



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA**



**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA VIVIENDA CERO ENERGÍA  
NETA EN ZONAS RURALES DEL SUR DE CHILE**

POR

**<Jessica Loreto Vera Mora>**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para optar al título profesional de Ingeniera Civil Mecánica

Profesor Guía:  
<Dr. Adelqui Andrés Fissore Schiappacasse >

Agosto 2023  
Concepción (Chile)

© 2022 Jessica Loreto Vera Mora

© 2023 Jessica Loreto Vera Mora

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento



**Quiero brindar mi más profundo agradecimiento al profesor Adelqui Fissore por su apoyo incondicional, la paciencia y dirección durante mis últimos años de la carrera.**

**También quiero agradecer a todos los profesores que fueron parte de mi paso por la Universidad de Concepción. No solo hicieron de mi estadía una excelente experiencia, sino también me entregaron conocimientos por los que han trabajado durante años.**

*Esta memoria está dedicada a:*

*Marcela, mi hermana mayor, quien siempre ha sido una luz en mi camino y motivo de que intente ser mejor todos los días. Gracias por tu apoyo incondicional y ser mi ejemplo viviente de valentía, fuerza e inteligencia.*

*Mi padre, que a pesar de todas mis faltas siempre ha estado ahí para darme un abrazo. Gracias por entregarme parte de tu sabiduría en nuestras interminables conversaciones.*

*Ricardo, Brenda, María Paz y Oscar, por regalarme su tiempo y apoyo durante todo e proceso.*

## Resumen

En Chile aún existen viviendas que se encuentran con pobreza energética e hídrica. Parte de la población que se ve afectada se encuentra en la zona sur, por lo que el presente trabajo busca estudiar la viabilidad técnica y económica de transformar una vivienda típica de la zona en una vivienda cero energía neta con un enfoque sustentable del agua.

Se comienza por escoger a Villarrica y San Juan de las Costa como las localidades a estudiar debido a la presencia de población afectada y que ambos sitios presentan condiciones climáticas distintas. Se caracteriza la vivienda utilizando el “Informe final de usos de la energía de los hogares en Chile 2018”, de donde se obtienen la tipología de la casa y el consumo de electrodomésticos para cada zona. Con esta información, se calculan las ganancias internas a lo largo del año y se modela el hogar utilizando el software TRNSYS para obtener la energía térmica en calefacción que se necesita para mantener las condiciones de confort.

Por otro lado, se estudia la posibilidad de instalar un sistema de recolección de agua lluvia en el techo del hogar para abastecer la vivienda de agua para aquellos usos no potables. Este sistema se debe complementar con la obtención de agua potable mediante una puntera para poder tener un suministro continuo durante todo el año.

También se busca calentar el agua sanitaria utilizando bombas de calor aire-agua para evitar el uso de gas licuado. El consumo eléctrico de este equipo y todos los demás presentes en la vivienda son abastecidos mediante paneles fotovoltaicos.

Finalmente, mediante un estudio económico, se verifica que el proyecto es viable en cuanto a una casa cero energía neta, y, que si se enfoca también en la obtención de agua por un medio distinto a los camiones aljibes, se puede llegar a ahorrar \$39,420,000 anuales por vivienda.

**Palabras clave: Casa cero energía neta, sustentabilidad, bomba de calor, agua.**

## Abstract

In Chile there are still houses with energy and water poverty. Part of the population that is affected is located in the southern area, so this work studies the technical and economic feasibility of modifying a typical house of the area into a zero net energy house with a sustainable approach to water.

Villarrica and San Juan de la Costa are chosen as the localities to be studied due to the presence of the affected population and the fact that both sites present different climatic conditions. The housing is characterized using the "Final report of energy uses of households in Chile 2018", from which the typology of the house and the consumption of appliances for each zone are obtained. With this information, the internal gains throughout the year are calculated and the home is modeled using TRNSYS software to obtain the thermal energy in heating needed to maintain comfort conditions.

On the other hand, the possibility of installing a rainwater collection system on the roof of the home to supply the house with water for non-potable uses is studied. This system should be complemented by obtaining drinking water by means of a water supply system to have a continuous supply throughout the year.

It also aims to heat domestic water using air-water heat pumps to avoid the use of liquefied gas. The electricity consumption of this equipment and all other equipment in the house is supplied by photovoltaic panels.

Finally, through an economic study, it is verified that the project is viable in terms of a zero-energy house, and that if it also focuses on obtaining water by a means other than water trucks, it can save \$39,420,000 per year per house.

**Keywords: Zero energy house, sustainability, heat pump, water.**

## Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos.....	iii
Lista de Tablas .....	v
Lista de Figuras .....	vi
Glosario .....	vii
<b>1 CAPÍTULO 1: Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Presentación del problema.....	1
1.2 Propuesta de solución .....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Metodología.....	3
<b>2 CAPÍTULO 2: Marco Teórico .....</b>	<b>4</b>
2.1 Sensación térmica al interior del hogar .....	4
2.2 Generación de electricidad en zonas rurales.....	4
2.3 Obtención de agua sanitaria en zonas rurales .....	5
2.4 Generación de agua caliente .....	12
<b>3 CAPÍTULO 3: Caracterización de la vivienda base .....</b>	<b>13</b>
3.1 Ubicación de la vivienda .....	13
3.2 Descripción de la vivienda.....	14
3.3 Cargas internas dentro de la vivienda.....	15
3.4 Consumo de agua de la vivienda .....	17
<b>4 CAPÍTULO 4: Climatización de la vivienda .....</b>	<b>18</b>
4.1 Soluciones pasivas implementadas en la vivienda base .....	18
4.2 TRNSYS .....	20
4.3 Resultados para Villarrica.....	21
4.4 Resultados para San Juan de la Costa.....	22
4.5 Sistema de Calefacción.....	24
<b>5 CAPÍTULO 5: Sistema de obtención de agua.....</b>	<b>26</b>
5.1 Instalación de sistema de aprovechamiento de aguas pluviales .....	26
<b>6 CAPÍTULO 6: Cálculo agua caliente sanitaria .....</b>	<b>28</b>
<b>7 CAPÍTULO 7: Cálculo Paneles Fotovoltaicos.....</b>	<b>31</b>
<b>8 CAPÍTULO 8: Evaluación económica.....</b>	<b>33</b>
8.1 Caso base .....	33
8.2 Costos de inversión, operación y mantenimiento .....	34

8.3 Flujo de caja.....	35
9 CAPÍTULO 9: Conclusiones .....	36
Referencias .....	37
Anexo A: Parámetros de calidad para las aguas grises. ....	41
Anexo B: Cálculo transmitancia térmica de piso. ....	41
Anexo C: Características panel fotovoltaico .....	44
Anexo D: Estudio económico detallado .....	45



## Lista de Tablas

Tabla 2.1: Características técnica instalación de punteras .....	7
Tabla 2.2: Volumen de aguas grises al interior de una vivienda.....	8
Tabla 2.3: Calidad del agua de entrada .....	8
Tabla 2.3: Tabla resumen de tipos de filtros para aguas pluviales (Fuente: [17]) .....	10
Tabla 2.4: Coeficiente de captación de acuerdo con la materialidad de la techumbre [17] .....	11
Tabla 3.1: Resumen caracterización de la vivienda .....	15
Tabla 3.2: Consumo energético promedio para cálculo de cargas sensibles.....	16
Tabla 3.3: Consumo de agua por actividades dentro del hogar.....	17
Tabla 4.1: Transmitancia y resistencia térmica para muro en edificaciones de uso residencial [33]	18
Tabla 4.2: Soluciones constructivas para muros .....	18
Tabla 4.3: Transmitancia y resistencia térmica para techumbre en edificaciones de uso residencial [35]	19
.....	19
Tabla 4.4: Características material aislante .....	20
Tabla 4.5: Transmitancia y resistencia térmica para ventana en edificaciones de uso residencial [35]	20
.....	20
Tabla 4.6: Tabla resumen de demanda de calefacción .....	24
Tabla 4.7: Características bomba de calor aire - aire .....	24
Tabla 4.8: Consumo de energía por bombas de calor .....	25
Tabla 5.2: Demanda anual de agua no potable en litros.....	27
Tabla 5.3: Oferta anual de agua no potable en litros.....	27
Tabla 5.4: Volumen del estanque de almacenamiento .....	27
Tabla 6.1: Perfil de consumo de agua caliente .....	28
Tabla 7.1: Energía eléctrica Villarrica .....	31
Tabla 7.2: Energía eléctrica San Juan de la Costa.....	32
Tabla 8.1: Costo de servicios básicos anuales en la vivienda base de Lefun.....	33
Tabla 8.2: Costo de servicios básicos anuales en la vivienda base de San Juan de la Costa .....	34
Tabla 8.3: Costo de equipos .....	34
Tabla 8.4: Costo de operación y mantenimiento .....	35
Tabla 8.5: Resumen de flujo de caja .....	35

## Lista de Figuras

Figura 2.1: Esquema de una línea de conducción por gravedad [21].....	6
Figura 2.2: Diagrama de una instalación de puntera.....	7
Figura 2.3: Sistema de tratamiento biológico (Fuente: [16]) .....	9
Figura 2.4: Técnicas de captación de Aguas Lluvias (Fuente: [24]).....	10
Figura 3.1: Localización geográfica de las zonas afectadas en San Juan de la Costa.....	13
Figura 3.2: Localización geográfica de Lefun.....	14
Figura 3.3: Tipología 1 de vivienda (Fuente: [7]).....	14
Figura 3.4: Tipología 5 de vivienda (Fuente: [7]).....	15
Figura 4.1: Temperaturas en la vivienda de Villarrica.....	21
Figura 4.2: Condiciones térmicas a las que está sometida la vivienda en Villarrica .....	22
Figura 4.3: Consumo acumulado de energía en Villarrica.....	22
Figura 4.4: Temperaturas en la vivienda de San Juan de la Costa .....	23
Figura 4.5: Condiciones térmicas a las que está sometida la vivienda en San Juan de la Costa.....	23
Figura 4.6: Consumo acumulado de energía en San Juan de la Costa .....	24
Figura 5.1: Precipitaciones en San Juan de la Costa .....	26
Figura 6.1: Energía térmica anual suministrada por la bomba de calor para ACS .....	29
Figura 6.2: Variación del COP de la bomba de calor.....	29
Figura 6.3: Energía eléctrica necesaria para el uso de la bomba de calor en ACS .....	30
Figura 7.1: Energía eléctrica anual.....	31

## Glosario

ACS	:	Agua Caliente Sanitaria
APR	:	Agua Potable Rural
FV	:	Fachada Ventilada
Qi	:	Gasto Máximo instalado
QMP	:	Gasto máximo probable
ONU	:	Organización de Naciones Unidas
PER	:	Programa de Electrificación Rural
SATE	:	Sistema de Aislación Térmica Exterior
SST	:	Sistema Solar Térmico

## Simbolos

c	:	Calor específico
C	:	Coefficiente de captación
D	:	Demanda
$\dot{m}$	:	Flujo másico
O	:	Oferta
P	:	Pluviometría anual
T	:	Temperatura

## Subíndice

in	:	Entrada
L	:	Limpieza general
LV	:	Lavadora
out	:	Salida
RJ	:	Jardines
WC	:	Inodoro

## **CAPÍTULO 1: Introducción**

### **1.1 Presentación del problema**

Dentro de las primeras definiciones de pobreza destaca la de Benjamin Rowntree, la que hace referencia a la falta de ingresos para satisfacer las necesidades mínimas para subsistir, es decir, sólo presenta un enfoque económico [1]. Sin embargo, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha modificado el término y comienza a hablar de pobreza extrema cuando hay personas que se encuentran en una situación donde no son capaces de satisfacer necesidades básicas como salud, acceso a agua o educación, siendo estas las áreas más consideradas para las políticas públicas [2] [3].

En cuanto a los desafíos que enfrentamos como país, la pobreza energética no ha sido considerada apropiadamente. Aún existen brechas en cuanto a acceso al suministro energético a lo largo de Chile, como por ejemplo, no en todos los sectores hay calidad y continuidad en el servicio de luz y agua, una gran parte de la población no se encuentra dentro del rango de confort, es decir, el rango de temperaturas que es saludable para vivir, y, hay hogares que se ven afectados en la conservación de alimentos, mala iluminación e inexistencia de agua caliente sanitaria, factores que están directamente relacionados con la calidad de vida de las personas [3].

De acuerdo con el Mapa de Vulnerabilidad Energética [4], existen 24,556 viviendas en Chile que no tienen acceso a energía eléctrica, lo cual equivale aproximadamente a 75,000 personas considerando los resultados del Censo 2017. También se menciona que esta cifra asciende a 29,642 viviendas si es que se consideran aquellos hogares que sólo cuentan con un suministro parcial, lo que porcentualmente equivale a un 4.2% de la población rural y 0.48% de la población total. Cabe destacar que las principales regiones afectadas son Los Lagos, La Araucanía, Coquimbo y Biobío.

Según el CASEN 2017, el 6.3% de los hogares en Chile no reciben agua potable de la red pública, siendo el 42.7% de este correspondiente a viviendas situadas en zonas rurales, lo que es equivalente a 151,236 casas. De estas familias, un 56.4% obtienen el suministro agua desde una fuente informal como aguas superficiales (río, lago, estero) o subterráneas (pozo), un 15.0% de un sistema de distribución comunitario con previo tratamiento, y, un 28.5% desde un Sistema de Agua Potable Rural (APR). Cabe destacar que las regiones que se ven más afectadas por esta situación son la región de La Araucanía, Biobío, Los Lagos, Los Ríos y Metropolitana [5] [6].

Como se menciona anteriormente, otros aspectos de los que depende una buena calidad de vida son el uso de agua caliente sanitaria (ACS), la percepción térmica y uso de equipos de calefacción y/o aire acondicionado para mantener las temperaturas de confort. Estos temas son tratados en el Informe Final de usos de la Energía de los Hogares de Chile 2018, en donde se caracterizan las viviendas del país a través de una encuesta aplicada a 3,500 casas [7]. En cuanto a la sensación térmica, más del 50% de las viviendas encuestadas dicen no sentir ni frío ni calor durante el año, mientras que aproximadamente un 25% manifiesta calor al interior de la casa en el periodo de verano, y frío durante el invierno, siendo el sector más afectado la zona térmica 4 delimitadas por las ciudades de Curicó y

Angol. Este escenario cambia cuando se mantiene la calefacción encendida durante el invierno, bajando el porcentaje que siente frío a un 10% en promedio para toda la zona sur [7].

Es importante destacar que más de un 93% de las casas encuestadas en la zona sur tienen al menos un sistema de calefacción, siendo nuevamente la zona térmica cuatro la que presenta una mayor cantidad de viviendas que no poseen ningún tipo de sistema (76,526 casas). Esto es relevante debido a que en las zonas rurales del sur de Chile predomina la calefacción que utiliza leña como combustible, la cual genera material particulado fino (MP<sub>2.5</sub>) que causa problemas cardiorrespiratorios, y, monóxido de carbono (CO) que se relaciona con desórdenes neurológicos [7] [8] [9]. De lo mencionado anteriormente, se puede deducir que en Chile existe una gran necesidad de solucionar los problemas de pobreza energética, los cuales se concentran en la zona sur del país y en las viviendas ubicadas en zonas rurales. Así se incrementaría la calidad de vida y la salud de las personas afectadas.

Además, se deben estudiar las opciones que sean viables tanto técnica como económicamente, para ser implementadas en hogares con un nivel socioeconómico bajo. Paralelamente, se debe concientizar a la población sobre su uso e implementar proyectos para generar oportunidades atractivas en cuanto a inversión.

## **1.2 Propuesta de solución**

Debido a que Chile es un país con una gran variedad de zonas térmicas y geográficas, se decide escoger dos localidades cuyo clima sean distintos entre sí. Se propone acondicionar una vivienda cero energías con un enfoque sustentable en el consumo del agua, para esto se considera el uso de paneles fotovoltaicos y bombas de calor para satisfacer necesidades como calefacción, electricidad y agua caliente sanitaria. Además, se incorporarán estrategias para el abastecimiento y uso consciente del agua.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar una vivienda cero energía neta a partir de una vivienda típica de Chile, enfocándose principalmente en parámetros pasivos, energía eléctrica, energía térmica, y, obtención y uso consciente del agua.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Definir caso de estudio y condiciones de contorno para la vivienda del caso base.
2. Diseñar sistema de climatización de la vivienda de acuerdo con las necesidades del caso base.
3. Calcular cantidad de agua aportada por el sistema de captación de aguas lluvia.
4. Diseñar el sistema agua caliente sanitaria de la vivienda y el aporte energético por medio de paneles fotovoltaicos.
5. Analizar la factibilidad económica de la vivienda con los distintos sistemas implementados.

## 1.4 Metodología

Para cumplir con el objetivo general del proyecto, se propone llevar a cabo la siguiente metodología:

En primer lugar y como se señala en el OE1, a través de investigación, se define el caso base de la vivienda. Este debe contar con el diseño de la casa, la localidad en la que se encuentra, los equipos electrodomésticos que se utilizan, cantidad de personas que viven en el inmueble y formas de obtención del agua en la zona rural. De esta forma, se podrá obtener la cantidad de energía térmica y eléctrica que hay en la vivienda para los análisis siguientes.

Luego, de acuerdo con el OE2, se busca optimizar de forma pasiva la vivienda. Es decir, modificar parámetros como cambio de iluminación, tipo de ventanas, aislación de la vivienda, entre otros, de tal forma que la energía que se requiera para mantener las condiciones de confort dentro del hogar tanto para calefacción como para aire acondicionado sea la menor posible.

Continuando con el OE3, se requiere conocer cómo se abastece de agua la vivienda en la zona rural establecida y qué método de obtención sería más adecuado dependiendo de su ubicación geográfica.

Siguiendo con los cálculos, se parte diseñando el sistema de agua caliente sanitaria de la vivienda, luego se sigue con el sistema de calefacción, y, finalmente con el cálculo de paneles solares para abastecer toda la energía eléctrica que requiera la casa. Se sigue este orden debido a que tanto el sistema de ACS como el de calefacción utilizan aparatos que requieren de energía eléctrica, y, por tanto, deben ser considerados en la demanda total de energía eléctrica.

Finalmente, se evalúa si la propuesta es económicamente atractiva considerando un horizonte de veinte años.

## **CAPÍTULO 2: Marco Teórico**

A continuación, se exponen algunas definiciones y antecedentes que son necesarios para comprender el marco completo del proyecto.

### **2.1 Sensación térmica al interior del hogar**

Se considera que el interior de la vivienda esté dentro de los parámetros de confort térmico, que es la sensación de bienestar físico y psicológico de los habitantes del inmueble frente a las condiciones térmicas de este [10]. En este trabajo, el confort se considera como 20°C, pero se acepta hasta 24°C durante el día en el periodo de invierno y hasta 26°C en verano, extendiéndose hasta los 17°C durante la noche. Es decir, no se considera un confort adaptativo que dependa de la zona térmica.

La sensación térmica dentro del hogar se obtiene principalmente mediante sistemas de calefacción y/o aire acondicionado, sin embargo, también se pueden implementar soluciones pasivas dentro de la vivienda que ayuden a amortiguar los cambios bruscos de temperatura.

Las soluciones pasivas que se pueden implementar dependen de la antigüedad del edificio. En el caso de ser una casa que está en proceso de diseño, se pueden considerar parámetros en forma mucho más eficiente para regular las pérdidas de calor, como, por ejemplo, la orientación de la vivienda, zonificación de las habitaciones, y, el factor de forma, el cual relaciona la superficie exterior del edificio con su volumen. Para el resto de las casas, se consideran los diseños de la envolvente que incluye muros, cubiertas, pisos, ventanas y puentes térmicos, ganancias solares, masa térmica, ventilación cruzada e iluminación de la vivienda [11].

En cuanto a los métodos de climatización, existen distintos tipos de tecnologías presentes en Chile cuyo principal objetivo es entregar una sensación térmica de calor en la vivienda, tales como: calefactores a gas y kerosene, calefactor a pellet, estufa a leña y bombas de calor. En cuanto a tecnologías usadas para enfriar la vivienda, la principal corresponde a aire acondicionado y se puede encontrar en distintos formatos [12].

### **2.2 Generación de electricidad en zonas rurales**

La electrificación de las zonas rurales es un tema que se viene planteando desde el año 1994 cuando se inicia el Programa de Electrificación Rural (PER), el cual nace gracias a que el Censo del año 1992 arrojó como resultado que el 53% de la población rural no contaba con acceso a la energía eléctrica. En el año 2019, se crea el Mapa de Vulnerabilidad Energética, el cual tiene como objetivo identificar las viviendas en la zona rural que no cuentan con energía eléctrica, y, al mismo tiempo, propone reducir estas brechas entregando suministro eléctrico como mínimo a 2500 casas al año [13] [14].

Este mapa clasifica los hogares en cuatro grupos: sin electricidad, sistema aislado con suministro parcial o permanente, sistemas individuales o viviendas que cuentan con proyectos de electrificación,

y, dentro de los primeros resultados, se encuentran que alrededor de 30,000 familias no contaban con energía eléctrica segura y continua, donde 25,000 no tenían acceso a la energía y 5,000 sólo podían acceder a este beneficio un par de horas al día [4] [14].

De acuerdo con los resultados expuestos el 2019, se encuentra que 11,282 viviendas más cuentan con un suministro estable de energía a lo largo del año. De este total, un 86% es gracias a una extensión de la red eléctrica, 7% debido a sistemas individuales fotovoltaicos y 7% gracias a sistemas locales a base de diésel o energías renovables [9].

### **2.3 Obtención de agua sanitaria en zonas rurales**

Como se menciona anteriormente, el sector rural cuenta con una menor cobertura de agua potable, siendo sus principales fuentes de captación de agua por medio superficial, subterráneo y por distribución mediante camiones aljibes. La captación superficial es, como lo dice el nombre, a la extracción de agua de fuentes superficiales como ríos, lagos, lagunas, e incluso mar. Por otro lado, el medio subterráneo es aquel que se obtiene el agua a través de punteras o pozos profundos [15]. Mientras que el agua que distribuyen los camiones aljibes cumple con todos los requisitos para ser potable, el agua captada por medios informales no lo es. En la mayoría de los casos se encuentra expuesta a las condiciones atmosféricas, residuos vegetales, animales y humanos que son una gran fuente de contaminación, y, por tanto, debe someterse a procesos de purificación para que la calidad del agua sea como se establece en la Norma Chilena NCh408/1. Of. 2005 [15] [6].

Por otro lado, es de conocimiento general que no todas las actividades llevadas a cabo por los seres humanos necesitan de agua potable, de hecho, el agua que requieren las cisternas de inodoros, lavado de suelo, riego de jardines y uso de lavadora puede ser sustituido por el agua pluvial o aguas grises previamente tratadas, lo cual podría llegar a reducir hasta un 50% del agua potable que requiere una vivienda [16] [17].

#### **2.3.1 Distribución de agua mediante camiones aljibes**

Los camiones aljibes se han utilizado como un método de emergencia para abastecer aquellas viviendas que no cuentan con un suministro de agua potable. Se financia por la Ley de Presupuesto del Ministerio del Interior que estipula un máximo de dotación de 50 litros diarios por persona y se administran los fondos a través de la municipalidad correspondiente [18]. Si bien se recomienda que la renovación de agua potable sea de media semana para evitar que el cloro se evapore, la frecuencia de distribución puede variar hasta llegar a los 15 días, lo que depende exclusivamente de las rutas estipuladas por la localidad y del sistema de acumulación con el que cuenta la vivienda (considerando si es que este cuenta o no con un sistema de cloración extra y el tamaño) [6] [19].

Este tipo de abastecimiento no es sustentable en el tiempo debido al costo que implica, el cual representa el 66% del gasto público en aquellas regiones que se ven afectadas. Sin dejar de mencionar,



que entre el periodo comprendido entre los años 2014 y 2018 se gastó aproximadamente \$150.000.000.000 para abastecer a las familias con agua potable mediante esta solución [6].

### 2.3.2 Captación de agua por medio superficial

La captación superficial es aquella que extrae el agua a partir de ríos, esteros, lagos, lagunas o mar a través de una operación de tipo gravitacional o con asistencia de estaciones elevadoras. En ambos casos se debe construir un acumulador de agua a partir de hormigón, pero la conducción del agua a través de tuberías se diferencia en que, en una operación gravitacional, el agua cae a través de una pendiente y no requiere de ningún tipo de bombeo a diferencia de las estaciones elevadoras [20] [21].

En la Figura 2.1 se presenta el sistema gravitacional, el cual se caracteriza porque la fuente de la que se obtiene el agua se encuentra a una mayor altura que el tanque de abastecimiento. Se utilizan elementos de la topografía para que el agua mantenga una velocidad y presión que no provoquen daños en las tuberías [21].

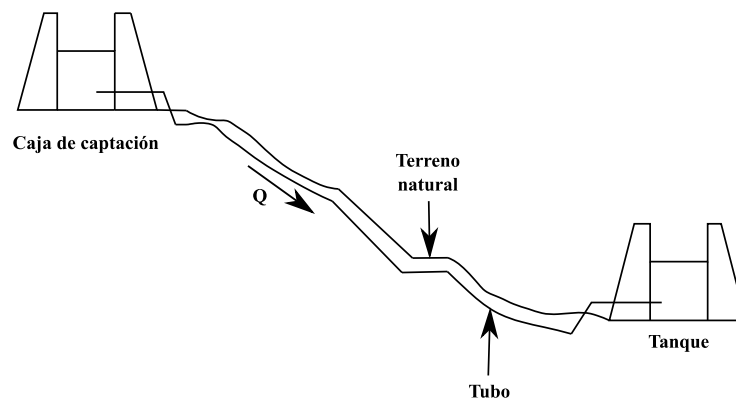


Figura 2.1: Esquema de una línea de conducción por gravedad [21]

Las ventajas de captar agua por medios superficiales es que se pueden utilizar fuentes que estén a una gran distancia de la comunidad o vivienda que se desea abastecer, no hay grandes cambios de presión en el trayecto de las tuberías, y, en el caso de una conducción por gravedad, no se requiere de un gran mantenimiento en el sistema. Dentro de las desventajas se encuentra que hay periodos en donde puede no haber suministro de agua debido a sequía en algunos territorios, existe la posibilidad que no hayan fuentes de agua cerca de la población, o bien, el terreno no es adecuado para la instalación de las líneas de tuberías, el agua por tratarse de medios superficiales requiere de mayor tratamiento antes del consumo humano, y, la construcción de este tipo de sistema es más costoso que un pozo [20].

### 2.3.3 Captación de agua por medio subterráneo

Existen dos principales fuentes de extracción de agua subterránea: pozo profundo o pozo somero y dependen principalmente de la profundidad a la que se encuentren. Aquellos pozos cuya profundidad sea mayor a 15 metros son denominados pozos profundos, mientras que cualquier pozo menor

envergadura es llamado pozo somero o puntera. En ambos casos se obtiene agua a partir de acuíferos y se requiere de mecanismos de extracción de bombeo que resguarden el agua de la contaminación exterior [22].

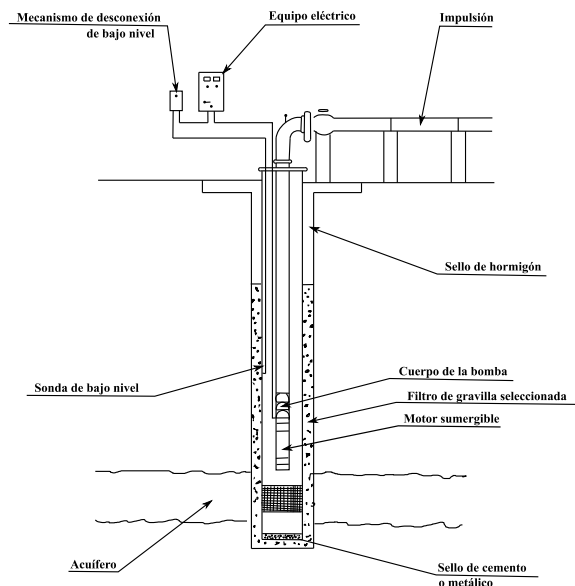
Por lo general, para uso doméstico se recomiendan los pozos someros o punteras, que además de las necesidades de la vivienda puede abastecer una pequeña cantidad de animales de corral y un huerto casero. En caso de necesitar el agua para plantaciones, se recomienda el uso de pozo profundo [23].

Las punteras son pozos de diámetros pequeños y profundidades menores a 15 metros que capturan agua de napas superficiales a través de un sistema de bombeo. Debido a que es un método de extracción de agua subterráneo, requiere como tratamiento sólo cloración a menos que las pruebas de agua indiquen la presencia de algún tipo de contaminante [39] [40].

En la Tabla 2.1 se presentan características de la instalación de las punteras, y, en la Figura 2.2 un diagrama de este método de extracción de agua.

**Tabla 2.1: Características técnica instalación de punteras**

Concepto	Característica
Diámetro pozo	3 – 5 cm
Diámetro tubo PVC	10 – 15 cm
Profundidad	6 – 15 m
Tipo de bomba	Bomba sumergible o Bomba con inyectores
Horas de bombeo	18 h
Presión de trabajo máxima estática	70 m.c.a
Presión de trabajo mínima dinámica	15 m.c.a



**Figura 2.2: Diagrama de una instalación de puntera**

### 2.3.4 Reutilización de aguas grises

Es necesario saber que las aguas grises son aquellas aguas provenientes de bañeras, duchas y lavamanos, la cual es tratada y posteriormente almacenada para ser reutilizada. Sus aplicaciones no están destinadas al consumo humano, sino que a disminuir la cantidad de agua potable que utiliza una vivienda para actividades como riego de jardines, lavado de autos o pisos, o bien, llenado de cisternas de inodoros [16].

Para el diseño de este sistema de deben considerar los datos de partida, recolección, tratamiento y uso del agua. Por lo tanto, se debe partir considerando la demanda de agua tratada que requiere una vivienda, la capacidad de producción de agua durante un día, la calidad del agua gris a la entrada y los parámetros de calidad que debe cumplir a la salida.

En la Tabla 2.2 se especifican los valores de producción y demanda de aguas grises en una vivienda, en donde los valores de descarga del inodoro son obtenidos a partir del SERNAC, mientras que el resto de los datos son entregados a partir de la “Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios”.

**Tabla 2.2: Volumen de aguas grises al interior de una vivienda**

<b>Aplicación</b>	<b>Demanda estimada</b>
Recarga de cisterna	60 litros/persona/día
Riego de jardines	6 litros/m <sup>2</sup> /día
Lavado de vehículo	250 litros
Producción de agua	75 litros/persona/día

El agua gris antes de tratarse presenta contaminación orgánica y microbiológica, los que se deben principalmente al uso previo del agua para la higiene personal. En este marco, el agua puede contener distintos tipos de detergentes, cremas, pelos, aceites, tierra, entre otros componentes. Por lo general, si es que no se vierten en el agua productos químicos como tintes, colorantes, medicamentos o materias orgánicas, la composición del agua puede variar de acuerdo con los valores presentados en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3: Calidad del agua de entrada**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Sólidos de suspensión	45 – 330 mg/l
Turbidez	22 – 200 NTU
DBO <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> )	90 – 290 mg/l
Coliformes totales	10 <sup>1</sup> – 10 <sup>6</sup> UFC/100 ml
Echerichia Coli	10 <sup>1</sup> – 10 <sup>5</sup> UFC/100 ml
Nitrógeno Kjeldahl (N)	2.1 – 31.5 mg/l

Estos valores deben ajustarse a los que solicita el Ministerio de Salud y que se presentan en el Anexo A dependiendo del uso que se le quiera dar a las aguas grises.

Existen tres tipos de tratamiento a los que se puede someter las aguas grises: sistemas físicos, físico-químico y biológicos. El sistema físico es el más económico de los tres y el que requiere un menor mantenimiento, sin embargo, actualmente sólo se considera con un pretratamiento del agua, ya que su funcionamiento consiste en la separación de sólidos y grasas por medio de sistemas de filtración, es decir, no involucra ningún tipo de desinfectante. El sistema físico-químico, además del proceso de filtración, involucra el uso de coagulantes y desinfecciones que evitan la proliferación de microorganismos, y aunque entrega mejores resultados que el sistema anterior, ya no se utilizan debido a que el mantenimiento es costoso y su tecnología no es tan eficiente. Finalmente, los sistemas biológicos que se utilizan en la actualidad consisten en degradar la materia orgánica mediante microorganismos, separar las aguas de los sólidos y desinfectarla antes de su reutilización [16].

En la Figura 2.3 se presenta un ejemplo de reciclaje de aguas con tratamiento biológico, cuyo uso final consiste en la recarga de cisternas y riego de jardines.

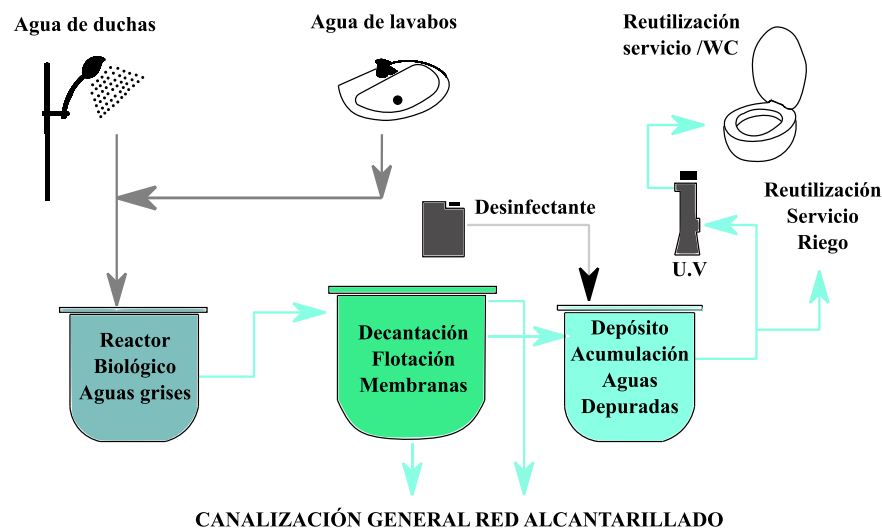


Figura 2.3: Sistema de tratamiento biológico (Fuente: [16])

### 2.3.5 Aprovechamiento de agua pluvial

Al igual que las aguas grises, el agua pluvial puede tener usos domésticos como lavado de pisos, descarga de inodoros, limpieza de pisos o vehículos y riego de jardines, sin embargo, se puede emplear también para riego de plantaciones y lavadoras con un tratamiento previo [17].

Existen varias formas de captaciones de agua lluvia en el hogar, el sistema más común es cuando se utiliza como medio de captación el techo la vivienda, mas no es el único. En el caso de que exista una

mayor cantidad de terreno para conseguir el agua pluvial, se puede recolectar el agua mediante un material impermeable ubicado en una ladera o cerro despejado [24].

A pesar de que las técnicas de captación son distintas, el principio de funcionamiento es el mismo. Se componen del área de captación, recolección, interceptor y almacenamiento, donde la recolección se lleva a cabo a través de tuberías y canaletas, el interceptor corresponde a un dispositivo que tiene como función evitar que las primeras aguas lluvias o impurezas lleguen al lugar de almacenamiento del agua [25].

A continuación, en la Figura 2.4 se presenta un diagrama de dos técnicas de recolección de agua lluvia en una vivienda.

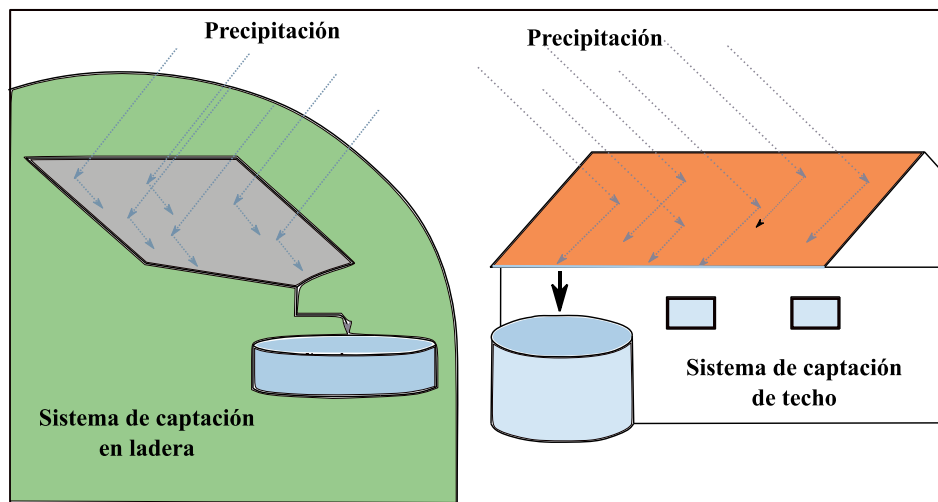


Figura 2.4: Técnicas de captación de Aguas Lluvias (Fuente: [24])

En cuanto a los filtros utilizados, se dividen en dos grandes grupos: de acuerdo con la ubicación o al tipo de funcionamiento. En la Tabla 2.4 se presenta un resumen de las distintas configuraciones y sus características, donde U1, U2 y U3 corresponden a filtros para la instalación en bajantes, depósitos e individual, respectivamente, mientras que F1 son filtros autolimpiantes y F2 son aquellos que acumulan la suciedad [17].

Tabla 2.4: Tabla resumen de tipos de filtros para aguas pluviales (Fuente: [17])

Tipo	Eficiencia	Grado fil [mm]	Mantenimiento	Capacidad	Coste
U1/F2 Tipo bajante	80% - 90%	0.7 – 1.7	Bajo	Baja	Bajo
U2/U3/F2 Tipo cesta	99%	0.4 – 1	Alto / medio	Media / alta	Medio
U2/U3/F1 Tipo autolimpiante	90% - 95%	0.35 – 2.0	Bajo	Media	Alto

Para el caso particular de esta memoria, se escoge el método de cálculo que implica conocer el dimensionamiento del depósito de almacenamiento y no la superficie de captación. Por lo tanto, es necesario conocer la demanda de agua que requiere la vivienda y la oferta de agua que se genera debido a la precipitación del lugar a estudiar y la superficie de recolección.

Para estimar la demanda, se utiliza la Ecuación (1), en donde  $D_{WC}$  corresponde al agua que requiere la cisterna de inodoro,  $D_{RJ}$  es la demanda para regar los jardines,  $D_L$  es la demanda en limpieza y  $D_{LV}$  es el agua destinada al uso de la lavadora.

$$D = D_{WC} + D_{RJ} + D_L + D_{LV} \quad (1)$$

La oferta depende de la cantidad de aguas pluviales que se recolecten y se calcula a través de la Ecuación (2). Donde  $S$  representa la superficie de captación,  $C_{SC}$  es un coeficiente de captación que se presenta en la Tabla 2.5 y  $P$  es la pluviometría anual en la zona a estudiar.

$$O = S \cdot C_{SC} \cdot P \quad (2)$$

**Tabla 2.5: Coeficiente de captación de acuerdo con la materialidad de la techumbre [17]**

Composición	Coeficiente
Tejado duro inclinado	0.8
Tejado plano sin gravilla	0.8
Tejado plano con gravilla	0.6
Tejado verde intensivo	0.3
Tejado verde extensivo	0.5
Superficie empedrada	0.5
Revestimiento asfáltico	0.8

La demanda debe ser siempre igual o menor a la oferta de agua pluvial. En caso de ser mayor, se ajustará el valor de la demanda, de tal forma que aumenta la necesidad de agua potable al interior de hogar. Cabe mencionar que al no tener un flujo constante de agua durante todo el año, este sistema no puede ser autónomo y requiere de otro sistema en conjunto para satisfacer todas las necesidades durante el periodo de verano.

Finalmente, el depósito de agua se calcula mediante la Ecuación (3), donde  $D$  corresponde a las necesidades diarias de agua,  $F_D$  es un factor de aumento debido a la pérdida útil de volumen por los sedimentos en el fondo del estanque de almacenamiento y  $P$  consiste en el periodo máximo de lluvia significativa.

$$V_{depósito} = D \cdot F_D \cdot P \quad (3)$$

## 2.4 Generación de agua caliente

Si bien es común en Chile obtener agua caliente sanitaria por medio de calefón, este proyecto busca que la vivienda se pueda abastecer de forma más sustentable, por lo que se consideran dos tipos de tecnología: colectores solares y bombas de calor.

Los colectores solares o Sistema Solar Térmico (SST) están compuestos principalmente por un colector solar, circuito primario y acumulador, y, su funcionamiento se basa en adquirir la energía proveniente del sol y transformarla en energía térmica para calentar el agua que será almacenada en el acumulador hasta su consumo [26].

Las bombas de calor funcionan por medio del traspaso de calor entre dos medios que se encuentran a distintas temperaturas. Para poder lograrlo, se utiliza un líquido refrigerante que se hace circular por medio de un compresor por dos intercambiadores de calor y una válvula. Los intercambiadores de calor se llaman evaporador y condensador, el evaporador es donde el refrigerante absorbe el calor y el condensador es donde se libera el calor [27].

Cabe destacar que, si bien la temperatura del agua para uso doméstico puede variar entre 37 a 45 [°C], como ambos equipos cuentan con sistemas de acumulación de agua, es importante que se realice un tratamiento térmico donde la temperatura del agua no debe estar por debajo de los 70 [°C] con el fin de prevenir la legionelosis [28].

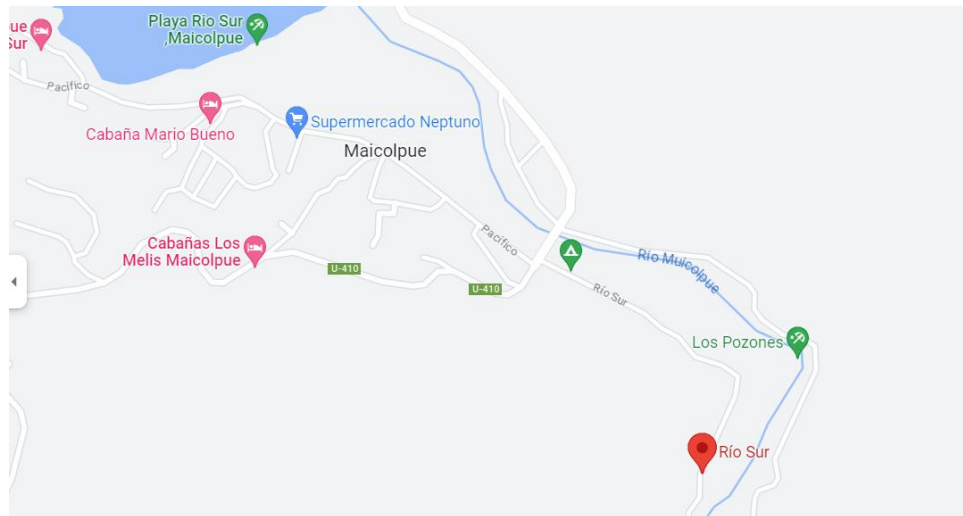
## CAPÍTULO 3: Caracterización de la vivienda base

### 3.1 Ubicación de la vivienda

Para este trabajo se decide trabajar con dos viviendas ubicadas en distintas comunas: Villarrica y San Juan de la Costa. La decisión se toma considerando que pertenecen a distintas zonas térmicas y presentan carencias en la electrificación del hogar.

San Juan de la Costa es una comuna rural que se ubica en la Región de los Lagos y forma parte de la zona térmica G [29]. De acuerdo con Mapa de Vulnerabilidad, la región presenta 4383 viviendas sin suministro eléctrico, en donde San Juan de la Costa es la comuna con un mayor de casos de pobreza energética (485 casas) [4]. Además, según Plan de Desarrollo Comunal, presenta bajos estándares en cuando a vivienda, debido a que gran parte de ellas no cuentan con agua potable ni un buen manejo de aguas servidas, siendo los sectores más perjudicados Maicolpue y Río Sur [30].

En la Figura 3.1 se presenta la localización de las zonas afectadas de San Juan de la Costa, donde Río Sur es una calle que se conecta con Maicolpue, la que corresponde a una zona residencial que se encuentra cerca de la bahía.

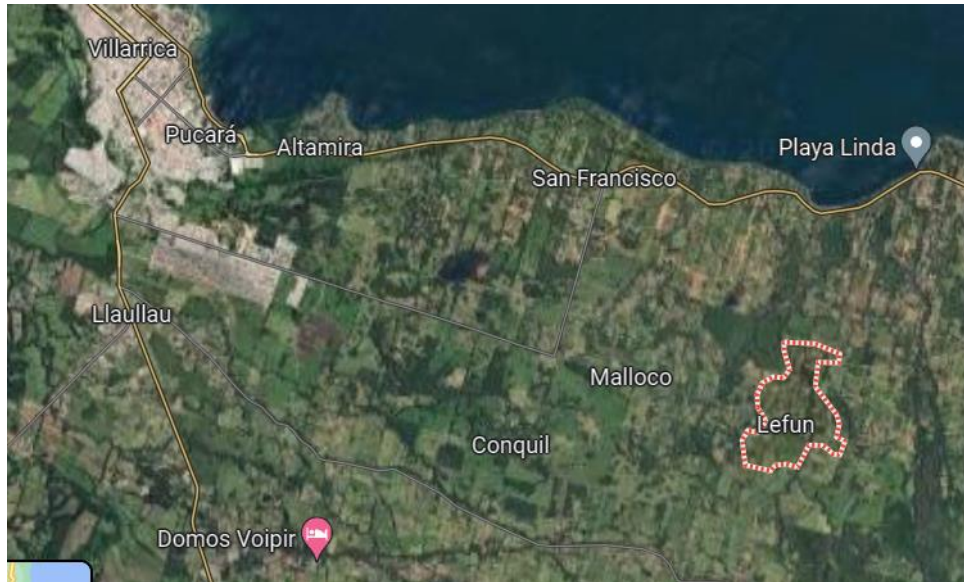


**Figura 3.1: Localización geográfica de las zonas afectadas en San Juan de la Costa**

Villarrica es una comuna que se encuentra en la Región de la Araucanía y que se halla dentro de la zona térmica F. Ésta cuenta con la mayor cantidad de viviendas sin suministro eléctrico de la región con un total de 411, y, al igual que San Juan de la Costa, presenta sectores que no cuentan con agua potable ni con una buena manipulación de las aguas servidas [31].

En la Figura 3.2 se muestra a Lefun, que es una pequeña comunidad que pertenece a Villarrica y se encuentra ubicada al oriente de la ciudad y a 3,4 km de la playa. Se decide escoger este sector debido a que, de acuerdo con lo mencionado en el PLADECO, se requiere abastecer de agua potable.



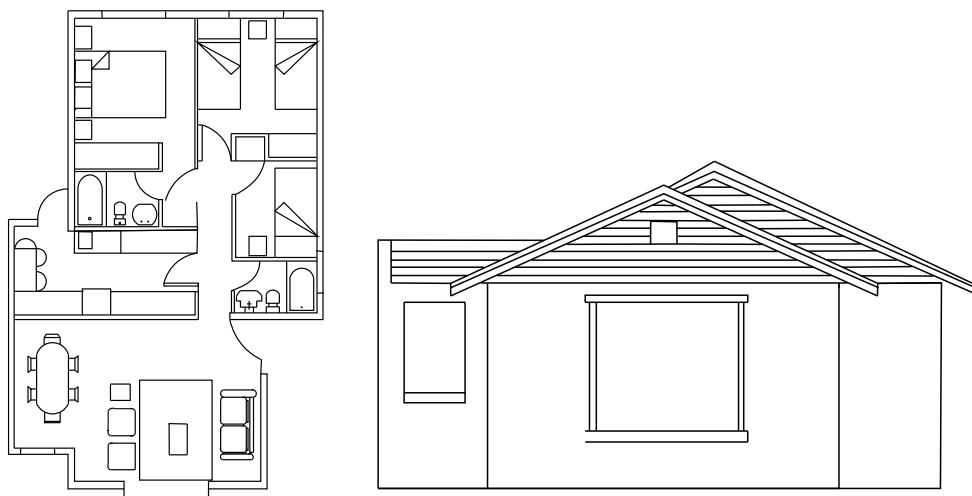


**Figura 3.2: Localización geográfica de Lefun**

### 3.2 Descripción de la vivienda

A continuación, se presentan las características de las viviendas con las que se llevará a cabo las simulaciones en los siguientes capítulos, las cuales se obtienen a partir del “Informe final de usos de la Energía de los hogares de Chile 2018” [7].

De acuerdo con la encuesta, se obtiene que la tipología 5 es más común en la región de la Araucanía y la tipología 1 en la región de Los Lagos. En la Tabla 3.1 se presentan las características para ambas viviendas, mientras que sus representaciones se encuentran en la Figura 3.3 y Figura 3.4.



**Figura 3.3: Tipología 1 de vivienda (Fuente: [7])**

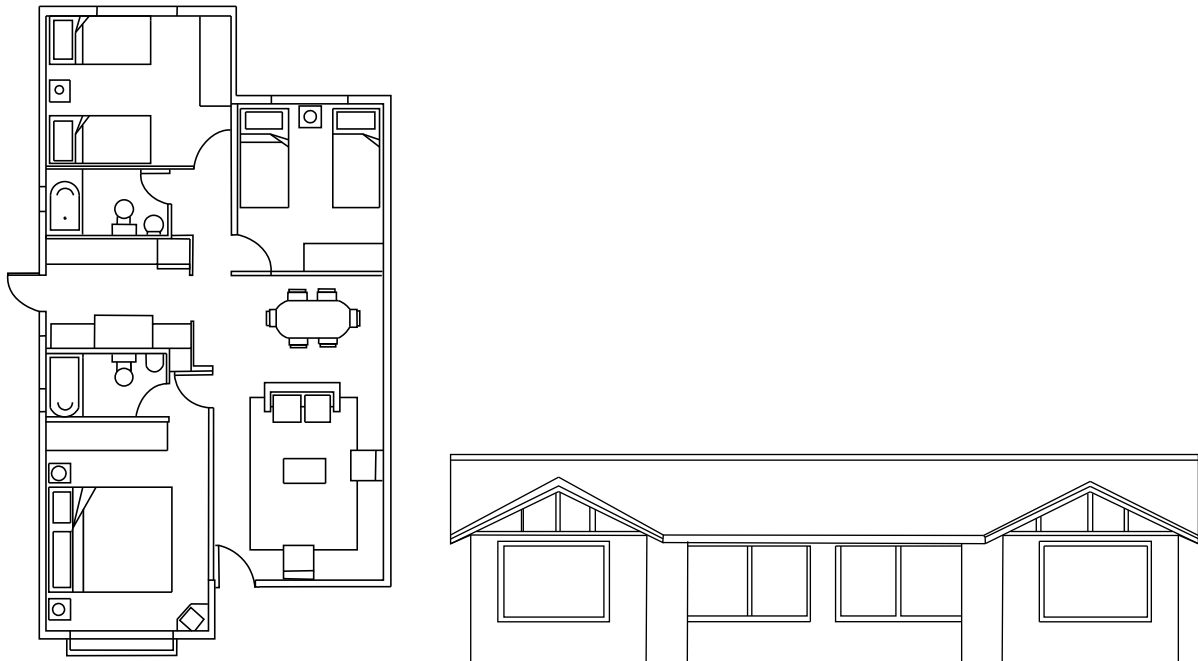


Figura 3.4: Tipología 5 de vivienda (Fuente: [7])

Tabla 3.1: Resumen caracterización de la vivienda

Concepto	Tipología 1	Tipología 5
Cantidad de pisos	1	1
Área disponible	56.5 [m <sup>2</sup> ]	67.7 [m <sup>2</sup> ]
Área de ventana Nor-Oeste	5.4 [m <sup>2</sup> ]	-
Área de ventana Nor-Este	7.8 [m <sup>2</sup> ]	-
Área de ventana Norte	-	3.95 [m <sup>2</sup> ]
Área de ventana Sur- Oeste	0.5 [m <sup>2</sup> ]	-
Área de ventana Sur - Este	3.8 [m <sup>2</sup> ]	-
Área de ventana sur	-	1.44 [m <sup>2</sup> ]
Área de muros envolvente	83.8 [m <sup>2</sup> ]	51.0 [m <sup>2</sup> ]
Altura cielo	2.4 [m <sup>2</sup> ]	2.4 [m]
Área tejado	60.2 [m <sup>2</sup> ]	81.7 [m <sup>2</sup> ]

Hay que considerar que a pesar de que las casas sean distintas, se considera que el grupo familiar es el mismo para ambas y consta de un total de 4 personas.

### 3.3 Cargas internas dentro de la vivienda

Para el cálculo de las ganancias internas, se consideran el calor sensible proporcionado por los artefactos eléctricos presentes en el hogar. Para esto se utiliza la demanda de electricidad promedio

de la vivienda durante un año de acuerdo con la zona térmica en donde se encuentra la ciudad. Luego, la carga sensible es calculada a partir de la Ecuación (4) considerando que los artefactos emiten el mismo calor durante todo el año, es decir, se mantienen funcionando de forma continua. Cabe mencionar que un año tiene un total de 8,760 horas.

$$Q_{s,a} = \frac{\text{Demanda eléctrica total}}{\text{Horas total de un año}} \quad (4)$$

En la Tabla 3.2 se presenta la demanda promedio de los artefactos eléctricos en las viviendas.

**Tabla 3.2: Consumo energético promedio para cálculo de cargas sensibles**

Artefactos eléctricos	Consumo anual	Calor Sensible	Consumo anual	Calor Sensible
	Villarrica [kWh/año]	[W]	San Juan de la Costa [kWh/año]	[W]
Hornillo eléctrico	20	2.3	18	2.1
Microondas	25	2.9	23	2.6
Iluminación	229	26.1	288	32.9
Refrigerador	293	33.4	351	40.1
Freezer/Congelador	179	20.4	224	25.6
Cafetera eléctrica	38	4.3	40	4.6
Hervidor eléctrico	86	9.8	86	9.8
Lavadora	29	3.3	25	2.9
Secadora	287	32.8	333	38.0
Plancha	54	6.2	55	6.3
Computador/Notebook	53	6.1	49	5.6
Televisor	216	24.7	409	46.7
Consola videojuegos	8	0.9	9	1.0
Aspiradora	116	13.2	147	16.8
Cargadores	15	1.7	15	1.7
Otros equipos	46	5.3	57	6.5
Stand by	128	14.6	134	15.3
		<b>208.0</b>		<b>258.3</b>

Es decir, el calor sensible producido por los artefactos eléctricos dentro del hogar es de 208 [W] en Villarrica y 258.3 [W] en San Juan de la Costa.

### 3.4 Consumo de agua de la vivienda

Si bien estudios recientes comentan que cuando la vivienda cuenta con un sistema de saneamiento de agua su consumo puede variar entre 120 a 160 [l/hab-día], y, que el promedio suele ser de 150 [l/hab-día], se decide utilizar el consumo que señala el SERNAC adaptado para un total de 4 personas [25] [15].

En la Tabla 3.3 se muestran los gastos de agua para distintas actividades dentro de la vivienda considerando que por un minuto que la llave de agua esté abierta, se gastan 12 litros de agua [32].

**Tabla 3.3: Consumo de agua por actividades dentro del hogar**

Usos del agua	Cantidad [L]	Usos del agua	Cantidad [L]
Lavarse de manos	2 - 18	Vaciar estanques nuevos	6 – 10
Lavarse los dientes	2 - 18	Vaciar estanques viejos	18 – 22
Baño de tina	200 - 300	En la cocina y para beber	15
Ducharse	80 – 100	Regar jardín 100 m <sup>2</sup>	1000
Usar la lavadora	60 – 90	Lavar platos	15 - 30

Cabe mencionar que se considera como caso base la distribución de agua mediante camiones aljibes en ambas municipalidades. En el caso de San Juan de la Costa, además de los seis camiones proporcionados por la ONEMI, la municipalidad destina aproximadamente \$20.000.000 al año en abastecer a 508 familias con agua potable, donde entregan 500 litros de agua a la semana por persona [35] [36]. En cuanto a Villarrica, de acuerdo con la cuenta pública 2020, se repartió agua potable a 500 familias del sector rural con un gasto anual total de \$35.800.000 por parte de la municipalidad y \$144.000.000 por parte de la ONEMI [38].

Estos números corresponden a lo estipulado por Amulén, en donde señalan que el valor del litro de agua potable obtenido por medios informales es de \$150 [6]. Es decir, si los camiones aljibes transportaran para cada familia los 150 [l/hab -día] que señala el SERNAC, el valor del agua diario por familia incrementaría a \$108,000, lo que se traduce a \$39,420,000 al año.

## CAPÍTULO 4: Climatización de la vivienda

### 4.1 Soluciones pasivas implementadas en la vivienda base

Para este apartado se utiliza como base los estándares propuestos para una vivienda construida después del 2007 cuyos valores son otorgados a partir de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (O.G.U.C), en donde se proponen mejoras de vivienda relacionadas con aislación térmica en techumbres, ventanas, pisos y muros.

Para interpretar las tablas que se presentan más adelante es necesario conocer la simbología que se utiliza. Se usa la letra “U” para la transmitancia térmica, “Rt” para denominar la resistencia térmica total y “R100” la resistencia térmica del material aislante. Para el caso de la transmitancia térmica, la tabla indica el máximo valor que esta puede llegar a tener, por otro lado, el valor de la resistencia térmica indica el valor mínimo que se puede encontrar dentro del hogar para cada apartado.

#### 4.1.1 Muros

En la Tabla 4.1 se presentan los valores límites de transmitancia y resistencia térmica en muros otorgados por la O.G.U.C para muros perimetrales.

**Tabla 4.1: Transmitancia y resistencia térmica para muro en edificaciones de uso residencial [33]**

Zona térmica	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	Rt [(m <sup>2</sup> K)/W]	R100
Zona 5	1.6	0.63	50
Zona 6	1.1	0.91	78

Las soluciones de muro se obtienen a partir del “Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo” [39]. Como se trata la zona sur del país se escogen aquellas soluciones construidas a partir de madera y luego se verifica que cumplan con la transmitancia y resistencia térmica presentada en la Tabla 4.1.

Algunas soluciones constructivas se presentan en la Tabla 4.2. Al estar ambas viviendas ubicadas en la zona sur del país, en donde predominan las casas construidas de madera, se escoge trabajar con la solución 1.2.M.C24.28.

**Tabla 4.2: Soluciones constructivas para muros**

Código solución	Descripción	Zona 5		Zona 6	
		U	Rt	U	Rt
1.2.M.C2	Muro tabique perimetral con estructura metálica y aislación térmica de poliestireno de densidad 10 kg/m <sup>3</sup> y 50 mm de espesor. El revestimiento interior	0.73	1.36	0.73	1.36

	es de plancha de yeso-cartón de 15 mm y el revestimiento exterior es de placa de madera tipo OSB de 9.5 mm.				
1.2.M.C9	Muro tabique perimetral con estructura de madera y aislación térmica de poliestireno de densidad 10 kg/m <sup>3</sup> y 50 mm de espesor. El revestimiento interior es una placa de madera de tipo OSB de 9.5 mm y el revestimiento exterior es una placa de fibrocemento de 6 mm de espesor.	0.63	1.58	0.63	1.58
1.2.M.C24.28	Muro estructurado de pino radiata 2x3''. El exterior consta de fibrocemento de 6mm y por el interior se encuentra una placa de yeso-cartón ST adherida a una plancha de poliestireno expandido de 15 kg/m <sup>3</sup> de densidad y de espesor de 10 mm y 20 mm para la zona 5 y 6, respectivamente.	1.44	0.69	1.06	0.93
33x90	Muro estructurado de madera de pino grado estructural C16, con una placa exterior OSB de espesor 11.1 mm e interior de yeso cartón de 15 mm. El material aislante utilizado es lana de vidrio de densidad 11 kg/m <sup>3</sup> de 80 mm de espesor.	0.46	2.17	0.46	2.17
1.2.M.C24.32	Muro estructurado de pino radiata 2x3''. El exterior consta de fibrocemento de 8mm y aislante térmico de lana mineral. Por el interior, se encuentra una placa de yeso-cartón de 15 [mm]. La densidad del material aislante corresponde a 40 kg/m <sup>3</sup> .	0.67	1.50	0.67	1.50

#### 4.1.2 Techo

En la Tabla 4.3 se presentan los valores límites de transmitancia y resistencia térmica en muros otorgados por el Manual de Aplicación Reglamentación Térmica.

**Tabla 4.3: Transmitancia y resistencia térmica para techumbre en edificaciones de uso residencial [35]**

Zona térmica	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	Rt [(m <sup>2</sup> K)/W]
5	0.28	3.57
6	0.25	4.00

Para el techo se utiliza la solución constructiva 1.1.M.C3.3 que corresponde a un panel techolisto corrugated, el cual utiliza como aislante poliestireno expandido de densidad de 20 [kg/m<sup>3</sup>], revestido en ambas caras por acero de 0.5 [mm]. Cabe destacar, que por el interior se utiliza yeso cartón de espesor igual a 10 [mm].

En la Tabla 4.4 se presentan las características del material aislante utilizado.

**Tabla 4.4: Características material aislante**

Nombre	Densidad [kg/m <sup>3</sup> ]	Coefficiente de conductividad térmica [W/m°C]	Espesor Zona 5 [mm]	Espesor Zona 6 [mm]
Poliestireno expandido	20	0.0384	120	120

#### 4.1.3 Piso

Para ambos casos se utiliza un piso en contacto con el terreno, por lo tanto, el valor de resistencia mínima para el aislante térmico en ambas zonas es de 0.91 [W/m<sup>3</sup>].

Se decide trabajar con la aislación térmica horizontal de poliestireno expandido de 70 [mm], densidad de 30 [kg/m<sup>3</sup>] y profundidad de 15 [cm]. Los cálculos se realizan de acuerdo con lo planteado en el Anexo B, obteniendo como resultado de transmitancia 0.5 [W/(m<sup>2</sup> K)] para la zona térmica 6 y 0.49 [W/(m<sup>2</sup> K)] para la zona 5.

#### 4.1.4 Ventana

En la Tabla 4.5 se presentan los valores límites de transmitancia y resistencia térmica en ventanas otorgados por el Anteproyecto de Norma NTM 011/2 2014.

**Tabla 4.5: Transmitancia y resistencia térmica para ventana en edificaciones de uso residencial [35]**

Zona térmica	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	Rt [(m <sup>2</sup> K)/W]
5	3.00	0.33
6	2.40	0.42

Para ambos casos se decide trabajar con una ventana DVH de vidrio de baja emisividad con una transmitancia de 1.9 [W/(m<sup>2</sup> K)].

## 4.2 TRNSYS

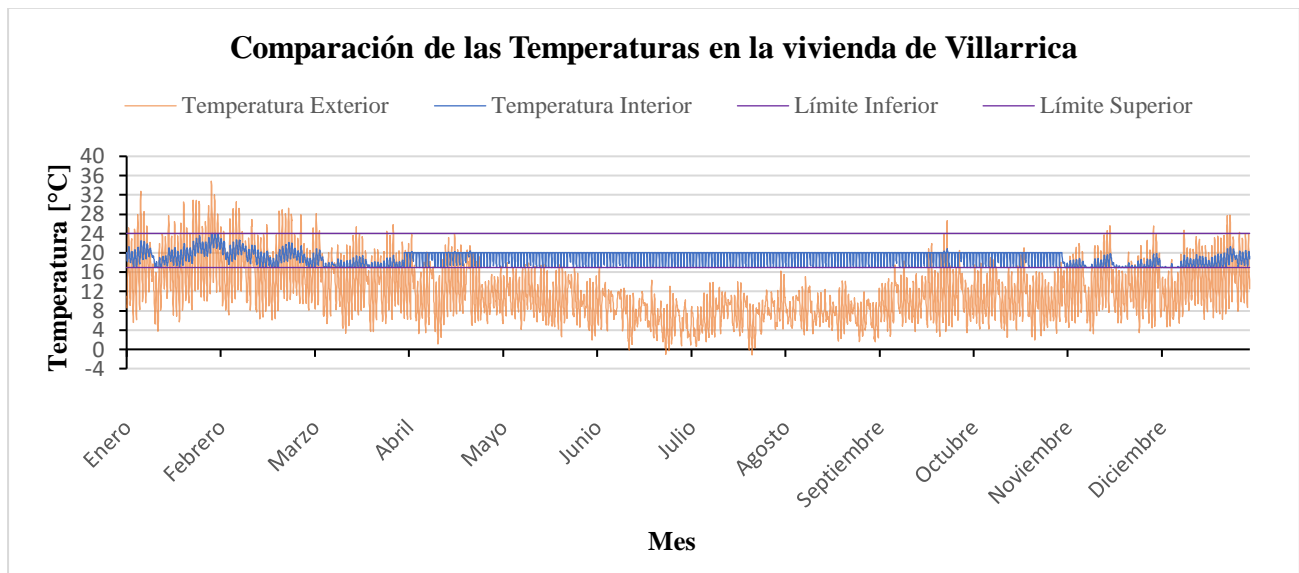
Los cálculos de la demanda de calefacción se realizan con el software TRNSYS que es utilizado para simular el comportamiento de sistemas transitorios. Cabe señalar que la información correspondiente a características climáticas de cada ciudad será obtenida considerando un año típico compuesto por meses típicos. Además, se seleccionará la superficie de la casa que se compone de un mayor número de ventanas como la que se encuentra orientada al norte.

La estimación de la demanda térmica para calefacción se obtiene considerando que la vivienda está compuesta por dos zonas. La primera corresponde al primer piso en donde se encuentran los dormitorios, comedor, cocina y baños, y, la segunda zona, es el entretecho.

Para el uso de TRNSYS, y como lo que se quiere es calcular la demanda debido a calefacción, se considera que la temperatura de confort durante el día para los meses de invierno corresponde a 20 [°C] y para la noche puede alcanzar los 17 [°C], es decir, la calefacción se encenderá una vez que la temperatura al interior de la vivienda sea menor a la temperatura de confort. Además, en este caso se utilizan las renovaciones mínimas de aire que debe tener la vivienda lo cual es de 0.75 [ren/h].

### 4.3 Resultados para Villarrica

En la Figura 4.1 se presentan las temperaturas a las que está sometida la vivienda en Villarrica considerando que dentro de la vivienda hay un sistema de calefacción y aire acondicionado que mantiene las condiciones de confort. Estas condiciones corresponden a 17 [°C] durante la noche, 20 [°C] durante el día en invierno y 24 [°C] durante el día en verano.



**Figura 4.1: Temperaturas en la vivienda de Villarrica**

En la Figura 4.2 se muestra el comportamiento del sistema de regulación de temperatura con respecto a la temperatura exterior a la que está sometida la vivienda. Se considera un periodo de calefacción desde marzo hasta finales de noviembre. Finalmente, en la Figura 4.3 se puede observar la demanda energética en calefacción acumulada a lo largo de los meses, siendo de 17,048 [kWh].



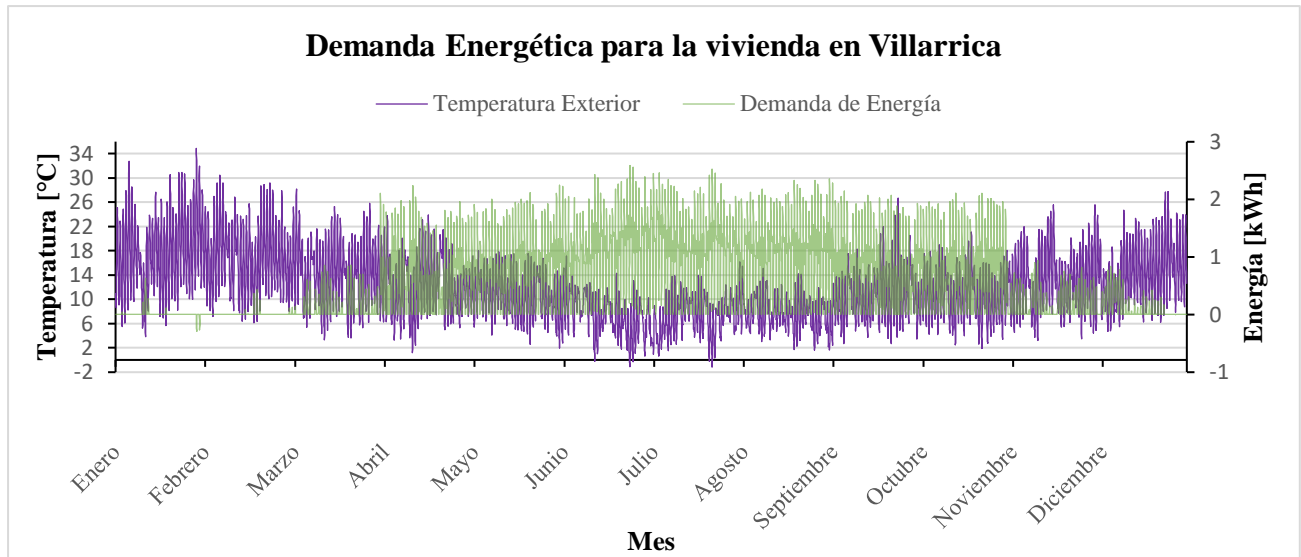


Figura 4.2: Condiciones térmicas a las que está sometida la vivienda en Villarrica

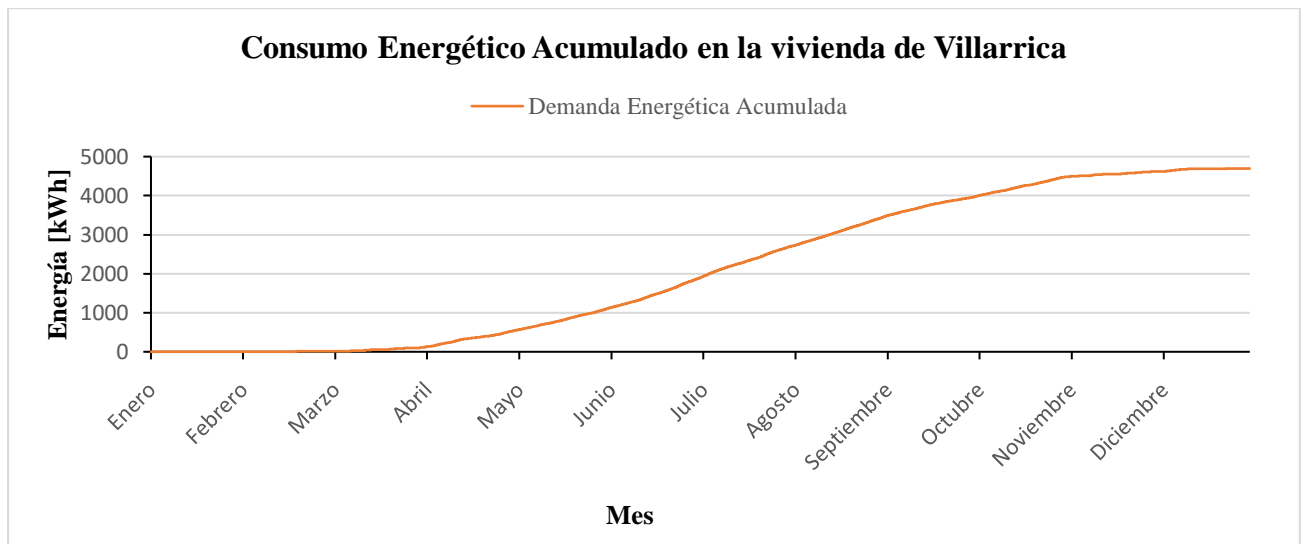
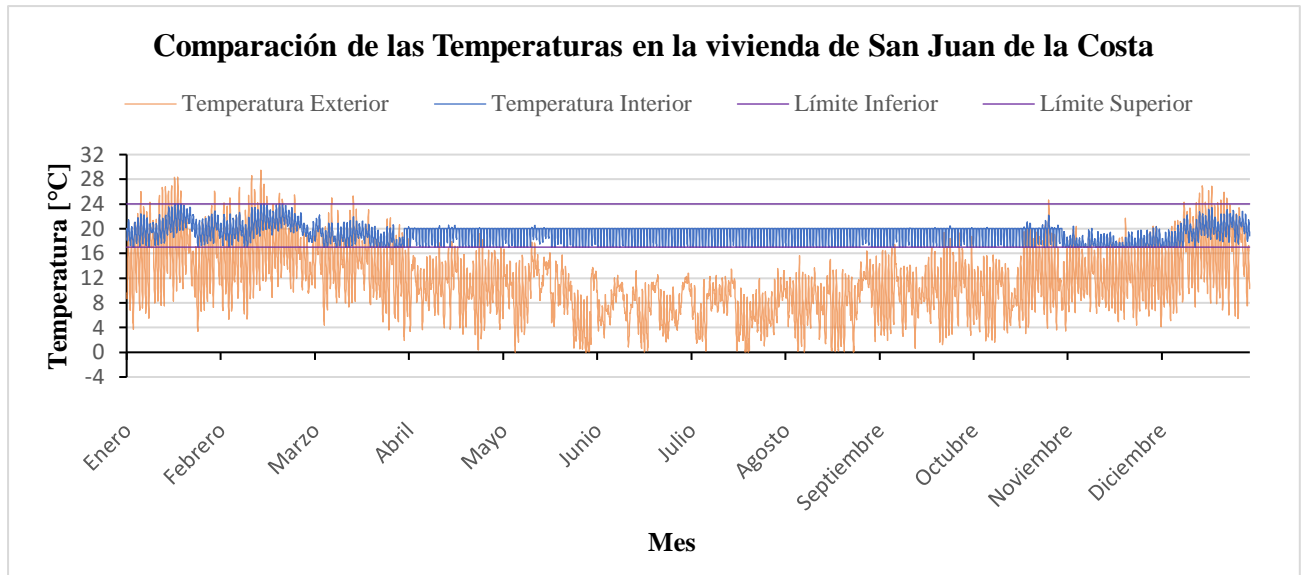


Figura 4.3: Consumo acumulado de energía en Villarrica

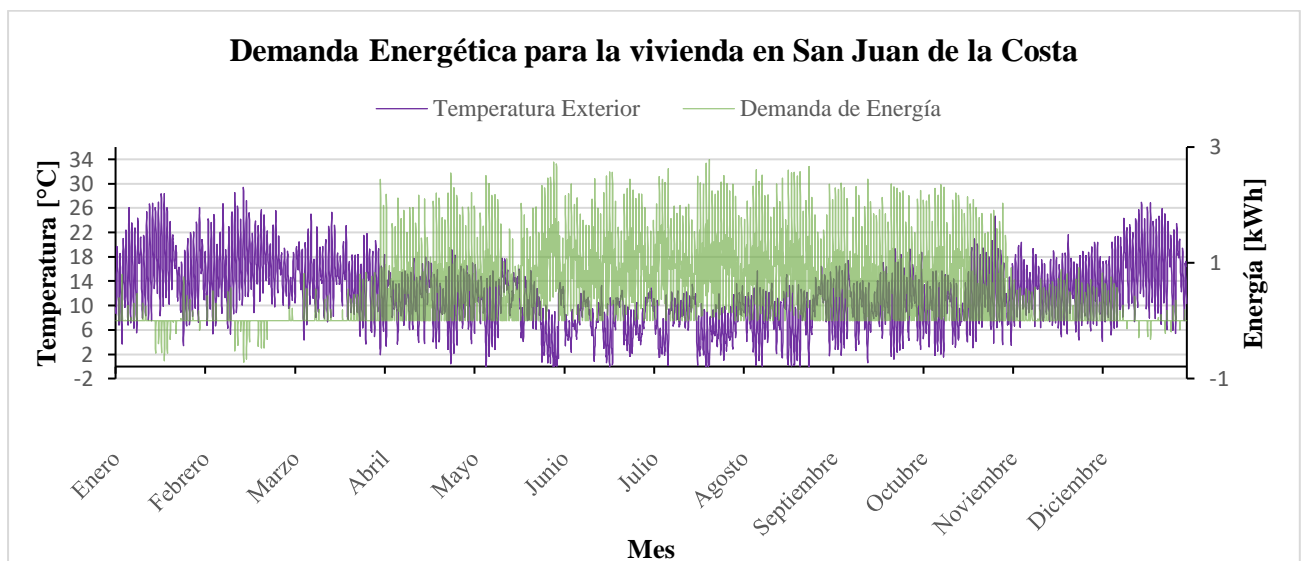
#### 4.4 Resultados para San Juan de la Costa

En la Figura 4.4 se presentan las temperaturas a las que está sometida la vivienda en San Juan de la Costa considerando que dentro de la propiedad hay un sistema de calefacción y aire acondicionado que mantiene las condiciones de confort.



**Figura 4.4: Temperaturas en la vivienda de San Juan de la Costa**

En la Figura 4.5 se muestra el comportamiento del sistema de regulación de temperatura con respecto a la temperatura exterior a la que está sometida la vivienda. La demanda en calefacción comienza a ser más recurrente en los últimos días de marzo y se extiende hasta finales de noviembre. Finalmente, en la Figura 4.6 se puede observar la demanda energética en calefacción acumulada a lo largo de los meses, siendo de 15,238 [kWh].



**Figura 4.5: Condiciones térmicas a las que está sometida la vivienda en San Juan de la Costa**

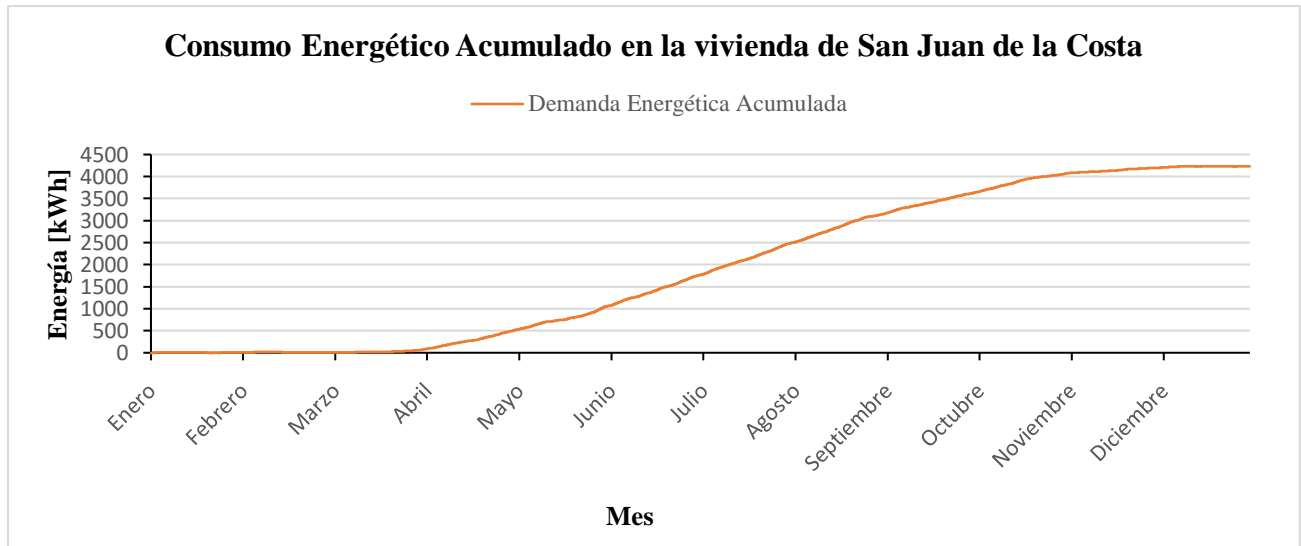


Figura 4.6: Consumo acumulado de energía en San Juan de la Costa

#### 4.5 Sistema de Calefacción

La bomba de calor aire-aire es utilizada para calefaccionar viviendas y su rendimiento depende de las condiciones climáticas a las que esté sometida. Para escoger el mejor equipo para cada una de las localidades se debe considerar la demanda máxima en calefacción para cada ciudad, de esta forma, existe seguridad en que se cumplen los requerimientos durante todo el año. En la Tabla 4.1 se presenta un resumen de las condiciones obtenidas del apartado anterior.

Tabla 4.6: Tabla resumen de demanda de calefacción

Localidad	Demanda total de energía [kWh]	Máxima potencia [kW]
Villarrica	4,694	2.58
San Juan de la Costa	4,228	2.79

Se selecciona el modelo 18HRDN1 de Midea [27] para su uso en las dos localidades. En la Tabla 4.7 se presentan las principales características en calefacción de la bomba de calor.

Tabla 4.7: Características bomba de calor aire - aire

Característica	Valor
Capacidad	18,000 [BTU/h]
Potencia de entrada	1,591 [W]
COP nominal	3,22
Temperatura de operación	17 – 32 [°C]
Temperatura ambiente interior	0 – 30 [°C]
Temperatura ambiente exterior	-15 – 30 [°C]

Luego, el consumo eléctrico de las dos bombas de calor se obtiene a partir de la Ecuación (5) y los resultados de energía consumida se presentan en la Tabla 4.8.

$$COP = \frac{Q}{W} \quad (5)$$

**Tabla 4.8: Consumo de energía por bombas de calor**

<b>Localidad</b>	<b>Consumo de energía [kWh]</b>
Villarrica	1,458
San Juan de la Costa	1,313

## CAPÍTULO 5: Sistema de obtención de agua

Dentro de las opciones planteadas en el marco teórico, se escoge la instalación de una puntera como fuente de agua potable y la recuperación de agua lluvia para abastecer de agua aquellos usos que no necesariamente requiere agua potable. Cabe mencionar que no se considera el agua gris debido a que en Chile los usos que se le puede dar a este tipo de agua son menores que el de agua lluvias, además, por leyes no se pueden mezclar ambos tipos de agua en el almacenamiento final, por lo que aumentaría el costo de inversión.

### 5.1 Instalación de sistema de aprovechamiento de aguas pluviales

#### 5.1.1 Precipitaciones en las localidades

De acuerdo con Meteoblue, un sitio web que entrega los diagramas climáticos basándose en 30 años de datos meteorológicos, en San Juan de la Costa se tiene un promedio anual de 172 [mm] de precipitaciones mensuales, registrándose el mayor volumen en el mes de junio con 321 [mm] y la menor en febrero con 69 [mm]. En cuanto a Villarrica, el promedio de precipitaciones mensuales corresponde a 272 [mm], siendo junio el mes que más precipitaciones tiene con un total de 619 [mm] y enero el mes más seco con 80 [mm]. Estos datos son presentados en mayor detalle en la Figura 5.1.

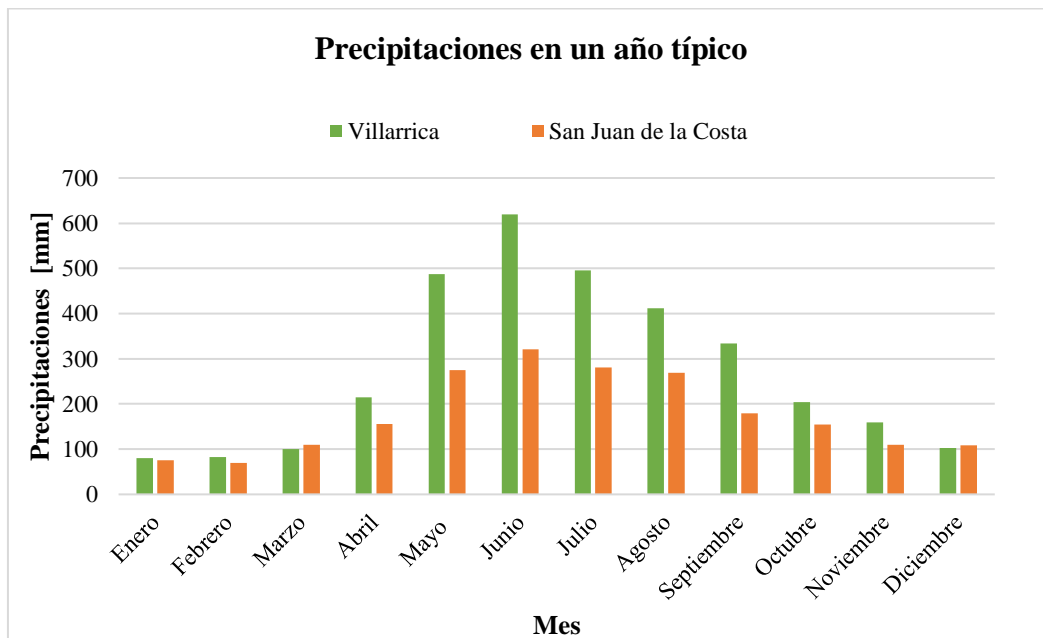


Figura 5.1: Precipitaciones en San Juan de la Costa

### 5.1.2 Cálculo volumen de depósito

Se parte calculando la demanda anual de agua no potable a través de la Ecuación (1), donde se considera la cantidad de agua para usos de descarga de inodoros, limpieza y riego de jardín. Los valores anuales obtenidos se presentan en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1: Demanda anual de agua no potable en litros**

Concepto	Valor
Descarga de inodoro	80,300
Riego de Jardín	42,500
Lavadora	14,580
<b>Demanda total</b>	<b>137,380</b>

La oferta se obtiene para cada vivienda por separado, considerando el área del techo de la casa como superficie de captación y la pluviometría anual de cada localidad. Los valores son calculados mediante la Ecuación (2) y se presentan en la Tabla 5.2.

**Tabla 5.2: Oferta anual de agua no potable en litros**

Concepto	San Juan de la Costa	Villarrica
Superficie [m <sup>2</sup> ]	81.7	60.2
Coefficiente de captación	0.6	0.6
Pluviometría [l/m <sup>2</sup> ]	2,069	3,266
<b>Oferta total [l]</b>	<b>100,801</b>	<b>117,968</b>

Se considera el menor valor entre la demanda y la oferta en cada caso para obtener el volumen del depósito. Además, se considera que el periodo entre lluvias significativas es de 35 días y un 20% de sobredimensionamiento debido a pérdidas de volumen útil. La dimensión del depósito se obtiene a partir de la Ecuación (3) y se muestran los resultados en la Tabla 5.3.

**Tabla 5.3: Volumen del estanque de almacenamiento**

Concepto	San Juan de la Costa	Villarrica
Demanda	100,801	117,968
Factor de dimensionamiento	1.2	1.2
Periodo de retorno	35	35
<b>Volumen del depósito [l]</b>	<b>11,599</b>	<b>13,574</b>

## CAPÍTULO 6: Cálculo agua caliente sanitaria

Con el objetivo de abastecer la casa con agua caliente sanitaria, se escoge la bomba de calor aire-agua. Para seleccionar el equipo, es necesario conocer la capacidad de calentamiento de agua que requiere la vivienda, donde el primer paso es obtener el perfil de consumo de agua caliente del hogar. Este perfil se muestra en la Tabla 6.1.

**Tabla 6.1: Perfil de consumo de agua caliente**

Hora	Consumo [l]	Hora	Consumo [l]
0	0	12	15
1	0	13	15
2	0	14	15
3	0	15	0
4	0	16	0
5	0	17	0
6	81.3	18	10
7	81.3	19	10
8	91.3	20	22
9	10	21	22
10	0	22	0
11	0	23	0
Total diario		373	

Luego, el calor aportado por la bomba de calor se calcula a través de la Ecuación (6), donde  $\dot{m}$  corresponde al flujo másico del agua obtenido a partir del perfil de consumo,  $c_p$  el calor específico del agua,  $T_{out}$  la temperatura de consumo correspondiente a 45 [°C] y  $T_{in}$  la temperatura del agua a la entrada de la bomba de calor, en donde se considera 10 [°C] como el caso más desfavorable.

$$\dot{Q}_c = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (6)$$

La capacidad de calentamiento de la bomba de calor se escoge de acuerdo con máximo calor aportado por el equipo obtenido por la Ecuación (6). Finalmente, el consumo eléctrico se calcula mediante la Ecuación (7).

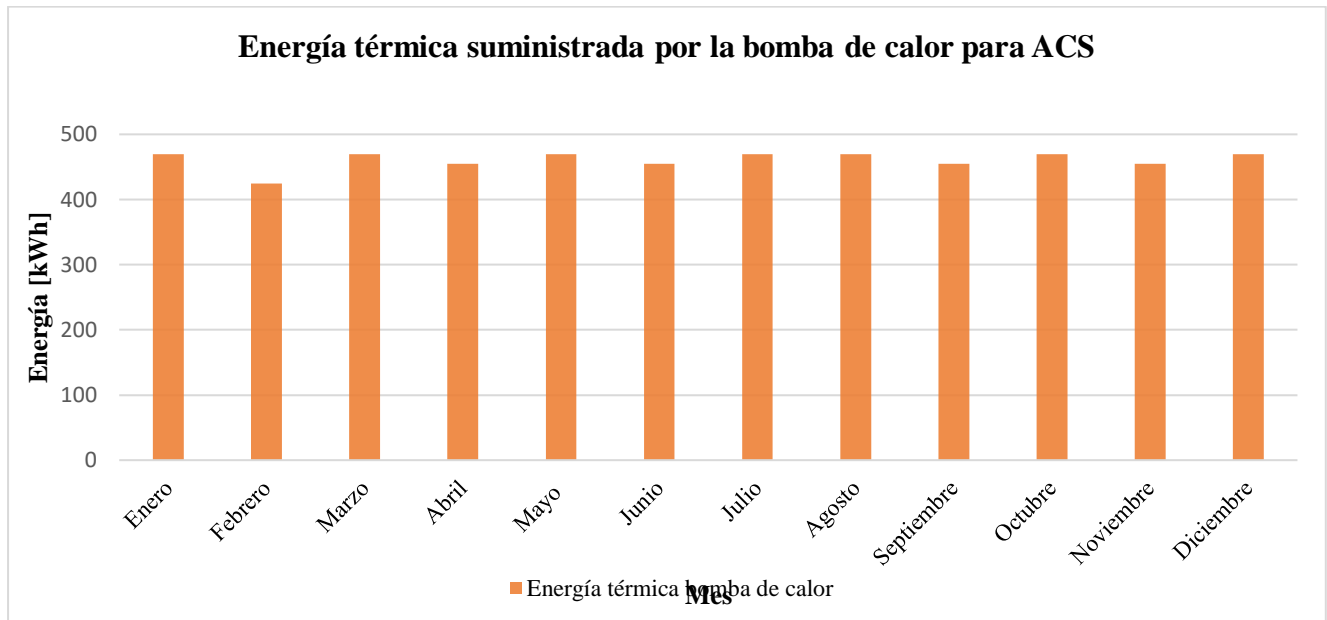
$$\dot{Q}_e = \frac{\dot{Q}_c}{COP} \quad (7)$$

Donde el COP de la bomba de calor varía de acuerdo con la temperatura del aire. La curva es proporcionada por los fabricantes del equipo.

Se utiliza el mismo perfil de consumo de agua para ambas viviendas y se obtiene que la máxima energía térmica requerida es de 470 [kW], donde el máximo valor por hora es de 3.71 [kW]. En la

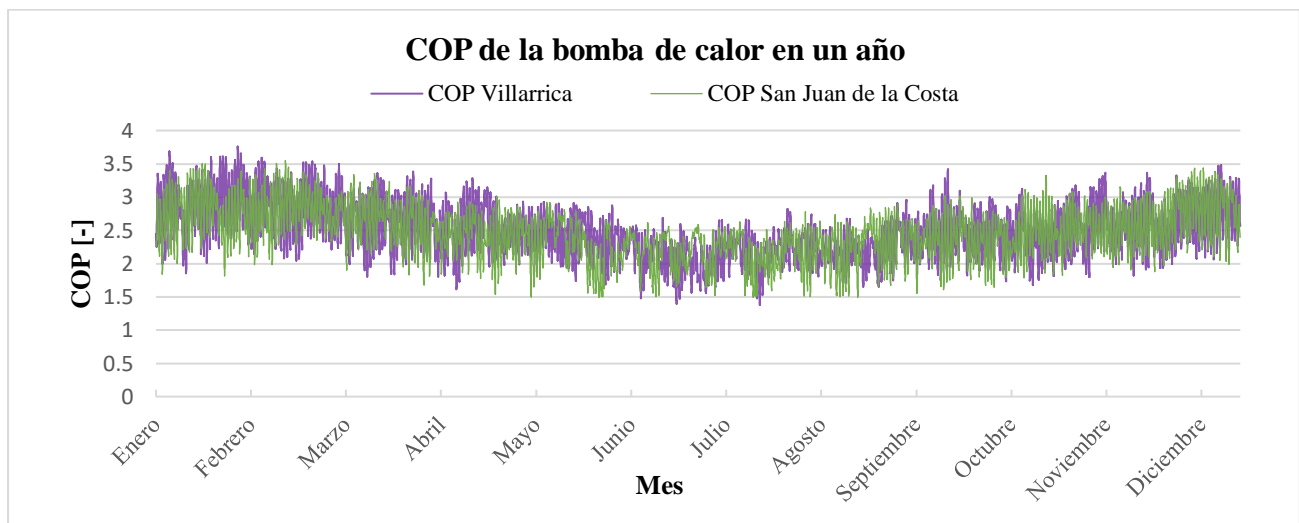
Figura 6.1 se presenta la cantidad de energía térmica mensual que se requiere para calentar el agua de la casa.

**Figura 6.1: Energía térmica anual suministrada por la bomba de calor para ACS**



Dado a que el máximo valor de capacidad que se requiere es de 3.71, se escoge el modelo de bomba de calor GIA-ATS-O-500VAX cuya capacidad es de 4 [kW]. Para estimar el gasto energético, se obtiene el COP de la bomba de acuerdo con la temperatura exterior de la respectiva localidad. En la Figura 6.2 se muestra la variación del COP para Villarrica y San Juan de la Costa, donde los valores más bajos son de 1.5 en los meses de invierno y los más altos de 3.6 para los de verano.

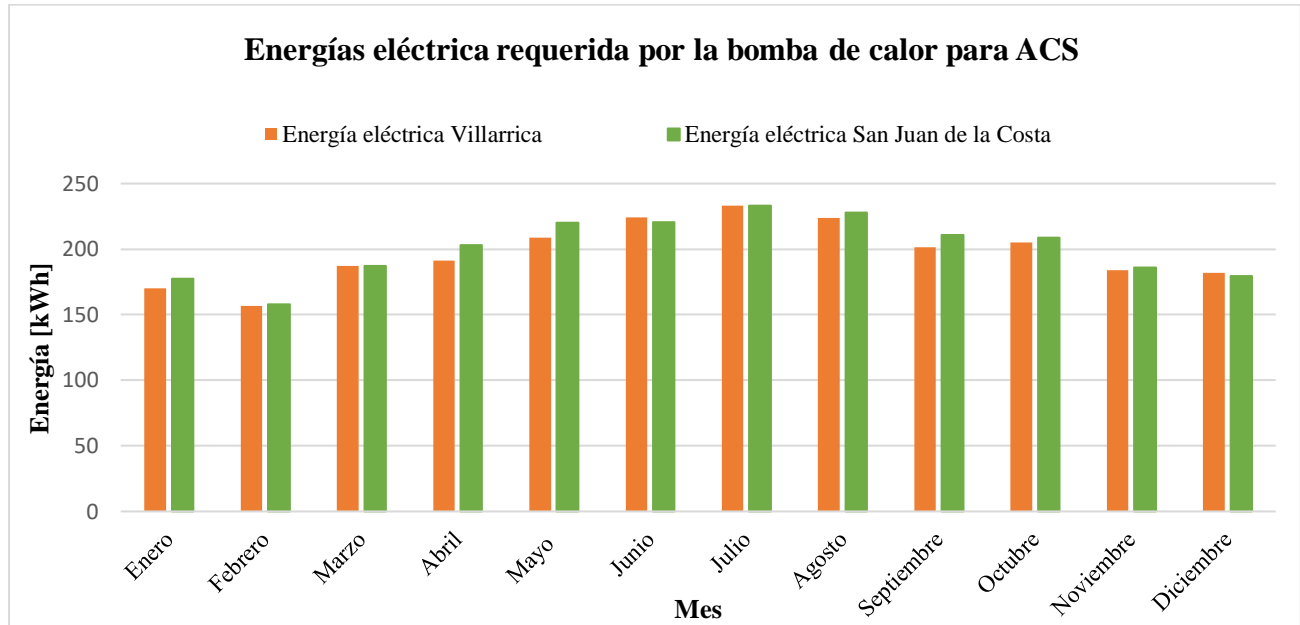
**Figura 6.2: Variación del COP de la bomba de calor**





Finalmente, se obtiene la energía eléctrica que requiere la bomba de calor para funcionar. Los resultados se presentan en la Figura 6.3, donde el mayor gasto ocurre en el mes de Julio con 233 [kW] y el menor consumo en febrero con aproximadamente 157 [kW].

**Figura 6.3: Energía eléctrica necesaria para el uso de la bomba de calor en ACS**



## CAPÍTULO 7: Cálculo Paneles Fotovoltaicos

Para el cálculo de la energía aportada por los paneles solares, se considera la energía eléctrica requerida para el funcionamiento de las bombas de calor en ACS y calefacción, el consumo eléctrico por los aparatos al interior del domicilio, y, como se trata de una zona rural, se agregan los 558 [kWh] que consume una motobomba en promedio para agua potable o riego.

En la Figura 7.1 se presenta la cantidad de energía eléctrica que se consume en cada una de las viviendas, siendo el mes de julio el mes con mayor consumo para ambas localidades. Anualmente, en San Juan de la Costa se requiere de 6,515 [kW] mientras que en Villarrica se necesitan 6,176 [kW].

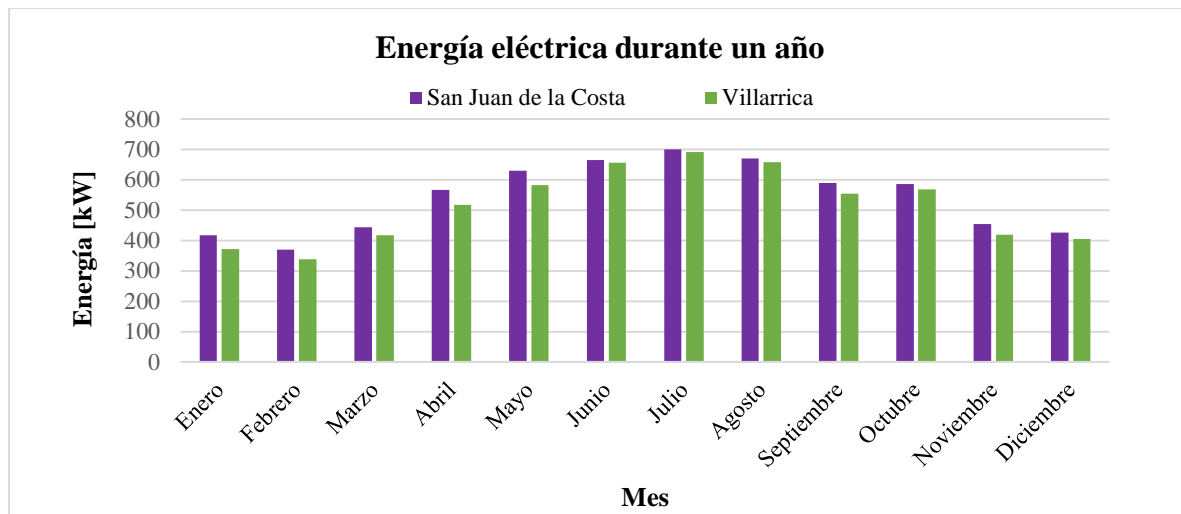


Figura 7.1: Energía eléctrica anual

Se utiliza el modelo de panel fotovoltaico DHT-M60X10 de potencia máxima de 460 [Wp] de la marca Anhui Sine [41] cuyas principales características se presentan en el ANEXO C

, y, la generación eléctrica se obtiene a partir de la Ecuación X, donde R corresponde a la radiación, A es el área del panel y  $\eta$  el rendimiento nominal del PV.

$$GE = R \cdot A \cdot \eta \quad (8)$$

Los resultados de la radiación se calculan hora a hora considerando un año típico compuesto por meses típicos e inclinación igual a la latitud de cada localidad. Los resultados se presentan en la Tabla 7.1 para Villarrica, en donde se consideran 10 paneles fotovoltaicos para suplir el total de energía consumida en el hogar, mientras que para San Juan de la costa se muestran en la Tabla 7.2 utilizando un total de 11 PV.

Tabla 7.1: Energía eléctrica Villarrica

Mes	Energía generada [kWh]	Energía consumida [kWh]	Uso directo [kWh]	Venta de energía [kWh]	Compra de energía [KWh]

Enero	972.0	371.5	186.8	785.2	184.7
Febrero	746.7	338.4	151.1	595.5	187.3
Marzo	624.9	416.2	146.2	478.7	270.0
Abril	351.8	516.8	133.2	218.6	386.6
Mayo	213.1	582.7	119.7	93.4	462.9
Junio	139.4	656.0	95.7	43.7	560.4
Julio	138.5	690.5	94.6	43.8	595.9
Agosto	238.0	658.5	126.1	111.9	532.4
Septiembre	480.7	554.5	176.5	304.2	378.0
Octubre	635.8	567.6	220.0	415.8	347.6
Noviembre	797.8	417.9	192.5	605.3	225.4
Diciembre	938.5	405.4	201.3	737.1	204.0
<b>ANUAL</b>	<b>6,277.2</b>	<b>6,176.0</b>	<b>1,843.8</b>	<b>4,433.3</b>	<b>4,332.2</b>

**Tabla 7.2: Energía eléctrica San Juan de la Costa**

<b>Mes</b>	<b>Energía generada [kWh]</b>	<b>Energía consumida [kWh]</b>	<b>Uso directo [kWh]</b>	<b>Venta de energía [kWh]</b>	<b>Compra de energía [KWh]</b>
Enero	1,074.9	416.9	206.7	868.2	210.2
Febrero	824.4	370.0	164.8	659.5	205.1
Marzo	690.7	442.7	162.6	528.1	280.0
Abril	390.9	567.1	142.4	248.6	424.8
Mayo	236.0	629.4	119.6	116.4	509.8
Junio	153.8	664.4	101.7	52.2	562.8
Julio	152.8	700.2	95.7	57.1	604.5
Agosto	261.5	670.2	122.3	139.2	547.9
Septiembre	531.6	589.1	182.0	349.6	407.2
Octubre	700.3	585.4	221.1	479.2	364.2
Noviembre	880.5	454.8	210.8	669.7	244.0
Diciembre	1,030.2	425.7	216.0	814.1	209.7
<b>ANUAL</b>	<b>6,927.6</b>	<b>6,515.9</b>	<b>1,945.7</b>	<b>4,981.9</b>	<b>4,570.2</b>

## CAPÍTULO 8: Evaluación económica

### 8.1 Caso base

Como caso base, se considera que las viviendas reciben su agua a través de camiones aljibes, se calefaccionan utilizando leña, el agua caliente sanitaria es obtenida mediante uso de gas licuado y la luz se obtiene directamente de la red de distribución.

Se considera que dentro de una vivienda se consumen 150[l/hab-día], por lo que el total de agua que requieren ambas casas es de 600 [l/hab-día]. El valor del litro de agua se obtiene mediante el informe Amulén, donde el valor de litro de agua por medio informal es de \$150.

En el caso de la calefacción, se debe calcular la cantidad de leña para obtener el gasto anual. Se decide utilizar eucalipto cuyo PCI corresponde a 3.9 [kWh/kg] [42], por lo que la cantidad anual de leña se obtiene a partir de la Ecuación (9) considerando que la estufa tiene un rendimiento de un 70%. Cabe señalar, que, de acuerdo con el SERNAC, el valor más alto de leña corresponde a 252 [\$/kg] [43].

$$Masa\ leña = \frac{Demanda\ térmica}{PCI \cdot \varepsilon} \quad (9)$$

Para el agua caliente sanitaria, se considera como caso base el uso de gas licuado. El cálculo de la cantidad de gas requerida se obtiene a partir de la Ecuación (9), en donde el rendimiento es el de un calefón de 13 L correspondiente a 90% (Modelo Anwo VAN 13L) y el PCI es de 13.14 [kWh/kg] [44].

En cuanto a la electricidad, se obtienen las tarifas de las distribuidoras para cada localidad, siendo CGE la distribuidora en Villarrica y Luz Osorno de San Juan de la Costa.

Lo ahorrado en cada concepto se presenta en la Tabla 8.1 y en la Tabla 8.2 para el caso de Villarrica y San Juan de la Costa, respectivamente.

**Tabla 8.1: Costo de servicios básicos anuales en la vivienda base de Lefun**

Concepto	Consumo	Valor	Gasto anual
Agua	100,801 [l/año]	150 [\$/l]	\$ 15,120,150
Calefacción	1,719.4 [kg]	252 [\$/kg]	\$ 433,292
ACS	467.8 [kg]	2,130 [\$/kg]	\$ 996,365
Electricidad	2,350 [kWh]	110.9 [\$/kWh]	\$261,739
			<u>\$16,811,546</u>

**Tabla 8.2: Costo de servicios básicos anuales en la vivienda base de San Juan de la Costa**

Concepto	Consumo	Valor	Gasto anual
Agua	117,968 [l/año]	150 [\$/l]	\$ 17,695,200
Calefacción	1,548.7 [kg]	252 [\$/kg]	\$ 390,277
ACS	467.8 [kg]	2,074 [\$/kg]	\$ 970,355
Electricidad	2,791 [kWh]	140.6 [\$/kWh]	\$393,511
			<b>\$19,449,343</b>

## 8.2 Costos de inversión, operación y mantenimiento

### 8.2.1 Costos de inversión

Para los costos de inversión sólo se consideran los equipos que están presentes en los sistemas de recolección de agua, ACS, calefacción y generación de electricidad.

En la Tabla 8.3 se presentan los valores de los distintos equipos utilizados para abastecer de servicios básicos las viviendas.

**Tabla 8.3: Costo de equipos**

Concepto	Valor
Bomba de calor aire-aire 18HRDN1 de Midea [45]	\$ 699,990
Estanque acumulador de agua 15,000 [l] y KIT de bomba de agua [46]	\$1,335,704
Bomba de calor aire-agua modelo GIA-ATS-O-500VAX [47]	\$3,356,769
Paneles fotovoltaicos DHT-M60X10 [48]	\$1,950,000
<b>7,342,463</b>	

### 8.2.2 Costos de operación y mantenimiento

En el caso de los costos por operación y mantención, estos se obtienen de dos fuentes distintas. En el caso de las bombas de calor, el dato es obtenido a partir del documento “Índice de precios: Bombas de calor geotérmicas y aerotérmicas en Chile” el cual fue publicado el año 2020 por el Ministerio de Energía [49]. Los costos debido a los paneles FV se obtienen del análisis de precios unitarios de mantenimiento efectuado por el Ministerio de Energía el año 2015, en donde se estiman en base a un precio referencial de \$ 1,616 por kWp de limpieza [50]. Estos valores son mostrados en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4: Costo de operación y mantenimiento

Concepto	Valor
Operación y mantenimiento bomba de calor	\$ 60,000
Operación y mantenimiento PV	\$ 102,433

### 8.3 Flujo de caja

Para el análisis económico, se considera que los equipos tienen una vida útil de 15 años, y, se calcula el VAN y la TIR con una tasa de descuento del 6%.

Se consideran dos casos de estudio: considerando el ahorro de dinero al instalar un sistema de recolección de agua y sin considerar este ahorro. Para mayor detalle, se presentan los flujos de caja en el ANEXO D.

Tabla 8.5: Resumen de flujo de caja

Flujo de caja	VAN	TIR	Periodo de retorno
Lefun con ahorro por agua lluvia	\$ 154,357,868	226.75 %	0.44
Lefun sin ahorro por agua lluvia	\$7,507,206	19.36%	4.34
San Juan de la Costa con ahorro por agua lluvia	\$179,976,809	262.68%	0.37
San Juan de la Costa sin ahorro por agua lluvia	\$8,116,621	20.33%	4.19

## CAPÍTULO 9: Conclusiones

Respecto al consumo en calefacción, si bien ambas localidades fueron escogidas debido a que representan dos zonas climáticas diferentes, las temperaturas entre San Juan de la Costa y Villarrica no presentan una variación significativa. En ambos casos, debido a bajas temperaturas, se requiere calefaccionar entre marzo a noviembre, siendo este un periodo más largo al de invierno.

Villarrica requiere aproximadamente 400 [kWh] anuales de energía térmica más que San Juan de la Costa para mantener las condiciones de confort dentro del hogar, mientras que San Juan de la Costa necesita de un equipo de mayor potencia que en Lefun. Esto se debe principalmente a que, si bien la vivienda típica en la región de la Araucanía es de dimensiones más grandes, no está sometida a temperaturas tan bajas como la vivienda típica de la región de Los Lagos.

En cuanto al agua, el uso de sistemas de recolección de aguas pluviales en sectores donde se requiere de camiones aljibes es de bastante utilidad. Si bien no se logra abastecer el 100% de los usos del agua no potable utilizando el techo de la vivienda, se cubre más del 75% de la demanda en ambos casos estudiados, lo cual se traduce a un ahorro anual de \$15,120,150 en Villarrica y \$17,695,200 en San Juan de la Costa. Este valor es sin mencionar el aporte que produce la obtención de agua mediante aguas subterráneas como método complementario, el cual podría llegar a un ahorro promedio de \$22,000,000 extras. Cabe mencionar, que para abastecer completamente el agua no potable con agua lluvia, se podría cambiar el sistema de obtención mediante techo a uno en una ladera, sin embargo, los costos para la habilitación del sector son mayores.

La energía eléctrica anual generada por los paneles fotovoltaicos es de 627.7 [kWh] y 692.8 [kWh] en Lefun y San Juan de la Costa, respectivamente, por lo que para suplir toda la energía requerida en la vivienda en cuanto a consumo por aparatos eléctricos y bombas de calor se necesitan de 10 paneles fotovoltaicos. En ambos casos sólo se usa directamente aproximadamente un 30% de la energía eléctrica generada, por lo que el resto se obtiene a partir de la red de distribución, y, la energía no consumida, se vende a la misma red. Esto afecta principalmente al estudio económico debido a que el precio de venta es menor al precio de compra de energía.

Finalmente, instalar en estas viviendas bombas de calor para calefacción y agua caliente sanitaria en conjunto con los paneles fotovoltaicos es rentable, siendo el periodo de retorno de 4.34 años en Villarrica y 4.19 años en San Juan de la Costa. Si bien la inversión que se requiere es la misma en ambos casos, es más conveniente San Juan de la Costa debido a que el valor ahorrado en electricidad es mayor, esto debido a que el valor por kWh es mayor en la región de Los Lagos es mayor a la de la región de la Araucanía. Además, en el caso que se quisiera llevar a cabo un proyecto considerando también la obtención de agua, este sería aún más rentable debido a que se recupera el dinero invertido en menos de un año. Esto es gracias a que el valor que se requiere para abastecer las viviendas con agua potable mediante un camión aljibe es muy alto, sobrepasando a la inversión del proyecto.

## Referencias

- [1] N. Caus, «¿Qué es la pobreza?,» Manos Unidas, Madrid.
- [2] Naciones Unidas, «Objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.,» [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/poverty/>. [Último acceso: 2022 Octubre 28].
- [3] C. Amigo Jorquera, R. Calvo Gallardo, A. Cortés Fuentes y A. Urquiza Gómez, “*Pobreza Energética. El acceso desigual a energía de calidad como barrera para el desarrollo en Chile*”, Santiago, Chile: Red de Pobreza Energética, Universidad de Chile, 2019.
- [4] División de Acceso y Desarrollo Social, «Mapa de Vulnerabilidad Energética: "Síntesis metodológica y resultados",» Ministerio de Energía, Santiago, Chile, 2019.
- [5] Observatorio Social, «CASEN 2017: Vivienda y Entorno,» Ministerio de Desarrollo Social, Santiago, Chile, 2018.
- [6] Amulén, «Pobres de agua, radiografía del agua rural del Chile: Visualización de un problema oculto,» Santiago, Chile, 2019.
- [7] Yáñez, C., Fissore, A., & Leiva, A, «Informe final de usos de la Energía de los hogares de Chile 2018,» Santiago, 2019.
- [8] CDT, «Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera,» Ministerio de Energía, Santiago, Chile, 2015.
- [9] Ministerio de Energía, «Estrategia de transición energética residencial,» Santiago, Chile, 2020.
- [10] L. Guillermo, «Estudio térmico del Edificio de Ingeniería Civil de la Universidad de Chile,» Santiago, Chile, 2008.
- [11] Besser, Daniela ; Bobadilla, Ariel ; Díaz, Muriel ; Figueroa, Rodrigo ; Guzmán, Freddy ; Muñoz, Cristián ; Piderit, María Beatriz ; Trebilcock, Maureen., «Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos,» Ministerio de Educación ; Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, 2012.
- [12] Ministerio del Medio Ambiente, «Guía de Calefacción Sustentable,» Santiago, Chile, 2020.
- [13] Gobierno de Chile, «Lanzan el primer Mapa de Vulnerabilidad Energética que revela que en Chile 30 mil familias viven sin electricidad,» <https://www.gob.cl/noticias/lanzan-el-primer-mapa-de-vulnerabilidad-energetica-que-revela-que-en-chile-30-mil-familias-viven-sin-electricidad/>, 28 Mayo 2019. [En línea]. [Último acceso: 11 Abril 2023].



- [14] Ministerio de Energía, «Ruta de la luz: "Uniendo Chile con Energía",» Santiago, Chile, 2022.
- [15] Unidad de Sanamiento Sanitario, SUBDERE, «Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural,» Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, 2018.
- [16] AQUA España, «Guía Técnica de recomendaciones para el reciclaje de aguas grises en edificios,» España, 2016.
- [17] AQUA ESPAÑA, «Guía técnica de aprovechamiento de aguas pluviales en edificios,» 2016.
- [18] A. P. Sanhueza, «La problemática jurídica y humana en la distribución de agua potable por aljibes,» *Eco-Reflexiones*, vol. Vol.III, nº 1, 2023.
- [19] Ambipar environment, «Abastecimiento de agua potable,» [En línea]. Available: <https://disal.cl/tienda-ambipar/abastecimiento-de-agua-potable/abastecimiento-de-agua-potable/>. [Último acceso: 28 06 2023].
- [20] L. R. Pérez, «Conducción por gravedad,» [En línea]. Available: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/conducci%C3%B3n-por-gravedad>. [Último acceso: 28 junio 2023].
- [21] Comité de Agua Potable Rural Aguas Buenas, «Manual de Operación Técnica de Agua Potable Rural,» Concepción, Chile, 2021.
- [22] Asociación Salvadoreña de Ingenieros y Arquitectos, «Proceso de construcción y validación de norma técnica para regular el abastecimiento de agua y saneamiento rural,» Ministerio de Salud, El Salvador, 2015.
- [23] Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura., «Captación y almacenamiento de agua lluvia: opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe,» Santiago, Chile, 2013.
- [24] Gobierno de Chile, «Fondo social presidente de la república 2015 (FSPR),» Proyectos agua potable rural, Santiago, 2015.
- [25] O. Lagos, H. Uribe y Y. Okuda, «Fuentes de Agua,» Instituto de investigaciones agropecuarias, Chillán, Chile, 2004.
- [26] Phi - LAC, «Manual de diseño y construcción de sistemas de captación de aguas lluvias en zonas rurales de Chile,» UNESCO, Talca, Chile, 2015.
- [27] SERNAC, «Consumo de Agua,» 12 junio 2003. [En línea]. Available: <https://www.sernac.cl/porta/607/w3-article-1576.html>. [Último acceso: 26 abril 2023].

- [28] División de Evaluación Social de Inversiones, «Metodología de Preparación y Evaluación Social de Proyectos de Agua Caliente Sanitaria Domiciliaria,» Ministerio de Desarrollo Social y Familia, Santiago, Chile, 2019.
- [29] GIZ, «Bombas de Calor: Una Guía para el Usuario,» Ministerio de Energía, Santiago, Chile, 2020.
- [30] MINERGIA, GEF, PNUD, CDT, «Sistemas Solares Térmicos II: Guía de Diseño e Instalación para Grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria,» Santiago, Chile, 2010.
- [31] A. Fissore, «Adecuación de las zonas térmicas de la propuesta NTM11-2 en la CEV».
- [32] Ilustre Municipalidad de San Juan de la Costa, «Proyecto de desarrollo local para San Juan de la Costa 2017 - 2021,» San Juan de la Costa, Chile.
- [33] Pontificia Universidad Católica de Chile, CEDEL-UC, Universidad Católica de Temuco, «Plan de Desarrollo Comunal Villarrica 2011-2020,» Ilustre Municipalidad de Villarrica, Villarrica, Chile, 2011.
- [34] P. Cuevas, R. Aymani y M. I. Guzmán, «Capítulo 4: ¿Sabes cuánta agua consumes diariamente?,» Diplomado Periodismo Digital UC, 29 Junio 2018. [En línea]. Available: <http://dpd.comunicaciones.uc.cl/2018/sabes-cuanta-agua-consumes-diariamente/>. [Último acceso: 28 julio 2023].
- [35] I. Díaz y C. Martínez, «Hasta la última gota: los malabares de Claudina para administrar el agua que recibe de camiones aljibe,» Udp Escuela de Periodismo, San Juan de la Costa, 2020.
- [36] W. González, «Cómo se enfrenta el déficit hídrico en San Juan de la Costa,» País Lobo, 2020.
- [37] Municipalidad de Villarrica, «Cuenta pública 2020 Villarrica,» Villarrica, 2020.
- [38] CDT; CChC, «Manual Acondicionamiento Térmico: Criterios de intervención,» Santiago, Chile, 2015.
- [39] MINVU - DITEC, «Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo,» Santiago, Chile, 2014.
- [40] Ministerio de Vivienda y Urbanismo, «NTM 011/2 2014,» de *Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higratérmico*, Santiago, 2014.
- [41] Solar Store, «Panel Solar 460w 48V Mono DAH SOLAR HV,» [En línea]. Available: <https://www.solarstore.cl/producto/panel-solar-460w-48v-mono-dah-solar-hv/#tab-specification>.

- [42] B2wood, «Poder calorífico inferior,» 2019. [En línea]. Available: <https://es.b2wood.com/informaci%F3n-y-noticias/la-informacion/la-tabla-con-un-poder-calorifico-inferior-de/>.
- [43] SERNAC, «BOLETÍN DE PRECIOS Y PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE SEGURIDAD EN EL CONSUMO DE LEÑA SECA,» Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Santiago, Chile, 2018.
- [44] Topten, «Calefones,» [En línea]. Available: [https://topten.cl/private/products/water\\_heater](https://topten.cl/private/products/water_heater).
- [45] Clima Seguro, «AIRE ACONDICIONADO SPLIT MURO MIDEA XTREME SAVE 18000 BTU INVERTER,» [En línea]. Available: <https://www.climaseguro.cl/store/producto-details.asp?prdId=10201>.
- [46] Bioplastic, «ESTANQUE VERTICAL ESTANDAR 15000 LTS,» [En línea]. Available: <https://www.bioplastic.cl/producto/estanque-vertical-estandar-15000-lts-evs15000>.
- [47] Mercaclima, «Acumulador Aerotérmico Giatsu GIA-ATS-O-500VAX,» [En línea]. Available: <https://www.mercaclima.es/p9607255-acumulador-aerotermico-giatsu-gia-ats-o-500vax-wifi-incluido.html>.
- [48] Solar store, «Panel Solar 460w 48V Mono DAH SOLAR HV,» [En línea]. Available: <https://www.solarstore.cl/producto/panel-solar-460w-48v-mono-dah-solar-hv/#tab-specification>.
- [49] Ministerio de Energía, «Índice de precios: Bombas de calor geotérmicas y aerotérmicas en Chile,» Santiago, Chile, 2020.
- [50] Ministerio de Energía, «Análisis de precios unitarios de mantenimiento,» Santiago, Chile, 2015.
- [51] Ministerio de Salud, «Proyecto de reglamento sobre condiciones sanitarias básicas para la reutilización de aguas grises,» Santiago, Chile.
- [52] MINVU, «Estándares de construcción sustentable para viviendas de Chile Tomo II: Energía,» Gobierno de Chile, Santiago, Chile, 2018.
- [53] Bustamante Gómez, Waldo ; Rozas Ubilla, Yoselin ; Encinas Pino, Felipe ; Martinez, Paula ; Cepeda, Rodrigo, «Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social,» Ministerio de Vivienda y Urbanismo, División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (MINVU) y Programa País de Eficiencia Energética (CNE), Santiago, Chile, 2009.
- [54] División de Acceso y Desarrollo Social, «Mapa de Vulnerabilidad Energética: "Síntesis metodológica y resultados",» Ministerio de Energía, Santiago, Chile, 2019.
- [55] ASHRAE, Fundamentals Handbook, Atlanta, USA, 2017.

## Anexo A: Parámetros de calidad para las aguas grises.

Tabla A.1: Parámetros de calidad uso de aguas grises para usos urbanos [51]

Parámetro	Unidad	Límite máximo
DBO <sub>5</sub>	mg/l	10
SST	mg/l	10
CF	UFC/ 100 ml	10
Turbiedad	UNT	5
Cloro libre residual	mg/l	$0.5 \leq X \leq 2$

Tabla A.2: Parámetros de calidad uso de aguas grises para riego de áreas recreativas y de servicio [51]

Parámetro	Unidad	Riego superficial	Riego subsuperficial
DBO <sub>5</sub>	mg/l	30	240
SST	mg/l	30	140
CF	UFC/ 100 ml	200	1000
Turbiedad	UNT	10	-
Cloro libre residual	mg/l	$0.5 \leq X \leq 2$	-

## Anexo B: Cálculo transmitancia térmica de piso.

El primer paso es calcular la longitud característica del edificio a partir de la siguiente ecuación. Donde A representa el área de la vivienda en contacto con el piso y P el perímetro de la vivienda.

$$B' = \frac{A}{1/2 P}$$

Luego se obtiene la resistencia térmica del material aislante de acuerdo con la siguiente ecuación, la cual relaciona el espesor del material con su conductividad térmica.

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

A partir de los resultados, se debe buscar la transmitancia térmica en la tabla que muestra la Figura B.1, donde D representa el ancho de la banda de aislamiento perimétrico.

B'	R <sub>s</sub>	D=0,50 m					D=1,0					D≥1,5m				
		R <sub>s</sub> (m²K/W)					R <sub>s</sub> (m²K/W)					R <sub>s</sub> (m²K/W)				
		0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
1	2,35	1,57	1,30	1,16	1,07	1,01	1,39	1,01	0,80	0,66	0,57	-	-	-	-	-
5	0,85	0,69	0,64	0,61	0,59	0,58	0,65	0,58	0,54	0,51	0,49	0,64	0,55	0,50	0,47	0,44
6	0,74	0,61	0,57	0,54	0,53	0,52	0,58	0,52	0,48	0,46	0,44	0,57	0,50	0,45	0,43	0,41
7	0,66	0,55	0,51	0,49	0,48	0,47	0,53	0,47	0,44	0,42	0,41	0,51	0,45	0,42	0,39	0,37
8	0,60	0,50	0,47	0,45	0,44	0,43	0,48	0,43	0,41	0,39	0,38	0,47	0,42	0,38	0,36	0,35
9	0,55	0,46	0,43	0,42	0,41	0,40	0,44	0,40	0,38	0,36	0,35	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
10	0,51	0,43	0,40	0,39	0,38	0,37	0,41	0,37	0,35	0,34	0,33	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
12	0,44	0,38	0,36	0,34	0,34	0,33	0,36	0,33	0,31	0,30	0,29	0,36	0,32	0,30	0,28	0,27
14	0,39	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,32	0,30	0,28	0,27	0,27	0,32	0,29	0,27	0,26	0,25
16	0,35	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,29	0,26	0,25	0,24	0,23
0,18	0,32	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,27	0,24	0,23	0,22	0,21
≥20	0,30	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,25	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25	0,22	0,21	0,20	0,20

Figura B.1: Transmitancia Térmica U de pisos en contacto con el terreno

Como los valores exactos de B' no se encuentran en la tabla, se interpolan los resultados y se muestran para cada valor de D en las Figuras B.2, B.3 y B.4 para valores cercanos a R = 2.00.

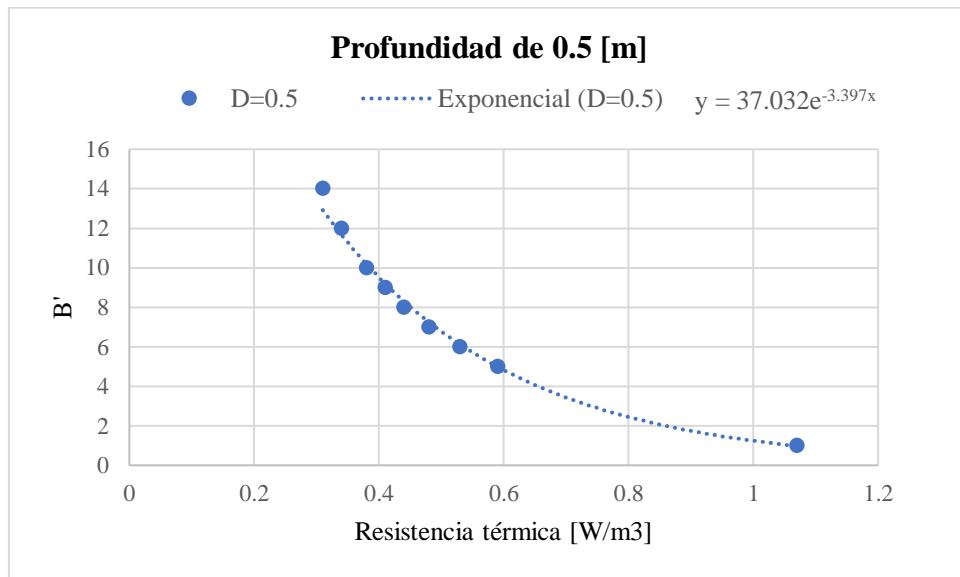
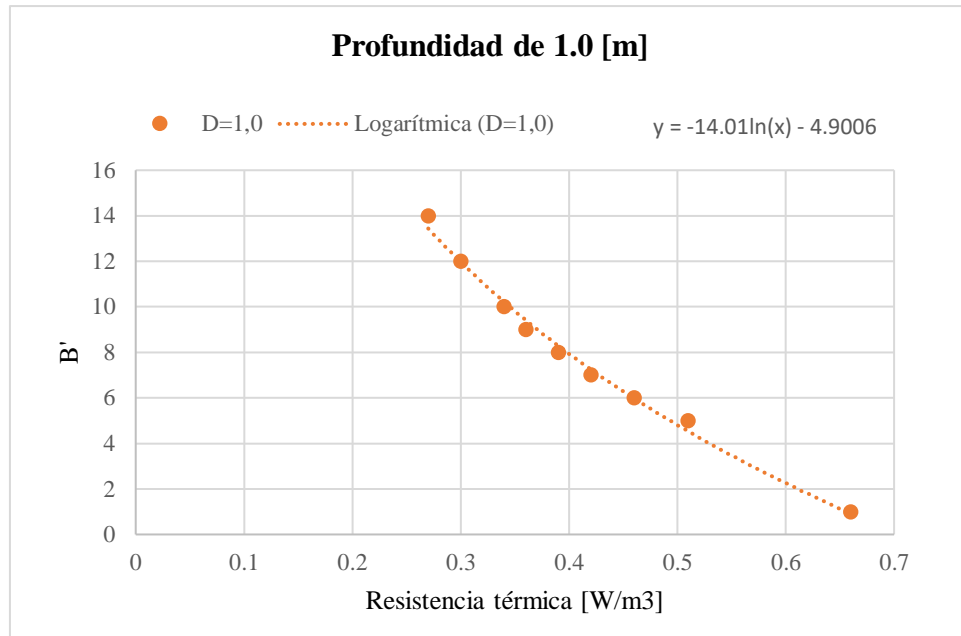
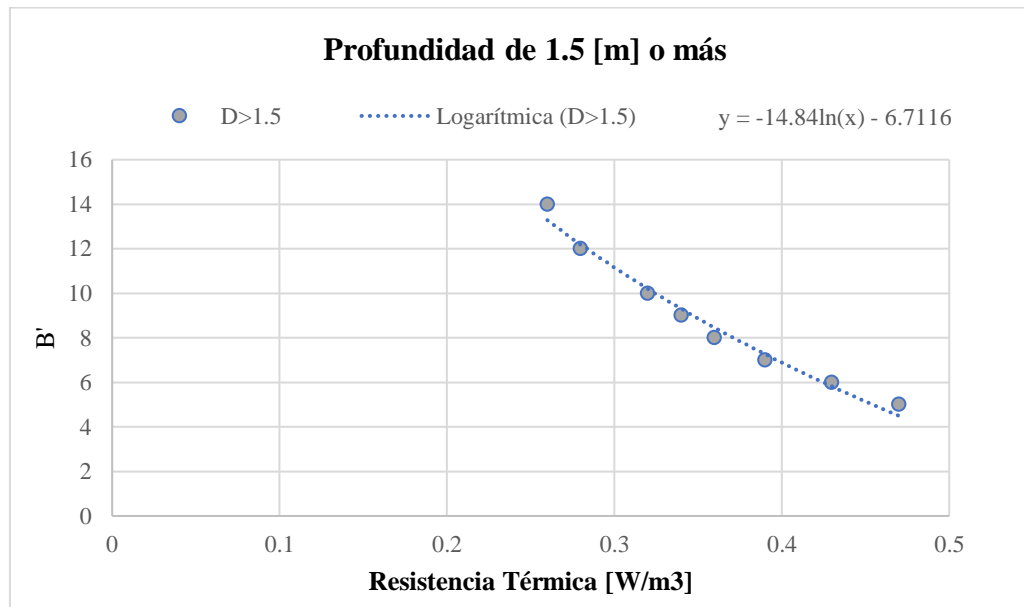


Figura B.2: Ancho de banda aislante de 0.5 [m]



**Figura B.3: Ancho de banda aislante de 1.0 [m]**



**Figura B.3: Ancho de banda aislante mayores o igual a 1.5 [m]**

## Anexo C: Características panel fotovoltaico

### Mechanical Specification

Output Cable (Including connector)	4.0mm <sup>2</sup> , 300/400mm in length, length can be customized
No.of Cells	180 (6×30)
Glass	3.2mm High Transmission, Antireflection Coating
Junction box	IP68, 3 Bypass Diodes
Connector	MC4 Compatible

### Operating Parameters

Maximum system voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum series fuse rating	20A
Snow load, frontside	5400Pa
Wind load, backside	2400Pa
Nominal operating cell temperature	43°C±2°C
Application level	Class A

### STC-Electrical Characteristics

Module Type	DHT-M60X10						
Maximum Power (Pmax)	430W	435W	440W	445W	450W	455W	460W
Open-circuit Voltage (Voc)	61.2V	61.4V	61.6V	61.8V	62.0V	62.2V	62.4V
Maximum Power Voltage (Vmp)	51.6V	51.8V	52.0V	52.2V	52.4V	52.6V	52.8V
Short-circuit Current (Isc)	8.95A	9.01A	9.07A	9.13A	9.19A	9.25A	9.31A
Maximum Power Current (Imp)	8.33A	8.40A	8.46A	8.52A	8.59A	8.65A	8.71A
Module Efficiency (%)	19.93%	20.16%	20.39%	20.62%	20.85%	21.08%	21.30%

Temperature Coefficient of Isc: 0.05%/°C / Temperature Coefficient of Voc: -0.31%/°C / Temperature Coefficient of Pmax: -0.35%/°C

Standard Test Environment : Irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, Cell temperature 25°C, Spectrum AM1.5

### NOCT-Electrical Characteristics

Maximum Power (Pmax)	324W	327W	331W	335W	339W	342W	346W
Open-circuit Voltage (Voc)	58.0V	58.2V	58.4V	58.5V	58.7V	58.9V	59.1V
Maximum Power Voltage (Vmp)	48.9V	49.1V	49.3V	49.4V	49.6V	49.8V	50.0V
Short-circuit Current (Isc)	7.22A	7.27A	7.31A	7.36A	7.41A	7.46A	7.51A
Maximum Power Current (Imp)	6.62A	6.67A	6.72A	6.77A	6.82A	6.87A	6.92A

Standard Test Environment : Irradiance 800W/m<sup>2</sup>, Ambient temperature 20°C, Spectrum AM1.5, Wind speed 1m/s

## Anexo D: Estudio económico detallado

Tabla D.1: Flujo de caja en Villarrica considerando ahorro por agua lluvia

Año	Inversión	Ahorro por consumo energía fotovoltaica	Ahorro por agua lluvia	Operación y mantenimiento	Flujo Neto
0	<b>7,342,463</b>				<b>7,342,463</b>
1		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
2		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
3		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
4		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
5		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
6		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
7		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
8		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
9		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
10		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
11		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
12		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
13		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
14		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
15		1,691,396	15,120,150	162,433	<b>16,649,113</b>
				<b>VAN</b>	<b>\$154,357,868</b>
				<b>TIR</b>	<b>226.75%</b>

Tabla D.2: Flujo de caja en Villarrica sin considerar ahorro por agua lluvia

Año	Inversión	Ahorro por consumo energía fotovoltaica	Operación y mantenimiento	Flujo Neto
0	<b>7,342,463</b>			<b>7,342,463</b>
1		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
2		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
3		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
4		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
5		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
6		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
7		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
8		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
9		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
10		1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>



11	1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
12	1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
13	1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
14	1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
15	1,691,396	162,433	<b>1,528,963</b>
		<b>VAN</b>	<b>\$7,507,206</b>
		<b>TIR</b>	<b>19.36%</b>

Tabla D.3: Flujo de caja en San Juan de la Costa considerando ahorro por agua lluvia

Año	Inversión	Ahorro por consumo energía fotovoltaica	Ahorro por agua lluvia	Operación y mantenimiento	Flujo Neto
0	<b>7,342,463</b>				<b>7,342,463</b>
1		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
2		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
3		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
4		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
5		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
6		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
7		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
8		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
9		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
10		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
11		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
12		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
13		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
14		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
15		1,754,143	17,695,200	162,433	<b>19,286,910</b>
				<b>VAN</b>	<b>\$179,976,809</b>
				<b>TIR</b>	<b>262.68%</b>

Tabla D.4: Flujo de caja en San Juan de la Costa sin considerar ahorro por agua lluvia

Año	Inversión	Ahorro por consumo energía fotovoltaica	Operación y mantenimiento	Flujo Neto
0	<b>7,342,463</b>			<b>7,342,463</b>
1		1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
2		1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
3		1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
4		1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>

5	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
6	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
7	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
8	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
9	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
10	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
11	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
12	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
13	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
14	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
15	1,754,143	162,433	<b>1,591,710</b>
		<b>VAN</b>	<b>\$8,116,621</b>
		<b>TIR</b>	<b>20.33%</b>