportada por el SST
 - P_i = Factor de correlación ajustado
 - D_{em_i} = Demanda térmica mensual
-
- Resultado para mayo = **253,50** [MJ]
 - Resultado diario =

Verificar el cumplimiento de la contribución solar mínima (CS):

$$CS = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{u_i}}{\sum_{i=1}^{12} D_{em_i}} \times 100$$

Ecuación 2-18 Contribución solar mínima

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

Donde:

- CS = contribución solar del SST
 - Q_{u_i} = Energía térmica mensual aportada por el SST
 - D_{em_i} = Demanda térmica mensual
-
- CSM para la zona (D) = 48%
 - $CSM \times 0,85 = 41\%$
 - Resultado del aporte energético para el año = 60,41 %
 - Por lo cual el SST elegido cubre con la contribución solar

Con el sistema solar térmico elegido se logra cubrir la demanda térmica necesaria exigida por la norma, lo cual es un primer paso para verificar que un SST es viable en la ciudad de Osorno, sin embargo, si trasladamos este rendimiento al contexto de los requerimientos energéticos del sistema de calefacción para el piso radiante, específicamente para los meses de invierno, en los cuales el sistema debe suplir el uso de la calefacción a leña, es evidente que este tipo de SST no es capaz de aportar la energía necesaria. Por lo que se necesitará más energía y otro tipo de sistema solar térmico para optar a una opción más viable. El cual será el primer cambio necesario para la medida.

2.6.2. Modelo SST natural 2

Para este nuevo caso, se utilizará un sistema solar térmico nuevo y con mayor área de colector, para mejores datos de energía en pro de la losa radiante. Muchos de los datos anteriores se seguirán utilizando (datos de zona, T° ambiente, radiación solar global, etc) ya que estas son independientes del sistema.

Datos de SST

- Modelo: 3VSH420
- A: 5,97 [m²]
- Rendimiento óptico: 77,2
- Volumen: 420 [L]
- Coeficiente de perdidas (UL): 3,72

Datos que no cambian para el cálculo:

- Demanda térmica mensual (Dem_i)
- Radiación solar media global (RGd_{inc_i})
- Demanda térmica diaria (Ded_i)

Datos por cambiar por el cambio de SST

Parámetro D1:

Por lo que ahora el resultado para el mes de mayo nos estaría dando:

- **Resultado = 2,60**
- **Resultado anterior = 0,78**

Parámetro D2:

- **Resultado = 11,05**
- **Resultado anterior = 3,56**

Método de correlación F-Chart (F_i)

- **Resultado = 0,90**
- **Resultado anterior = 0,46**

Factor de correlación ajustado P_i

Si $f_i < 0$, entonces $P_i = 0$

Si $f_i > 1$, entonces $P_i = 1$

Si $f_i > 0$ y $f_i < 1$, entonces $P_i = f_i$

Con esta relación, podemos decir que:

- **$F_i = P_i$**
- **$P_i = 0,90$**

Energía mensual aportada por el SST (Qu_I)

- **Resultado con nuevos cálculos = 499,45 [MJ]**
- **Resultado anterior = 253,50 [MJ]**

Comparación entre sistemas solares térmicos:

Cálculo	Qu_i [MJ]	Demanda energetica de la zona [MJ/mes]	Porcentaje de contribucion por mes
SST 1	253,50	556,02	46%
SST 2	499,45	556,02	90%

Tabla 2- 15 Factor modificador de radiación

Fuente: Creacion propia

En vista del ejemplo y de los nuevos cálculos, se puede decir que la cantidad de energía es casi el doble del SST anterior, por lo que puede satisfacer de mejor manera los requerimientos energéticos de los meses más críticos en invierno. De todas formas, para aumentar el aporte de esta simulación y asegurarse de un buen sistema para los meses de invierno, se agregarán 2 colectores extras.

Razon por la cual para hacer la comparación con el requerimiento del piso radiante se presentan a continuación solo los cambios necesarios para el aumento de los 2 colectores ya mencionados.

Datos de piso radiante

- **Carga térmica total: 22,5 [MJ/h]**
- **Carga térmica por 12 horas de operación: 270 [MJ/día]**

Datos por cambiar

- **Demanda térmica diaria: 270 [MJ/día]**
- **Demanda térmica mensual: 8100 [MJ]**
- **A = 17,91 [m²]**
- **V = 1260 [l]**

De esta forma se hacen cambios, por lo que estaría dando los siguientes resultados para los distintos parámetros, del mismo mes de mayo:

- **Ded_inc_i = 270 [MJ/día]**
- **Dem_i = 8100[MJ/mes]**

Parámetro D1

- **A = 17,91 [m²]**
- **Ded_i = 295,2**
- **η_O = 77,2**
- **Rgd_inc_I = 9,20**

Con los nuevos datos, nos da como resultado:

- **D1 = 0,52**

Parámetro D2

- **A = 17,91 [m²]**
- **Tam_I = 9,7°C**
- **V = 1260 [L]**
- **Tred_I = 10,2°C**
-
- **D2 = 2,20**

Factor de correlación F – Chart (F_i)

- **D1 = 0,39**
- **D2 = 2,04**

- **F_i = 0,34**

Factor de correlación ajustado (P_i)

Si f_i < 0, entonces P_i = 0

Si f_i > 1, entonces P_i = 1

Si f_i > 0 y f_i < 1 , entonces P_i = f_i

- **F_i = 0,34**
- **P_i = 0,34**

Energía mensual aportada por el SST (Q_{u_I})

$$Q_{u_i} = P_i \times D_{em_i}$$

Ecuación 2-19 Energía mensual aportada

Fuente: Norma técnica actualizada de sistema solares térmicos

- P_i = 0,24
- Dem_I = 8856 [MJ]

- **Q_{u_i} = 2719,15 [MJ]**
- **Q_{u_i} = 90,63 [MJ/día]**

Como termino para el sistema natural, tenemos que para el mes de mayo de los 295,2 [MJ/día] que se necesitan para que el sistema de losa radiante pueda funcionar, solo se pueden aportar 90,63 [MJ/día] que es menos del 30% de la energía necesaria abastecer el sistema radiante.

Pero como postulamos al principio del cálculo del SST para el piso radiante es casi obligatorio que se incluya una bomba, por lo que el sistema debe cambiar al tipo forzado, de forma siguiente se realizara el cambio necesario para estos cálculos.

2.6.3. Modelo SST forzado

Para el caso de un sistema solar térmico forzado, se tienen los mismos aspectos y datos para los cálculos de la losa radiante y el sistema en total, de esta forma se comparará con el resultado final anterior.

Se seguirán utilizando algunos datos anteriores también se seguirá como ejemplo el mes de mayo como uno de los meses críticos y para aumentar la energía recolectada por los colectores, se utilizarán 6 paneles para instalar en la techumbre.

Datos de colector:

- Modelo: Colector solar FKT-2W VULCANO
- A: 2,55 [m²]
- A total: 15,30 [m²]
- Rend. Opt: 80,2
- Coef. de perdidas (UL): 3,83

Datos de acumulador:

- Modelo: S-ZB Solar
- Capacidad: 300 [l]

Datos que se mantienen

- Rgd_inc_I
- Rgm_I
- Ded_inc_I
- Dem_I
- Temperatura de agua de red (Tred)
- Temperatura ambiente mensual (Tam)
- Factor modificador de radiación (Fd_I)

Demanda térmica diaria y mensual

- $D_{ed_inc_I} = 295,2$ [MJ/día]
- $D_{em_I} = 8856$ [MJ/mes]

Parámetro D1

- **Parámetro D1 = 0,46**

Parámetro D2

- **Parámetro D2 = 2,67**

Factor de correlación F – Chart (F_i)

- **$F_i = 0,26$**

Factor de correlación ajustado (P_i)

Si $f_i < 0$, entonces $P_i = 0$

Si $f_i > 1$, entonces $P_i = 1$

Si $f_i > 0$ y $f_i < 1$, entonces $P_i = f_i$

- **$P_i = 0,26$**

Energía mensual aportada por el SST (Qu_I)

- **Energía mensual aportada (Qu_I) = 2128,02 [MJ]**
- **Energía diaria aportada = 70,93 [MJ/día]**

En los 2 casos de sistemas solares térmicos, tanto en los naturales como en el forzado, no alcanzan los estándares para abarcar la necesidad energética en los meses más críticos de invierno para la zona de Osorno.

- Comparación entre ambos sistemas solares termicos por mes:

Cálculo	Qu_i [MJ]	Demanda del piso radiante [MJ/mes]	Porcentaje de contribución por mes
SST natural	2719,15	8100,00	34%
SST forzado	2128,02	8100,00	26%

Tabla 2- 16 Factor modificador de radiación

Fuente: Creacion propia

En el caso del sistema natural entrega un poco más que el sistema solar forzado, pero en ninguna de las opciones puede satisfacer la necesidad del piso radiante, ademas por día se necesita por lo menos 270 [MJ] para que pueda funcionar el piso radiante.

- Comparación entre ambos sistemas solares térmicos por día:

Cálculo	Qu_i [MJ]	Demanda del piso radiante [MJ/día]	Porcentaje de contribución por día
SST natural	90,64	270	34%
SST forzado	70,93	270	26%

Tabla 2- 17 Factor modificador de radiación

Fuente: Creacion propia

Esto significa que, para nuestro sistema de losa radiante, el sistema solar térmico que se está utilizando no es suficiente para mantener al menos el 50% del requerimiento del sistema total que serían los 295,2 [MJ/día], de hecho, es capaz de aportar solamente con el 24,7% de aporte de la energía. Por lo que se necesitará un sistema auxiliar para poder elevar la energía térmica y poder llegar a un cálculo razonable para mantener el sistema de losa radiante en buenas condiciones. Por ultimo, se adjunta su resolución técnica SEC en los anexos H e I.

2.7. SISTEMA AUXILIAR

En vista de los cálculos obtenidos, la realidad de necesitar un sistema auxiliar se ha hecho evidente y dentro del gran abanico de opciones que se puede implementar para esta finalidad, se ha decidido que se implementara una resistencia eléctrica al inicio del sistema, que entregara la energía necesaria para cubrir el requerimiento.

La resistencia elegida es una del tipo de inmersión, la que ira directamente al acumulador de sistema, y se activara cuando sea necesario entregar la diferencia de energía del sistema, pero solo para las horas punta, dado que el aporte del SST es en un intervalo de horas.

Dado que hemos calculados que el SST solo podrá aportar con el 26% de la demanda de energía para los meses en que será necesitado el piso radiante, podemos estimar que la resistencia eléctrica, específicamente una resistencia de inmersión deberá suplir el otro 75%, lo que equivaldría en Watt a 4,5 [kW].

Energia requerida [MJ/h]	Aporte SST forzado [MJ/h]	Diferencia por cubrir [MJ/h]	Conversión a kW/h
22,5	5,91	16,59	4.58

Tabla 2- 18 Factor modificador de radiación

Fuente: Creacion propia

La particularidad de este tipo de resistencia es que pueden ser solicitadas para la potencia específica a la cual se requiere.



Figura 2-26 Tipos de resistencias de inmersión

Fuente: Catalogo resistencias eléctricas, Trullas 2019

2.8. **DIAGRAMAS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA**

La casa donde se hará la instalación de piso radiante con sistema solar térmico se ha diseñado de la siguiente manera; 70 [m²], de solo 1 piso incluyendo 2 dormitorios, baño, cocina, cuarto de estar y comedor.

Es necesario llevar estos datos a escala para poder dimensionar la propuesta y diseñar como se hará la instalación ya mencionada, además, instruir de qué forma se llevará a cabo el orden de la instalación. Los cálculos para la instalación están dispuestos para abarcar la demanda energética de los dormitorios y el cuarto de estar junto al comedor para el piso radiante.

2.8.1 Plano casa de 1 piso, 70 [m²]

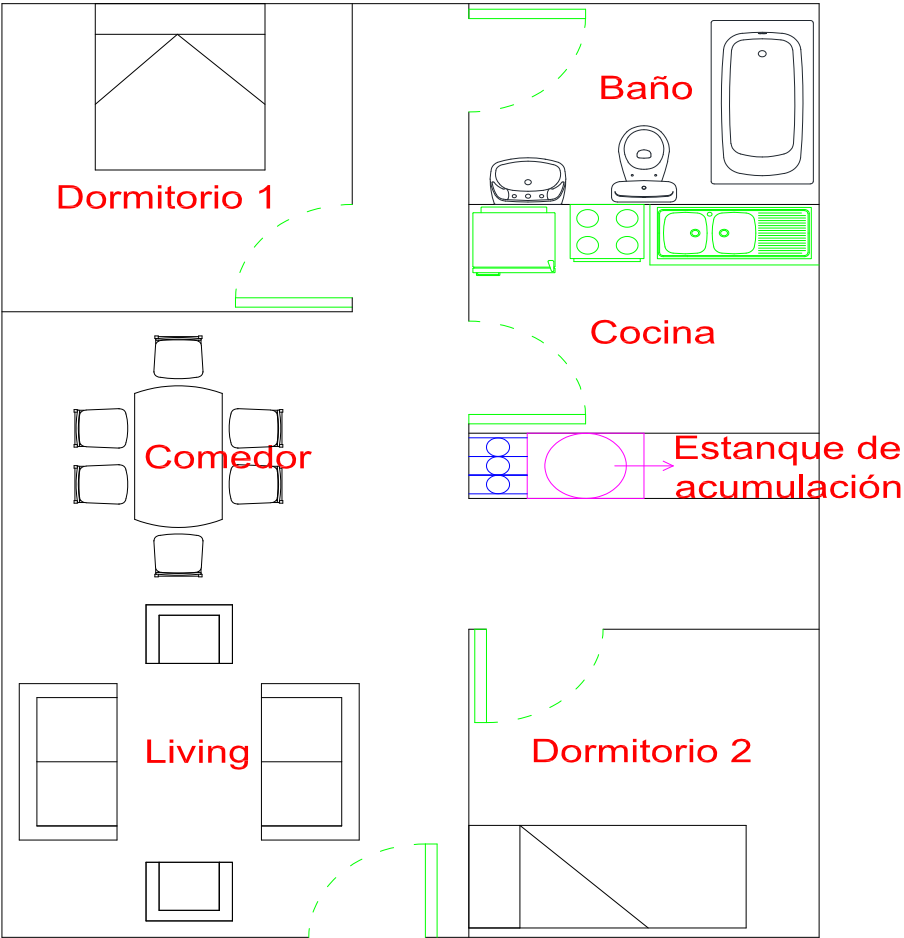


Figura 2- 27 Vista de planta casa modelo

Fuente: Creación propia

En la imagen anterior se muestra el plano del 1er piso de la casa, donde se tiene el cuarto de estar, comedor, cocina, baño y sus respectivas habitaciones. Además, se puede ver que el estanque acumulador del sistema solar térmico instalado en la parte de la cocina, ya que es un punto estratégico en cuanto a la ubicación, de esta forma los colectores del piso radiante se dispersan desde un punto para las demás ubicaciones de necesidad energética.

2.8.2 Dimensionamiento casa más piso radiante

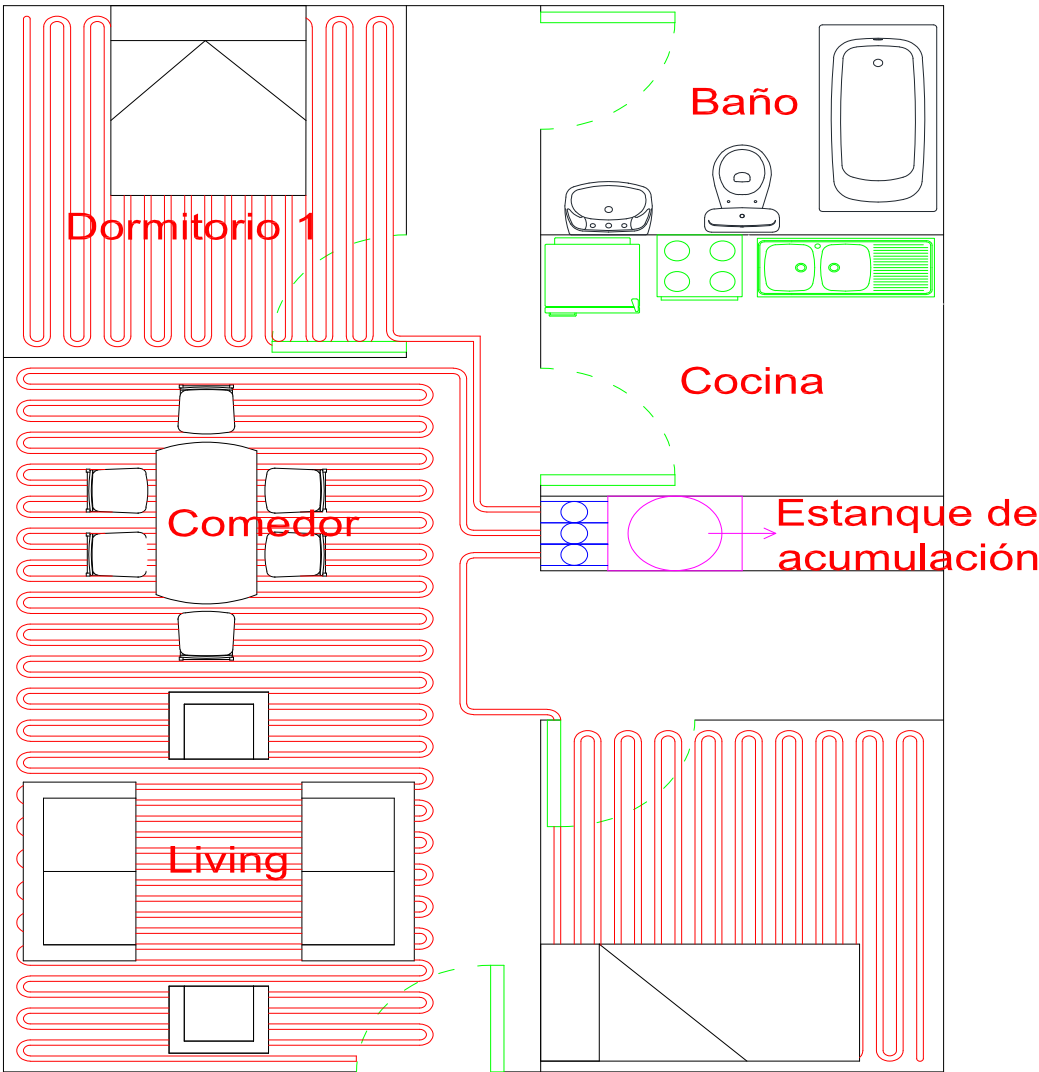


Figura 2 -28 Diagrama de piso radiante

Fuente: Creación propia

Para esta parte de la casa se muestra cómo se estaría instalado el piso radiante, de forma que desde los colectores del piso distribuyan de forma uniforme a los tubos instalados en el piso para calefactar la casa. De esta manera los tubos llegarían hasta el final de una sección y se devolverían hasta el mismo colector de agua para después aumentar su temperatura.

2.8.3 Techumbre de la casa

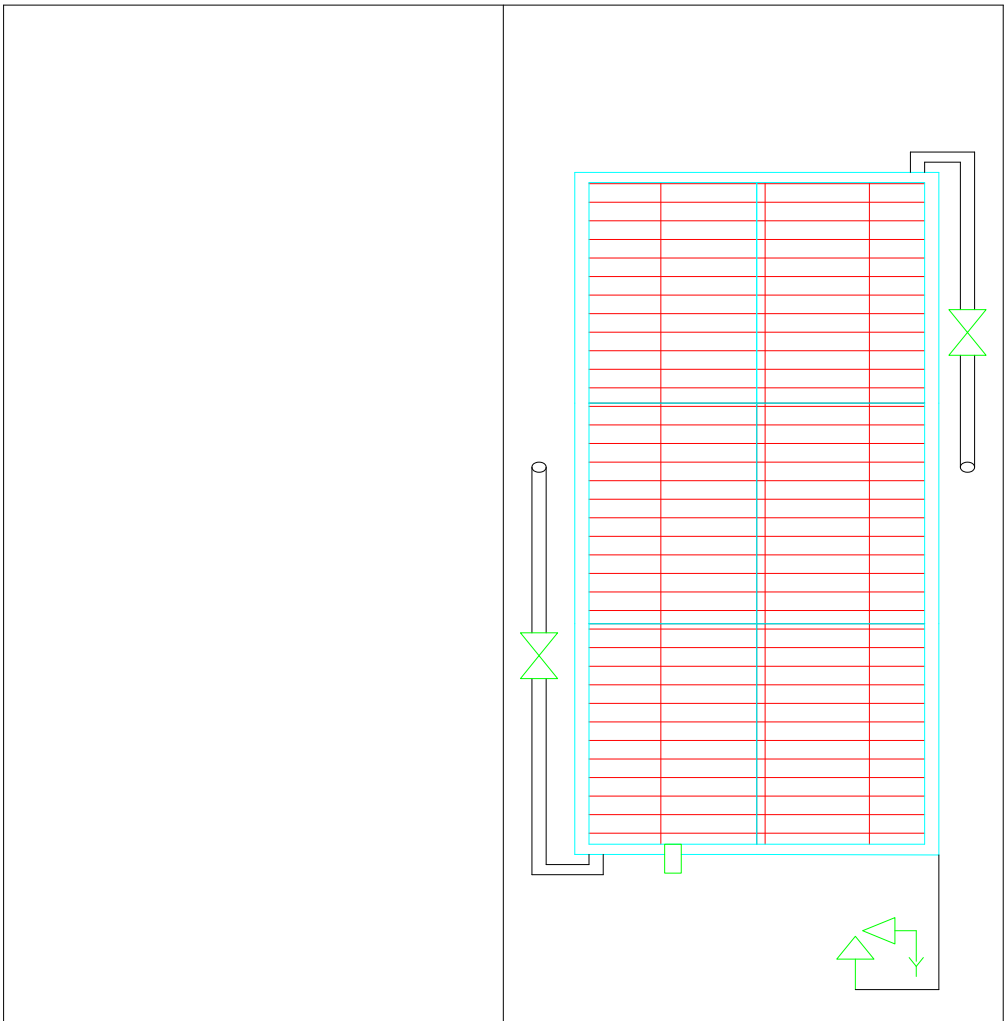


Figura 2-29 Diagrama de piso radiante

Fuente: Creación propia

Para la techumbre de la casa, la instalación no necesitará de cuerpos o una estructura de soporte individual para mantenerse, ya que esta estará con el soporte que entrega el mismo techo, por lo que solo necesitará el acople correcto (35°).

En conjunto con la instalación de los paneles solares térmicos, también se instalarán válvulas de paso en las tuberías y una válvula de seguridad en el colector para protección del sistema, también mencionar que este sistema estará regulado por un controlador, por lo cual se instalará un sensor de temperatura en la parte del colector para su control.

2.8.4 Simbología de techumbre

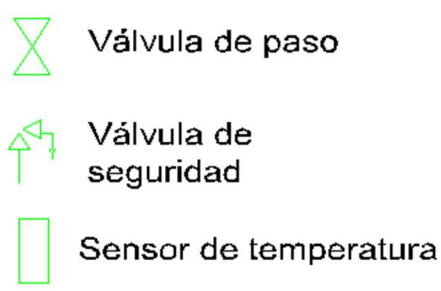


Figura 2- 30 Simbología

Fuente: Creación propia

2.8.5 Plano de instalación sistema solar térmico

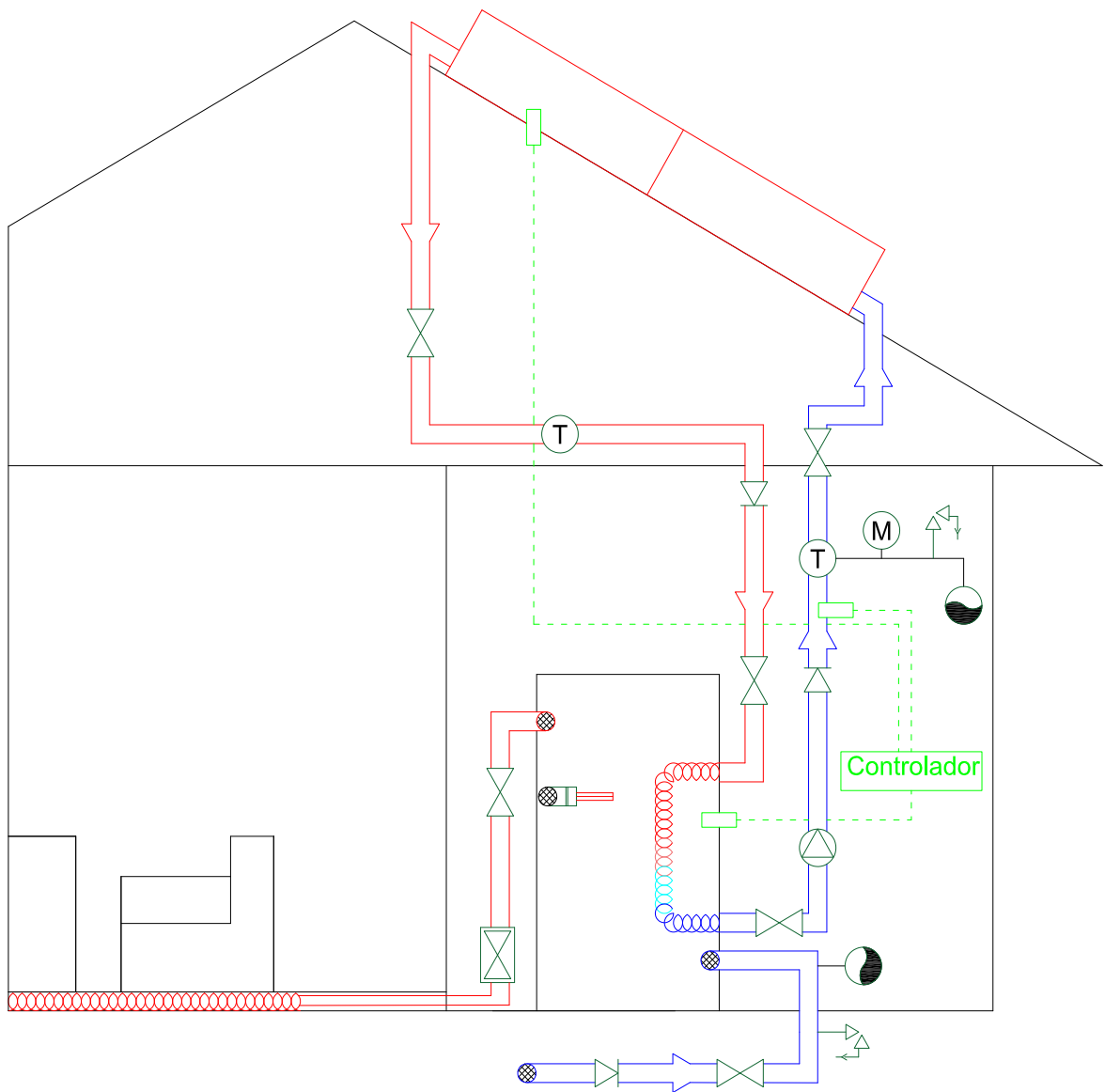


Figura 2-31 Diagrama de SST

Fuente: Creación propia

Para el modelo de la instalación solar térmica, el fluido caloportador de los colectores al calentarse se dirigirá hacia el acumulador mediante tuberías instaladas en la vivienda, pero primero pasando por válvulas de paso, válvulas de corte para evitar que se devuelva el fluido y sensores de temperatura para controlar con la cual baja el fluido.

Una vez el acumulador con el fluido, mediante el serpentín, empezará a ceder el calor hacia el agua de red que está dentro del acumulador, de esta forma el fluido primario se enfría y mediante una bomba de circulación se devuelve hacia el colector para que vuelva a calentarse el fluido.

Cuando este fluido se devuelva, la bomba lo impulsará para que vuelva al colector, calor que antes debe pasar por las válvulas de corte y de paso, un manómetro para medir la presión del agua, una válvula de seguridad para la protección de la instalación en caso de una emergencia, de forma que se evacue de forma segura el

agua, además esta parte del circuito contara con un vaso de expansión para absorber las dilataciones del fluido.

Por último, se tienen instalados unos sensores en lugares críticos de la instalación para controlar la temperatura dentro de los circuitos del sistema solar térmico, donde los sensores están ubicados en: el colector del SST, estanque acumulador y, por último, en las tuberías de vuelta al colector.

Como ya se estipulo anteriormente, se va a requerir un sistema auxiliar, que se ubicara dentro del estanque de acumulación, de esta forma se estará calentando el agua mediante el fluido caloportador de los colectores y cuando haga falta energía para el sistema de piso radiante, el sistema auxiliar aporta con la energía faltante.

2.8.6 Simbología de la instalación sst



Figura 2-32 Simbología SST

Fuente: Creación propia

CAPITULO III: EVALUACION ECONOMICA

3.1 TABLA DE COSTOS DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Para evaluar el costo de la medida a implementar es necesario detallar el valor de los equipos por sección de la instalación, la que puede dividirse de la siguiente manera:

- Costos del piso radiante
- Costos del sistema térmico
- Costos de sistema auxiliar

Hay que especificar qué tal como se explicó al inicio del capítulo 2, el valor de la estructura de hormigón no se considera para el cálculo, porque haría imposible la viabilidad económica de la solución. Además, dentro del análisis de costos se decantó por la elección de una única bomba, que será la utilizada en el SST forzado, dado que sus características de trabajo abarcan ambas secciones de la instalación, piso radiante y sistema termico.

Estimación de costos

La metodología para construir la tabla de costos de cada sistema fue modificada según cada alternativa, para poder obtener los valores necesarios, dado que no existe un proveedor en el mercado que maneje todo los componentes del sistema en general.

En el caso del piso radiante, la mayoría de los componentes fueron encontrados en la base del catalogo oficial de la empresa Anwo⁵, aquellos que se no encontraron, dada la preponderancia de la marca a equipamiento de mayor complejidad, se decidió por agrupar el resto de los componentes con un solo proveedor, logrando abarca la mayor cantidad de ellos con la empresa Sodimac.

En el caso del SST, se mantuvo la misma metodología de recolectar los valores de los componentes necesarios en los catalogos oficiales de marcas en chile. Sin embargo la diferencia estuvo en la mayor cantidad de proveedores para este tipo de sistema, el problema fue que solo la empresa Junker maneja un catalogo oficial de sus componentes, el resto de las empresas del sector solo manejan valores de sistemas completos. Los demás componentes se recolectaron en base a informaciones de proveedores en el extranjero, situación que generara una variación entre el precio de catalogo y de comercialización en el país, diferencia que no se considero para el calculo económico.

En el caso del sistema auxiliar, el mercado es mas limitado en el país que para los demás componentes, pero a pesar de eso existen varias marcas, como Innex, Comind e indumol que proveen estos equipos. Desafortunadamente ninguna trabaja con catalogo en línea y solo responde a pedidos, como no se recibió cotización de ninguna de ella al ser solicitado se decidio estimar el valor según el catalogo oficial de la empresa española Trullas, lo que de igual manero que el SST puede generar una variación entre el precio real y el de este trabajo.

⁵ Importante empresa del mercado de la distribución de equipos de climatización en Chile

Resumen de costos de la propuesta.

Piso radiante	\$3.020.292
SST forzado	\$4.775.618
Sistema Auxiliar	\$241.323
Instalacion	\$4.018.617
	\$12.055.850

Tabla 3-18 Resumen de Costos

Fuente: Creación propia

3.2 **COSTOS PISO RADIANTE**

Componentes Piso Radiante	Modelo	Cantidad	Precio	Precio final	Proveedor
Placa NOPA	Placa lisa 26, caja de 20 m2	4	\$253.814	\$1.015.256	Roth
Polietileno negro	4 x25 mts	4	\$31.994	\$127.976	Sodimac
Pex-A	AQUALINE SYSTEM DIFUSTOP 20 X 1.9	2	\$185.000	\$370.000	ANWO
ADAPTADOR PEX A COBRE	20*1/2” MULTICAPA	2	\$7.710	\$15.420	ANWO
Kit colector	FLUJÓMETRO 1 HI-HI 5 VÍAS EK 20	2	\$162.681	\$325.362	ANWO
Valvula de purga	DZR 3/4” C/TAPA CROMAD	2	\$12.780	\$25.560	ANWO
Válvula Mezc. 3 vías	mezcladora 3 vías	2	\$49.990	\$99.980	ANWO
Aquasensor Reg. Temp. Agua	Sensor de temperatura	2	\$14.990	\$29.980	MClelectronics
Termostato de Inm. Simple 100 mm	TRE100	2	\$27.393	\$54.786	ANWO
Termostato Programable Milux	ANWO WI-FI PROGRAMABLE	2	\$78.642	\$157.284	ANWO
Válvula de Seguridad 1.1/4"	SEGURIDAD TÉRMICA STS	2	\$142.820	\$285.640	ANWO
Cobre L Gas-Agua 1 1/4" x 6m	1.1/4"	1	\$68.990	\$68.990	Sodimac
Cobre L Gas-Agua 1" x 6m	1”	1	\$52.990	\$52.990	Sodimac
Codo 90° MULTICAPA 1”	TERMINAL HI 32*1”	12	\$5.998	\$71.976	ANWO
Codo 90° BASE Fijación 1”	FIJACION LARGO 20*1”	12	\$3.730	\$44.760	ANWO
Codo 90° TERMINAL 1”	HE 32*1”	12	\$5.011	\$60.132	ANWO
Tee Bronce So So 1" x 1.1/4"		2	\$5.705	\$11.410	ANWO
Válvula de bola 3/4"	DZR HI-HI 3/4” ROJA y AZUL	4	\$5.975	\$23.900	ANWO
Válvula de bola 1.1/4"	BOLA DZR HI-HI 1 1/4” M/L	2	\$17.601	\$35.202	ANWO
Válvula de bola 1”	BOLA DZR HI-HI 1” AZUL y ROJA	2	\$11.256	\$22.512	ANWO
Válvula de Retención 1.1/4"	REDUCCION DZR HI-HE 1.1/4”*1”	2	\$5.528	\$11.056	ANWO
Válvula de Compuerta 1.1/4"	1 1/4" HI bronce	2	\$10.090	\$20.180	Sodimac
Aislante	Fieltro asfaltico 10/40 crepado 16	6	\$14.990	\$89.940	Sodimac
			Total	\$3.020.292	

Tabla 3-19 Costos Piso radiante

Fuente: Creación propia

3.3 **COSTOS SISTEMA SOLAR TÉRMICO**

Componentes de SST	Modelo	Cantidad	Precio	Precio final	Proveedor
Colector solar termico	FKT-2W VULCANO	6	\$530.486	\$3.182.914	Junkers
Estanque acumulador	Waternox 300/1	1	\$754.456	\$754.456	Junkers
Vaso de expansion	ACS CMR	1	\$68.256	\$68.256	Junkers
Válvula de paso	Genebre 1 1/2"	8	\$18.000	\$144.000	Genebre
Válvula de seguridad	VS-6	3	\$38.223	\$114.670	Junkers
Sensor de temperatura	Ferrolì	2	\$31.853	\$63.706	Junkers
Sensor de temperatura	Baxi KF ISR	1	\$25.118	\$25.118	Baxi
Manómetro	R32	1	\$39.024	\$39.024	Reporshop
Bomba de circulación	DAB VA 55/180 180mm 1 1/2" HE	1	\$109.990	\$109.990	ANWO
Válvula de corte	72700	3	\$8.890	\$26.670	INOXPA
Controlador	TDS-100 2	1	\$172.915	\$172.915	Junkers
Termómetro	auroSTOR	2	\$36.949	\$73.898	Vaillant
			Total	\$4.775.618	

Tabla 3-20 Costos SST forzado

Fuente: Creación propia

3.4 **COSTOS SISTEMA AUXILIAR**

Componentes Sistema auxiliar	Modelo	Cantidad	Precio	Precio final	Precio
Calefont con tapón de acoplamiento en latón forma "3U"	DP007 2" LIR 520~230/400V 4500 W	1	\$117.383	\$117.383	MIA (electricofr española)
Cableado electrico respectivo	Regletas, cables, mange calvijas y fundas para alta	1	\$47.980	\$47.980	TRULLAS
Control y regulación	Sonda y regulador	2	\$37.980	\$75.960	TRULLAS
				\$241.323	

Tabla 3-21 Costos Sistema auxiliar

Fuente: Creación propia

3.5 **COSTOS DE INSTALACIÓN**

En este valor se debe tener en consideración la mano de obra y la cantidad de personas para realizar de manera eficiente y segura cada procedimiento. Que para la idea propuesta consiste en primer lugar; en la instalación del piso radiante, compuesto principalmente por la instalación de la placa especial NOPA y la tubería PEX y en un segundo lugar en la instalación del SST más el sistema auxiliar.

Dentro del mercado chileno no existen empresas que realicen ambos trabajos, dado que son especialistas en SST o en piso radiante. Sumado a eso se encuentra la problemática de que todas entregan un presupuesto completo, de forma tal que el costo de la instalación este incluido en el valor final a pagar, de igual manera no hubo respuesta satisfactoria al solicitar valores de instalación a empresas relacionadas del sector.

Sin embargo, gracias a la recopilación de informacion e investigación para este trabajo se ha podido asegurar un rango de valor en relación al valor total de la instalación desde un 10% a un 50%, en donde su relación hacia un extremo u otro se vera directamente influenciado por la complejidad del mismo sistema. Este parámetro se ha encontrado por medio de la base de datos de Acesol⁶ y los siguientes trabajos: *Estudio técnico en sistema eifs , Plan de negocio para implementar una empresa de energía solar térmica inteligente en Chile* y *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*.

Sobre el aspecto de la instalación, gracias a la bibliografía base de piso radiante se puede estimar que la cantidad de personal necesario para la una instalación del tamaño presentado en este trabajo, podría completarse con un personal de 2 tecnicos.

En el caso de la instalación del SST, se tiene la problemática de que este sistema es de mayor complejidad al común del mercado, por el arreglo de colectores, sin embargo en cuanto a volumen del acumulador, se puede hacer la relación por medio de la bibliografía *Manual sistema solar térmicos, Minvu* que con una cantidad de 3 tecnicos especializados puede lograrse la instalación del sistema presentado.

En el escenario mas ideal para la propuesta se tendría que solo una empresa seria la encargada de construir todo el sistema, en una vivienda en proceso de contruccion, como no existe esta solución para para efectos de este trabajo se considerara el porcentaje mas alto de costo de instalación(50%) y un tiempo estimado, con el personal adecuado, de 2 dias para el piso radiante y 3 dias para el SST, al cual se le incluirá la instalación en conjunto con el sistema auxiliar.

Instalacion	Costo de instalacion	Cantidad de personal requerido
Sistema piso radiante	\$ 1.510.146	2
SST	\$ 2.508.471	3

Tabla 3-22 Costos de instalación SST

Fuente: Creación propia

⁶ Asociación Gremial que reúne a todos los públicos y empresas interesados en promover el desarrollo de la energía solar en el país.

3.6 **COSTOS DE FUNCIONAMIENTO**

Ahora que se ha calculado el valor de la instalación completa es necesario seguir con la estimación del valor que involucra la utilización del mismo, dado que en esta medida esta contemplada la calefacción completa de la vivienda, situación que involucra un gasto tanto por el fluido necesario (agua) como también el sistema auxiliar elegido para otorgar la cantidad de energía extra necesaria para el requisito energético de calefacción.

Para el calculo de este ítem es necesario realizar el siguiente detalle:

- Según valores publicados por Luz Osorno⁷ (SAESA), el valor del kW/h para la comuna de Osorno varia desde los \$1436,379 de cargo base hasta un valor con sobreconsumo para invierno de \$2156,691, valor obtenida con la tarifa BT1
- Según valores publicados por Essal⁸, el valor del m³ es de \$ 2762,79

¿Pero como se relacionan estos valores con la realidad del sistema? Para el caso mas simple, que es la utilización del agua en el mismo, se debe considerar gastos diferentes, dado que al implementar el SST se realiza una prueba de funcionamiento en donde se carga el sistema de forma completa para después liberar la mitad de la carga del fluido y revisar ciertos parámetros de presion. Además, se consideran purgas en el sistema al momento de realizar el mantenimiento, situación que ocurrirá por lo menos 2 veces en el año.

Para este caso se considera la capacidad total (300 lts) mas el 50% de este mismo valor, como procedimiento de pruebas del sistema en su primer arranque.

Carga inicial sistema SST		
Valor m ³	Capacidad	Valor total
\$ 2.762,8	0,45 m ³	\$ 1.243

Tabla 3-23 Costos de carga inicial SST

Fuente: Creación propia

⁷ Inversiones Eléctricas S.A. es el vehículo, a través del cual el fondo canadiense Ontario Teachers Pensión Plan Board (“OT-PPB”) y Alberta Investment Management Corp (“AIMCo”) controlan las empresas del Grupo Saesa, las cuales participan principalmente en los negocios de distribución y transmisión eléctrica y en menor medida en el de generación de energía eléctrica en el país.

⁸ Empresa de Servicios Sanitarios de Los Lagos S.A

Costos en Mantenimiento		
Valor m ³	Capacidad (2 veces x año)	Valor total
\$ 2.762,8	0,9 m ³	\$ 2.487

Tabla 3-24 Costos mantenimiento SST

Fuente: Creación propia

En el caso del piso radiante, se comparte la misma situación de prueba del SST al inicio del sistema, en donde se debe cargar el sistema y comprobar la presión del mismo por medio de una descarga del 50% de la carga del fluido. La excepción es la purga del mismo, ya que no un requisito para cada mantención, por lo cual solo se considera una carga completa del piso radiante en 1 año.

Costos en Mantenimiento		
Valor m ³	Capacidad	Valor total
\$ 2.762,8	0,102 m ³	\$ 282

Tabla 3-25 Costos mantenimiento piso radiante

Fuente: Creación propia

Costos en Mantenimiento		
Valor m ³	Capacidad	Valor total
\$ 2.762,8	0,051 m ³	\$ 141

Tabla 3-25 Costos carga inicial piso radiante

Fuente: Creación propia

Como es posible percatarse con la informacion otorgada en las tablas anteriores, se demuestra lo barato que es el recurso del agua para la zona de Osorno, por lo cual estos valores se incluirán dentro del ítem de mantenimiento anual para el sistema.

El mantenimiento de un sistema de este tipo presenta una nula presencia de empresas especializadas para realizar un mantenimiento completo de ambos sistemas, como para considerar una mantención general a todos los equipos de una sola vez. Sin embargo como el SST aconseja una mantención cada 6 meses, se incluirá al igual que los costos de carga del agua, en el mismo ítem de mantenimiento anual. El valor estimado para este ítem es de un valor de \$310.000

La situación del consumo de electricidad, proveniente del sistema auxiliar, es de mayor complejidad dado que es necesario una evaluación en terreno para determinar el mejor tiempo para su uso, dado que el sistema térmico quien entregara el primer aporte de energía es de un inicio lento y mantiene un gradiente de baja elevación en el cambio de su temperatura, que alcanza su mayor nivel al momento de mayor radiación. Por otro lado el piso radiante es un sistema que presenta un lenta velocidad de flujo, por lo cual no se puede asegurar que sea necesario un aporte inmediato del sistema auxiliar.

Por lo cual solo para efectos de este trabajo, se considerara un uso en intervalos de tiempo de 1 hora durante 2 veces en el día. Con un valor promedio de \$1796,535 por kW/h.

Costo de uso del sistema auxiliar			
Valor kw/h	Potencia S.A	Costo diario (2 hrs)	Valor anual
\$ 1.796,535	4,5	\$ 16.169	\$ 501.233

Tabla 3-26 Costos de uso sist. Aux

Fuente: Creación propia

3.7 AHORROS

Para determinar el impacto de una medida como la presentada, se debe realizar el contraste con la tecnología de calefacción presente en la ciudad. El problema reside en la variedad de equipos de calefacción, tales como; salamandras, cocinas a leña, chimeneas y braseros. Además de que los años que tenga tal equipo y el nivel de humedad de la leña ocupada, influya en la cantidad que finalmente será requerida para calefaccionar la vivienda.

Según Bustos Yeniferd (2017), el equipo con funcionamiento a leña con mayor presencia en la ciudad de Osorno, es la combustión lenta con un 27,4%, siendo además la de mayor presencia en la viviendas entre 51 m² y 81 m².

La cantidad de leña se vera influenciada de la misma manera que el tipo de calefacción, dado que se según el estrato social, la cantidad de años de la vivienda y el sector residencial dentro de la ciudad, determinara cuanta cantidad es consumida anualmente.

Sin embargo la misma autora plantea un consumo promedio de 13,4 m³, siendo un valor similar a otros trabajos encontrados durante la recopilación de esta investigación, por lo cual será el valor utilizado para el consumo anual de la vivienda tipo ya presentada.

Para otorgarle un valor económico al uso de esta cantidad de leña, según el *boletín informativo de precios del mercado de leña, para la región de O´Higgins del Sernac* (2018) el valor del m³ oscila entre \$ 116.049 y \$42.352 (Eucaliptus), dependiendo de la estación y localidad en donde se venda.

Para este trabajo y en consideración a informacion relacionada a proveedores en internet, para Osorno, se considerara un valor estimado de \$ 45.000 para el m³.

Costo anual en leña		
Valor metro cubico	Volumen anual	Costo anual
\$ 45.000	13,4	\$ 603.000

Tabla 3-27 Costos de uso sist. Aux

Fuente: Creación propia

Al igual que el costo anual de leña, que finalmente seria un ahorro en caso de optar por la medida expuesta, se incluirá el valor de una combustión lenta certificada bajo el PDAO, mas su limpieza, la cual se recomienda bajo una frecuencia de cada 2 semanas.

Según el catalogo de la marca Amesti⁹, el valor de una combustión lenta o estufa a leña, para una capacidad de volumen expuesta en la vivienda tipo, varia entre \$199.900 y \$ 279.990.

El valor de limpieza, mercado que mantiene una alta informalidad, tiene un rango de precios entre los \$10.000 y \$20.000.

Costos combustion lenta	
Valor	Mantenimiento anual
\$ 239.945	\$ 412.500

Tabla 3-28 Costos de uso sist. Aux

Fuente: Creación propia

Para el desglose de este ítem en el análisis de flujo de caja, se supondrá en la inversion inicial correspondiente un único correspondiente a la combustión lenta, en el caso del mantenimiento, al igual que la compra de leña, se mantendrá como un ahorro anual extendido en la vida útil del proyecto.

⁹ Uno de los fabricantes de estufas a leña más grande del mundo, con filial en chile.

3.8 **INDICADOR ECONOMICO**

Al momento de determinar la viabilidad de un proyecto es necesario someterlo a un análisis económico el cual nos describa en cierta medida, como será su desempeño en el futuro, en términos de recuperación de la inversión utilizada para realizar tal proyecto.

Dependiendo del tipo, se podrá decantar para uno u otro indicador, en el caso de esta investigación, el contexto en el que esta planteado este trabajo, es en la forma de presentar una medida que venga por defecto en las nuevas casas de la oferta inmobiliaria de Osorno, el cual se supone que generaría un impacto social y medioambiental a considerar.

Este termino es conocido como factor social, el cual esta inmerso en la area de evaluación social de proyectos. Sin embargo esta metodología implica tener un control del impacto generado por la medida, en base a datos obtenidos de forma precisa, situación que no es posible abordar en este trabajo.

En el caso de este sistema se ha realizado un flujo de caja simple para la obtencion del VAN y el TIR, los cuales son de los indicacores económicos mas utilizados en el evaluaciones de este tipo.

El VAN o valor actual neto, consiste en la actualización de los flujos futuros mas la integración de la inversión inicial, para determinar que tanto retorno se generara por la medida implementad y el TIR, o tasa de retorno interna, es el porcentaje es términos de beneficio o perdida que generara el proyecto en su vida útil.

En el caso del VAN debe seguirse la siguiente condición:

- $VAN > 0$: El valor actualizado de los cobro y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.
- $VAN = 0$: El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio, indiferente.
- $VAN < 0$: El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

Y por su parte para el TIR se mantienen las siguientes:

- Si $TIR > k$, el proyecto de inversión será aceptado. En este caso, la tasa de rendimiento interno que obtenemos es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida a la inversión.
- Si $TIR = k$, estaríamos en una situación similar a la que se producía cuando el VAN era igual a cero. En esta situación, la inversión podrá llevarse a cabo si mejora la posición competitiva de la empresa y no hay alternativas más favorables.
- Si $TIR < k$, el proyecto debe rechazarse. No se alcanza la rentabilidad mínima que le pedimos a la inversión.

La evaluación económica del proyecto se elabora de la siguiente manera:

- Inversion inicial (-)
- Costos de operación piso radiante (-)
- Costo de mantencion del sistema (-)
- Costo anual mantenimiento combustión lenta (+)
- Costo anual en leña (+)

Sobre la vida útil de los componentes:

- Vida útil SST 20 años
- Vida útil piso radiante 20 años
- Sistema auxiliar 10 años

En la práctica, puede haber situaciones que modifiquen la estructura de esta evaluación económica, dado que los ahorros, especialmente el costo de mantenimiento anual para la combustión lenta se calcula en base a lo recomendado, lo que en la vida cotidiana no siempre se cumple a cabalidad.

Otra consideración es la tasa de retorno del proyecto, a pesar de que para los ERNC se maneja un porcentaje cercano al 10% gracias a la prolongada vida útil de estos, para este trabajo se consideró un 5%, por razones de evaluación, ya que en el trasfondo no se busca una medida que genere ganancias como es el caso de un proyecto privado.

Se presenta a continuación el resumen del flujo de caja estimado:

ITEM	0	1	2	19	20
Costos anual mantenimiento combustion lenta		\$ 412.500	\$ 412.500	\$ 412.500	\$ 412.500
Costos anual en leña		\$ 603.000	\$ 603.000	\$ 603.000	\$ 603.000
Costos de operación nuevo sistema		\$ -501.233	-\$ 501.233	-\$ 501.233	-\$ 501.233
Mantenimiento		\$ -310.000	-\$ 304.153	-\$ 304.153	-\$ 304.153
Inversion Inicial					
Sistema SST	-\$ 4.775.618				
Sistema Piso radiante	-\$ 3.020.292				
Sistema auxiliar	-\$ 241.323				
Instalación	-\$ 4.018.617				
Flujo caja	\$ -12.055.850	\$ 204.267	\$ 210.116	\$ 210.114	\$ 210.114
Flujo de caja acumulado	\$ -12.055.850	-\$ 11.851.583	-\$ 11.641.467	-\$ 8.069.529	-\$ 7.859.415

Tabla 3-29 Flujo de caja simple

Fuente: Creación propia

$$VAN: -I_0 + \sum_{j=1}^m \frac{F_c j}{(1+i)^j}$$

Ecuación 3-20 Ecuacion VAN

Fuente: Preparación y evaluación de proyectos, Sapag – Lloyd, 1989

VAN: \$- 9.442.932

$$TIR: -I_0 + \sum_{t=1}^m \frac{F_c}{(1+TIR)^t}$$

Ecuación 3-21 Ecuacion VAN

Fuente: Preparación y evaluación de proyectos, Sapag – Lloyd, 1989

TIR: -8%

Tal como se ha expuesto a continuación, los indicadores económicos demuestran que el proyecto no es viable de la forma en como esta contituido este trabajo.

La inclusión de subsidios o una evaluación con mayor detalles en relación a sus beneficios puede decantar en un cambio de esta evaluación. De todas formas para efectos de análisis hubieron situaciones que no se consideraron, que sin lugar a dudas son imprecendibles para el buen funcionamiento del sistema, como el recambio de equipamiento critico y partes que tienen una vida útil menor a otros componentes, como es el caso de la resistencia de inmersión.

Lo que al final, solo hubiera generado una peor evaluación del mismo proyecto, situacion ya obtenida con los valores que se han presentado.

CONCLUSIÓN

En este trabajo se eligió una vivienda modelo que nos permitiera abarcar la mayor cantidad posible de los tipos de viviendas de la ciudad de Osorno, además según bibliografía, el lugar de Osorno en donde estuviera dispuesta no influiría de mayor manera. Luego, en base a ese modelo de vivienda, se inició el cálculo de los requerimientos térmicos. Una vez obtenida esta magnitud, se inició la cruzada para cumplir el postulado presentado al inicio del trabajo. ¿Sería capaz un SST de poder abastecer este sistema?

En un inicio se pudo constatar que un SST es viable para la ciudad, ya que cumple con la norma de aporte energético establecido por la Ley N° 20.365. Lamentablemente, al considerar su aporte para el requerimiento térmico de la vivienda este mismo sistema solo era capaz de aportar X%. Después de mejorar la propuesta del SST se pudo alcanzar un aporte del 24,7%.

Entonces, la finalidad de este trabajo fue encontrar, en base a los conocimientos manejados, si la solución planteada era viable. Pero como se estableció de forma más clara, con los indicadores económicos en el último capítulo. La medida ideada no es posible ni energética ni financieramente.

La meta fue que cumpliera con una realidad, que como equipo, era el objetivo de una solución factible. De solo poder lograr un mínimo cálculo, que diera luces de que sería posible jubilar a la vieja estufa a leña, sin embargo, sigue siendo la opción más asequible para el público general.

Se consideraron las siguientes opciones para poder lograr la viabilidad de la idea. Para empezar, la prioridad de funcionamiento como calefacción son los 3 meses de invierno y en un principio, debía ser aportada directamente por el SST. Sin embargo, la investigación evidenció que era un requisito obligatorio el uso de un sistema auxiliar.

Detrás de este cambio, la idea propuesta, se cimentó sobre que el sistema de piso radiante debe venir incorporado en la casa, teniendo un sistema de purga que permita desconectar el sistema en los meses en que no sea necesario. O de igual manera que sea una casa que ya cuente con la instalación de este sistema. De forma tal que el costo de la implementación del sistema del piso radiante, entendiéndose como todo el gasto de construir o rehacer el piso, no se incorpore al costo de la inversión inicial. De lo contrario, difícilmente se pensaría en el recambio de un sistema de calefacción antiguo.

Por lo que el cálculo del costo de la medida constó solo del valor de implementar el mejor sistema de SST, con todo los requerimientos de instalación y el sistema auxiliar, Además de incluir los equipos del piso radiante específicos, como tuberías PEX y equipos hidráulicos.

Sin embargo, después de calcular el arreglo energético y del costo de la inversión para el sistema. Se considera que la única opción viable para una medida de este tipo es un subsidio de una gran parte de la inversión de parte del Estado para generar un recambio obligatorio de las características de las nuevas viviendas en la Ciudad.

Solución a futuro

¿Pero será lo más conveniente proseguir con el mismo tipo de sistema? Como equipo existe la conjetura que el camino a seguir es una independencia eléctrica a nivel nacional, por medio del aporte de las grandes plantas fotovoltaicas. Y ya hubo un primer acercamiento de parte del Gobierno en una rebaja de la tarifa eléctrica de invierno para lugares con alta contaminación. Si esta iniciativa prosigue y se robustece en el tiempo, al alcance del dominio de la electricidad, todas las soluciones de energía se simplifican y se abaratan.

Y quizás sea entonces, en el que se pueda retirar a la vieja estufa a leña que abunda en el sur de nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- 1: SÁNCHEZ Vásquez Henry Xavier. Diseño y simulación de un sistema de calefacción por piso radiante para un refugio de montaña ubicado a 4000 msnm en el volcán Cayamb. (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero mecánico). Quito. Facultad de ingeniería mecánica escuela politécnica nacional. 2019. 24-26 h.
- 2: VILLARRUEL Cuevas, Rodrigo Alejandro. Anteproyecto de calefacción por piso radiante para salón de eventos de centro de ferias parque saval. (Tesis para optar al título de: Ingeniero Constructor). Valdivia, Chile. UACH. 34-40 h
- 3: PEREIRA Monsalve Patricia Alejandra. Evaluación socioeconómica de alternativas de subsidios para el plan de descontaminación atmosférica implementado en la comuna de Osorno. (Memoria para optar al título de Ingeniero Comercial). 2017, Santiago. UTFSM.
- 4: Decreto 131. Declara zona saturada por ozono, material particulado respirable, partículas en suspensión y monóxido de carbono, y zona latente por dióxido de nitrógeno, al área de la región metropolitana. Comisión nacional del medio ambiente. 1996.
- 5: Decreto 12. Norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable mp 2,5. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 2012.
- 6: World air quality report Región & City PM2.5, IQ AIR & Greenpeace. 2019
- 7: Oyarzun Manuel. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. Revista Chile Enfermedades Respiratorias. 2010.
- 8: Determinación de la Zona Saturada por Material Particulado Respirable de Osorno. Escuela de Ingeniería Ambiental, Unidad de Calidad del Aire. Universidad Católica de Temuco. 2009
- 9: Hurtubia, Jaime. Breve examen al cambio climático, contaminación del aire y salud en Chile. Cuad Méd Soc. 2019
- 10: Pereira Monsalve, Patricia Alejandra. Evaluación socioeconómica de alternativas de subsidios para el plan de descontaminación atmosférica implementado en la comuna de Osorno. (Memoria para optar al título de Ingeniero Comercial). Santiago, 2017, UTFSM.
- 11: Evaluación de soluciones tecnológicas térmicas y eléctricas. Marco regulatorio e instrumentos. Universidad de desarrollo tecnológico, 2013.
- 12: Bustos, Yeniferd & Ferrada, Luz Maria. Consumo residencial de leña, análisis para la ciudad de Osorno en Chile. Idesia (Arica), 35(2), 95-105. Epub 13 de mayo de 2017. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000024>
- 13: Sapag Chain, N., & Sapag Chai, R. (1998). Preparación y evaluación de proyectos: Nassir Sapag Chain y Reinaldo Sapag Chain (5a. ed.--.). México: Mc Graw-Hill.

14: Catalogo Piso radiante Uponor 2017

15: Guía suelo radiante Fegeca 2017

16: Manual sistemas solares térmicos MINVU 2014

ANEXOS

DETERMINACIÓN DE LA TRANSMITANCIA

Muros										
Elemento	e [m]	λ [W/m²·K]	R [K·m²/W]	% Área	Rsi	Rse	R _{T MATERIAL} [K·m²/W]	R _T [K·m²/W]	U _{MURO} [W/K·m²]	
Madera / labquería	0.10		0.96	100%	0.12	0.06		1.18	0.85	
Planchas de yeso-cartón	0.01	0.26	0.04	100%			-			
Ventana										
Elemento	e [m]	λ [W/m²·K]	R [K·m²/W]	% Área	Rsi	Rse	R _T [K·m²/W]	U _{MATERIAL} [W/K·m²]	U _{VENTANA} [W/K·m²]	
Marco: Aluminio	0.004	210.00	0.00	20%	0.12	0.06	0.18	5.55	5.49	
Vidrio	0.003	1.20	0.003	80%			0.18	5.48		
Puerta										
Elemento	e [m]	λ [W/m²·K]	R [K·m²/W]	% Área	Rsi	Rse	R _T [K·m²/W]	U _{MATERIAL} [W/K·m²]	U _{VENTANA} [W/K·m²]	
Marco: Pino finger 25mm	0.03	0.10	0.24	20%	0.12	0.06	0.42	2.38	4.86	
Vidrio 3mm	0.003	1.20	0.003	80%			0.18	5.48		
Puerta										
Elemento	e [m]	λ [W/m²·K]	R [K·m²/W]	% Área	Rsi	Rse	R _{T MATERIAL} [K·m²/W]	R _T [K·m²/W]	U _{PUERTA} [W/K·m²]	
Marco: Pino	0.03	0.10	0.24	20%	0.12	0.06	0.42	2.38	2.38	
Puerta: Pino	0.03	0.10	0.24	80%			0.42	2.38		
Techos										
Elemento	e [m]	λ [W/m²·K]	R [K·m²/W]	% Área	Rsi	Rse	R _{T MATERIAL} [K·m²/W]	R _T [K·m²/W]	U _{TECHO} [W/K·m²]	
Yeso de cartón	0.01	0.24	0.05							
Lana de vidrio	0.12	0.04	3.03	-	0.09	0.06	-	3.51	0.28	
Listones de madera de pino	0.03	0.10	0.29							
Piso										
Elemento	λ [W/m²·K]		R _T [K·m²/W]		U _{PISO} [W/K·m²]					
Poliestireno extruido										
Barrera de vapor de film de polietileno de baja densidad										
Mortero de cemento										
Baldosa de cerámica										

ANEXO A

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO GLOBAL DE PÉRDIDAS TÉRMICAS POR TRANSMISIÓN DE LA ENVOLVENTE

G _{v1} = (Σ _i U _i *S _i + K _L *L)/V					
		Área [m²]	Perímetro [m]	U [W/K*m²]	Total
Muros	Vidrio Marco	102,00	-	0,85	86,44
Ventanas		3,79	-	4,86	24,00
		0,95	-		
Puertas		1,68	-	2,38	3,98
Techo		70,00	-	0,28	19,92
Piso		70	-	0,363636364	25,45
					159,79

Volumen (m³)	297,5
--------------	-------

G _{v1}	0,54
-----------------	------

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE VOLUMÉTRICO GLOBAL DE PÉRDIDAS TÉRMICAS TOTALES

G _{v2} = (G _{v1} + 0,35*n)	
G _{v2}	0,89

DEMANDA ENERGÉTICA ANUAL EN CALEFACCIÓN

Q = (G _{v2} * V * GD * 24) / 1000	
Q [kWh/año]	8.215

CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL EN CALEFACCIÓN

C [kWh/año]	14.937
-------------	--------

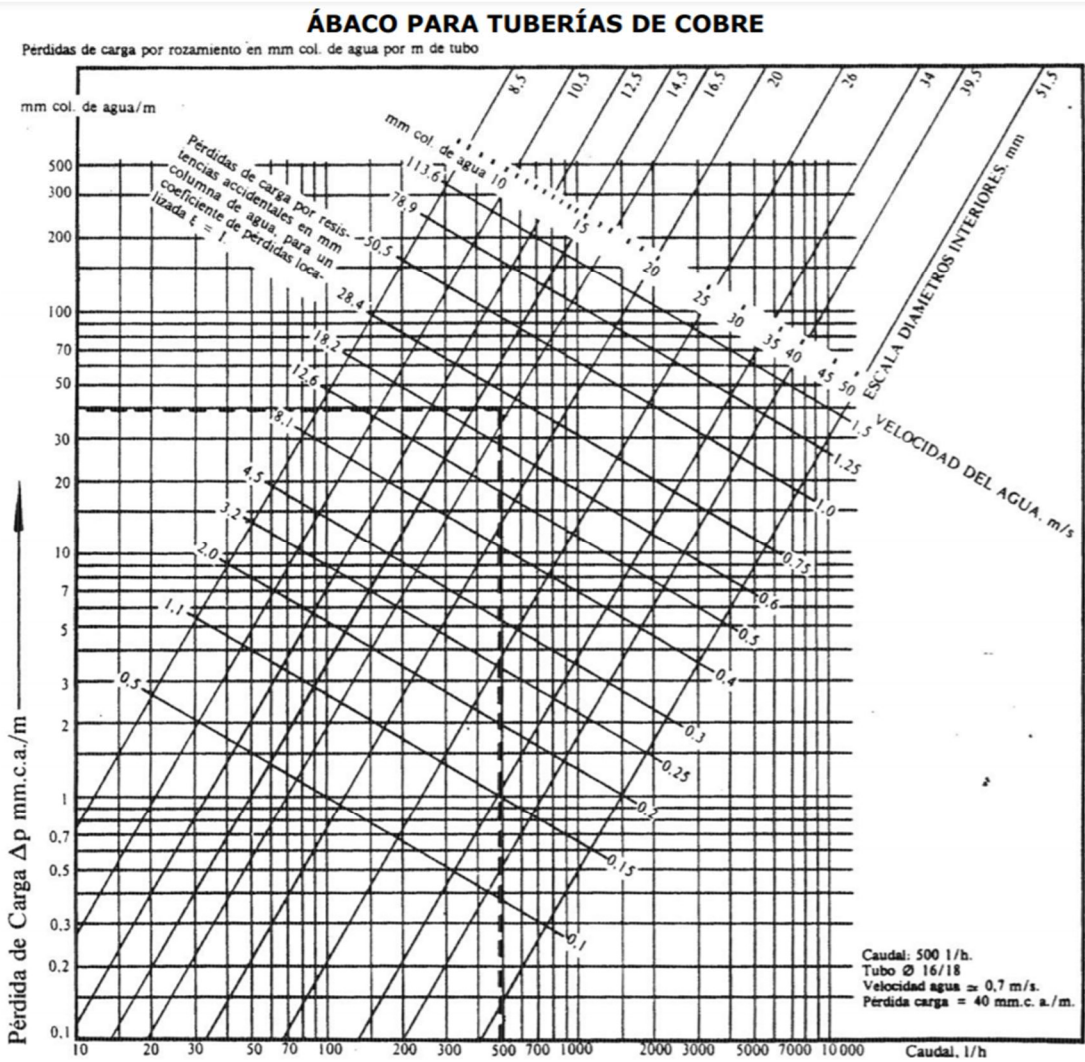
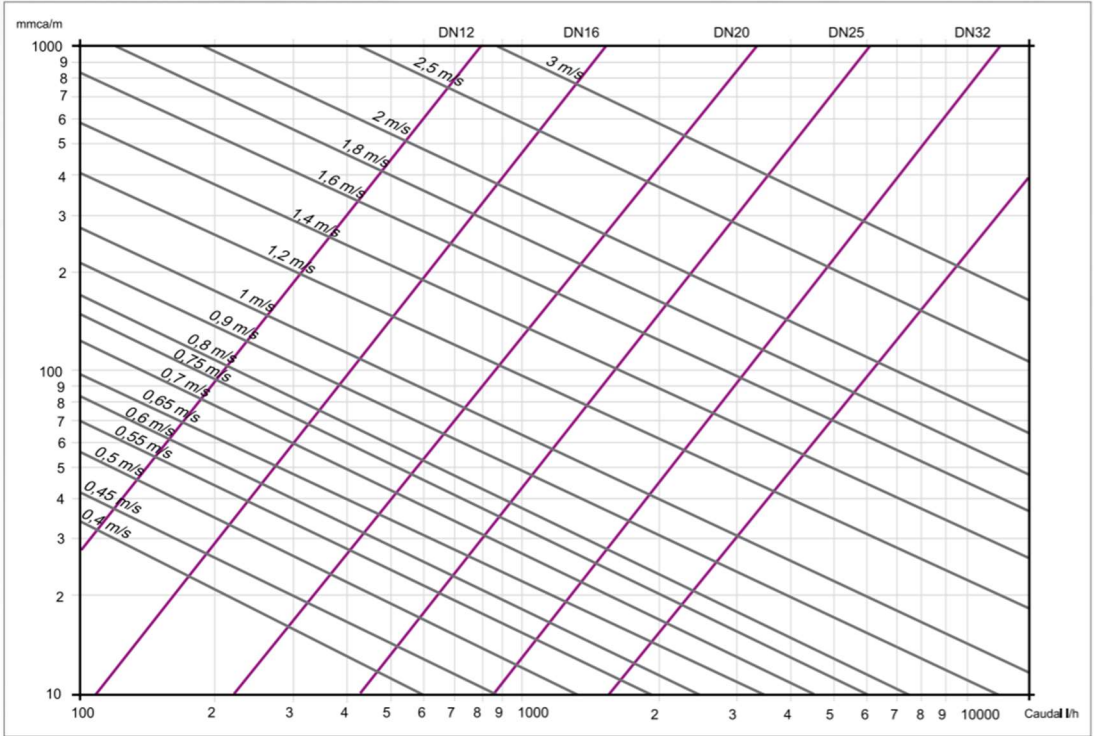


Diagrama Pérdida de Carga del PEX-A Aqualine



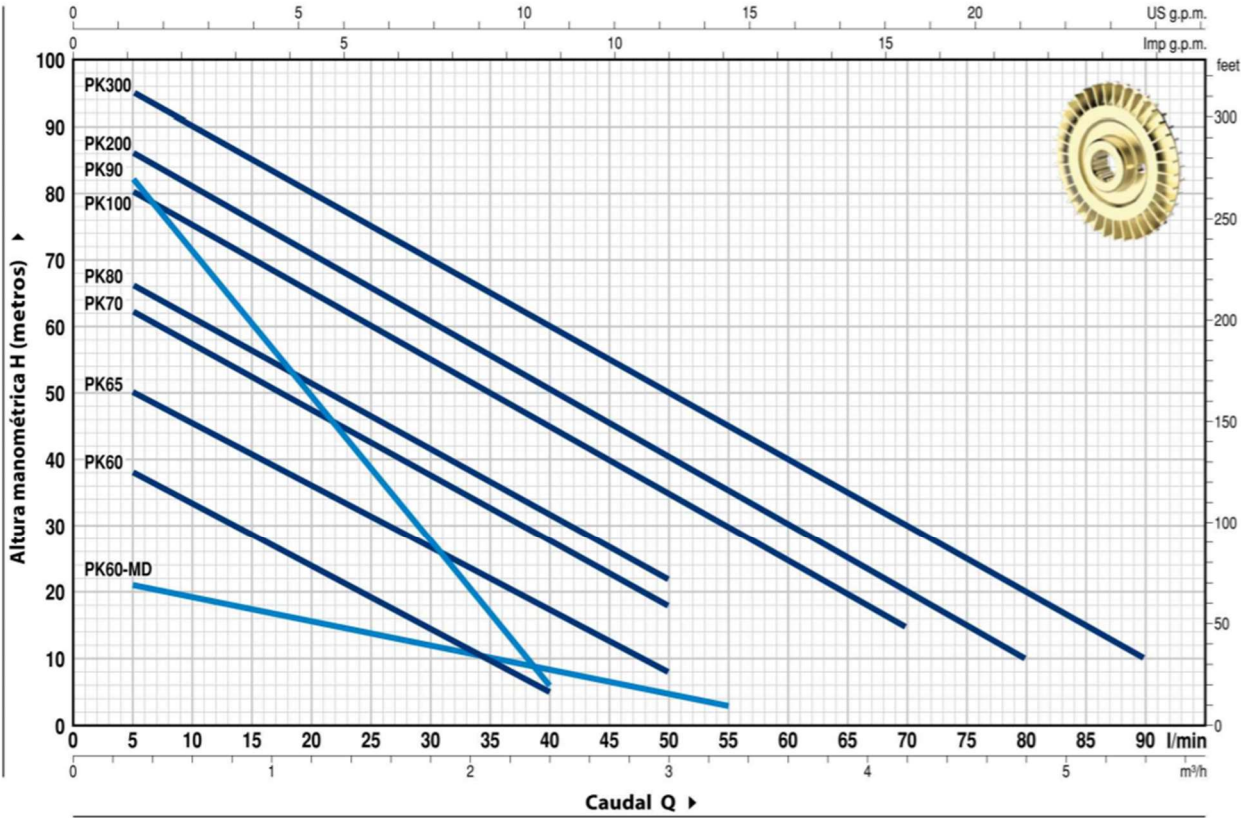
ANEXO D

Coeficiente K según norma chilena NCH 2486

Ampliación gradual	0,30
Codo de 90°	0,90
Codo de 45°	0,40
Curva de 90°	0,40
Curva de 45°	0,20
Curva de 22° 30'	0,10
Entrada normal en tubo	0,50
Entrada de borda	1,00
Válvula de ángulo, abierto	5,00
Válvula compuerta, abierto	0,20
Válvula tipo globo, abierto	10,00
T, paso directo	0,60
T, salida lateral	1,30
T, salida bilateral	1,80
Válvula de pie	1,75
Válvula de retención	2,50
Válvula de bola de paso total	0,20
Válvula de bola de paso estándar	0,20

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

50 Hz $n=2900\text{ min}^{-1}$ HS= 0 m





DEPARTAMENTO DE NORMAS Y ESTUDIOS
ACC- 531851 / DOC- 325495 /

AUTORIZA EL INGRESO AL REGISTRO DE
COLECTORES SOLARES TERMICOS QUE
INDICA, PARA OPTAR A BENEFICIO
TRIBUTARIO.

RESOLUCIÓN EXENTA Nº 206

SANTIAGO, **21** ENE. 2011

VISTO

Lo dispuesto en la ley 18.410, orgánica de esta
Superintendencia; la ley núm. 20.365 que establece franquicia tributaria respecto de
sistemas solares térmicos, y su reglamento aprobado mediante decreto N°331 de 2010,
del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, la resolución N° 1600 de 2008, de
la Contraloría General de la República, sobre exención del trámite de toma de razón.

CONSIDERANDO

1º Que mediante carta ingreso OP N° 33110, de
fecha 14 de diciembre de 2010, la empresa Desarrollo de Ahorros Energéticos S.A., Rut:
76.087.541-4, con domicilio en Argomedo N° 419, comuna de Santiago, viene a solicitar
autorización para la incorporación al registro de Colectores Solares Térmicos (CST), de
los productos que se indican en la tabla I siguiente:

TABLA I

Ítem	Producto	Marca	Modelo	Coefficiente Global de Pérdida K1 [W/m² °C]	Rendimiento Óptico en % (etha 0)	Área de Absorción o Superficie Útil [m²]	Peso Colector Solar Térmico [Kg]	Presión Máxima Funcionamient o [bar]	Dimensiones [mm]
1	Colector Solar Térmico	Unisolar	UNISOL PLUS EVO	3,370	80,7	2,370	56,5	10	2040X1270X100
2	Colector Solar Térmico	Unisolar	UNISOL 60 PLUS	4,273	79,7	1,910	34,2	10	2020X1020X87



DEPARTAMENTO DE NORMAS Y ESTUDIOS

ACC-~~599140~~ / DOC-~~30579~~

AUTORIZA EL INGRESO AL REGISTRO DE
COLECTORES SOLARES TERMICOS Y
DEPÓSITOS ACUMULADORES QUE INDICA,
PARA OPTAR A BENEFICIO TRIBUTARIO.

RESOLUCIÓN EXENTA Nº 1963

SANTIAGO, 21 JUL. 2011

VISTO

Lo dispuesto en la ley 18.410, orgánica de esta Superintendencia; la ley núm. 20.365 que establece franquicia tributaria respecto de sistemas solares térmicos, y su reglamento aprobado mediante decreto N°331 de 2010, del Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción, la resolución N° 1600 de 2008, de la Contraloría General de la República, sobre exención del trámite de toma de razón.

CONSIDERANDO

1º Que mediante carta ingreso OP N° 17095, de fecha 23 de junio de 2011, la empresa METALÚRGICA WINTER S.A., Rut: 93.155.000 - 4, con domicilio en Av. Alberto Hurtado N° 1974, comuna de Estación Central, viene a solicitar la autorización para la incorporación al registro de Colectores Solares Térmicos (CST) y Depósitos Acumuladores (DA), de los productos que se indica en la siguiente tabla:

TABLA I

Item	Producto	Marca	Modelo	Volumen [l]	Características de aislación [material, espesor mm]	Material del DA
1	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, con respaldo eléctrico 120 lts.	120	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
2	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, sin respaldo eléctrico 120 lts.	120	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
3	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, con respaldo eléctrico 160 lts.	160	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
4	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, sin respaldo eléctrico 160 lts.	160	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
5	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, con respaldo eléctrico 200 lts.	200	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
6	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, sin respaldo eléctrico 200 lts.	200	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
7	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, con respaldo eléctrico 250 lts.	250	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
8	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, sin respaldo eléctrico 250 lts.	250	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
9	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, con respaldo eléctrico 300 lts.	300	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
10	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, sin respaldo eléctrico 300 lts.	300	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
11	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, con respaldo eléctrico 400 lts.	400	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
12	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, sin respaldo eléctrico 400 lts.	400	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
13	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, con respaldo eléctrico 500 lts.	500	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.
14	Depósito Acumulador de Agua Caliente Sanitaria	WINTER	Termo Acumulador solar vertical, doble chaqueta, sin respaldo eléctrico 500 lts.	500	Poliuretano de 40 mm de espesor	Acero galvanizado.