



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA



Diseño de ingeniería de sistema de ahorro y generación de recursos para una vivienda rural en distintas zonas térmicas del país

POR

Ramiro Ignacio Fuentealba Navarrete

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

Profesor Guía:
Dr. Adelqui Andrés Fissore Schiappacasse

Enero 2025
Concepción (Chile)

© 2025 Ramiro Fuentealba

© 2025 Ramiro Fuentealba

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 sincero agradecimiento a mis profesores y compañeros, quienes me enseñaron y acompañaron durante mi paso por la universidad.

En especial, a mi profesor guía, Adelqui Fissore, que renovó mi pasión por la carrera, permitiéndome abordar este desafío final.

Esta memoria está dedicada:

Mi madre, que a pesar de mis fallas siempre me acompañó y me contuvo. Mi padre, que sin su preocupación por mí y mi educación, no estaría en esta instancia.

Mis hermanos, mi hermana, mis tías y mis primas, que siempre lograron sacarme una sonrisa y estar cuando más lo necesitaba.

Finalmente, a Tati y Caco, dos pilares de mi infancia y adolescencia, que siempre recordaré y amaré.

Resumen

Los hogares chilenos requieren recursos energéticos, los cuales son suplidos por distintas fuentes que tienen una huella de carbono importante. Chile es uno de los países con mayor potencial de energías renovables del mundo, esto implica una excelente oportunidad para las familias de conseguir estos recursos sin seguir destruyendo el medio ambiente.

En este informe, se estudian distintas tecnologías de generación y ahorro energético, para lograr que el consumo energético neto de un hogar chileno sea cero. Con un enfoque centrado en los distintos equipos que puedan cumplir este objetivo, con un cálculo de eficiencias y que efectos generan entre ellos.

Además de su potencial, Chile presenta diversas condiciones climáticas que impiden un análisis único para todo el país. Es por ello, que se seleccionan siete zonas térmicas, definidas por Ministerio de vivienda y urbanismo, para realizar el estudio de manera independiente en cada una.

Se investigaron distintas fuentes oficiales, como la CNE, la SEC, el SERNAC, entre otros, para determinar de manera precisa, cuáles son las demandas de recursos que tienen los chilenos a cada hora del año. Además, se investigaron las condiciones meteorológicas, cabe decir, radiación, temperatura, velocidad del viento, para tener todos los parámetros que pudieran afectar el funcionamiento de los equipos.

Las demandas horarias y los parámetros ambientales nos permiten tener un contexto muy preciso de lo que está sucediendo a cada hora del año. Esto sumado a un entendimiento global del funcionamiento de los equipos antes mencionados, nos permitirá sacar conclusiones a partir de un análisis.

Se llevó a cabo un cálculo, estudiando la eficiencia instantánea de cada equipo. Este cálculo se realizó de manera escalonada para considerar el impacto que van generando unos con otros, además de calcular flujo de caja y métricas económicas como el VAN y el TIR. El objetivo principal es que la demanda neta sea cero, para ello se investigaron todas las configuraciones posibles para cada zona.

Con la herramienta Excel se realizó el cálculo base, con una cantidad de paneles, colectores y equipos auxiliares. Luego, en la misma herramienta, ahora con macros, se realizó un proceso iterativo que prueba y guarda los resultados para 60 configuraciones en cada zona térmica. Los resultados sin tratar se encuentran en el Anexo A.

Hay diversas configuraciones que cumplen el cometido. La que conlleva menor gasto inicial es la de dos paneles fotovoltaicos y un calefón para agua caliente sanitaria. La que tiene mayor VAN es de dos colectores solares y 3 paneles fotovoltaicos, también apoyada en un calefón como energía auxiliar. Cabe destacar que estas soluciones son válidas para cinco de las siete zonas térmicas.

Palabras clave: Demanda neta 0, Sistema Solar Residencial, Zonas Térmicas Chilenas

Abstract

Chilean households require resources, which are supplied by different sources with a significant carbon footprint. Chile is one of the countries with the greatest potential for renewable energy in the world, providing an excellent opportunity for families to obtain these resources without continuing to harm the environment.

In this report, various generation and energy-saving technologies will be studied to transform a Chilean house into a net-zero energy house.

Besides its potential, Chile has diverse climatic conditions that prevent a single analysis for the entire country. For this reason, seven thermal zones, defined by “Ministerio de vivienda y urbanismo”, are selected to carry out the study independently for each one.

Different official sources, such as the CNE, SEC, SERNAC, CDT, among others, were investigated to accurately determine the hourly resource demands of Chileans. In addition, meteorological conditions like radiation, temperature, and wind speed were investigated to account for all the parameters that might affect equipment performance.

Once the equipment was selected, an integrated calculation was carried out, studying the instantaneous efficiency of each technology. This calculation was performed in stages to consider the impact they have on each other, along with calculating cash flow and economic metrics like NPV and IRR. The main objective is for net demand zero; therefore, all possible configurations were investigated for each thermal zone.

Using Excel, a base calculation was performed with a fixed number of panels, collectors, and auxiliary equipment. Then, with macros in the same tool, an iterative process was conducted to test and save the results for 60 configurations in each thermal zone. The untreated results are found in Appendix A.

There are several configurations that meet the goal. The one with the lowest initial cost is two photovoltaic panels and a gas water heater for domestic hot water. The one with the highest NPV includes two solar collectors and three photovoltaic panels, also supported by a gas water heater. It should be noted that these solutions are valid for five of the seven thermal zones.

Keywords: Net Cero Energy, Residencial Solar Energy, Chilean Energy Demand

Tabla de Contenidos

Tabla de Contenidos.....	iii
Lista de Tablas	iv
Lista de Figuras	v
Glosario	vi
1 CAPÍTULO 1: Introducción.....	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Consideraciones de diseño.....	3
1.4 Metodología.....	4
2 CAPÍTULO 2: Marco Teórico	5
2.1 Energía Solar	5
2.2 Ángulos Solares	6
2.3 Radiación Solar en superficie inclinada	7
2.4 Sistemas Solares Térmicos	9
2.5 Sistemas Solares Fotovoltaicos	13
2.6 Leyes de generación distribuida	15
2.7 Agua potable: NC691	15
2.8 Agua potable rural	16
3 CAPÍTULO 3: Caracterización del caso de estudio.....	17
3.1 Demanda energética residencial chilena.....	17
3.2 Zonas Térmicas.....	21
3.3 Ajuste de las demandas.....	23
3.4 Año típico solar	26
4 CAPÍTULO 4: Calculo Físico.....	28
4.1 Ángulos solares.....	28
4.2 Radiación incidente	29
4.3 Sistema Solar térmico	31
4.4 Sistema fotovoltaico	37
5 CAPÍTULO 5: Costos base	39
5.1 Costos base	39
5.2 Costo Equipos.....	41
6 CAPÍTULO 6: Elección de Configuración	44

7 CAPÍTULO 7: Evaluación económica.....	46
8 CAPÍTULO 8: Conclusión.....	48
9 REFERENCIA	49

Lista de Tablas

Tabla 3.1: Demandas anuales para cada Zona Térmica [3]	23
Tabla 3.2: Ajuste mensual por vivienda [%].....	24
Tabla 3.3: Perfil de consumo horario [%].....	24
Tabla 3.4: Ajuste de consumo horario para cada mes [%].....	25
Tabla 3.5: Ajuste de consumo para el día 27 de mayo a las 12 PM.....	25
Tabla 3.6: Configuración de año típico para las Zonas Térmicas	26
Tabla 3.7: Datos Meteorológicos por Zona Térmica [33].....	27
Tabla 4.1: Datos para cálculo de ángulos solares en la zona 3 el 27 de mayo 11 AM	28
Tabla 4.2: Ángulos solares para la zona 3 el 27 de mayo 11 AM.....	29
Tabla 4.3: Datos para cálculo de radiación total en panel para la zona 3 el 27 de mayo 11 AM	29
Tabla 4.4: Resultados radiación incidente para la zona 3 el 27 de mayo 11 AM	30
Tabla 4.5: Radiación incidente en superficie inclinada para cada zona térmica [kWh/año] [33]	30
Tabla 4.6: datos para cálculo de entradas de calor en SST [Anexo B]	31
Tabla 4.7: eficiencia y calor útil solar en zona 3 el 27 de mayo 11 AM.....	32
Tabla 4.8: datos para cálculo consumo de calor en SST.....	32
Tabla 4.9: datos para cálculo perdidas estanque en SST.....	33
Tabla 4.10: datos para cálculo perdidas cañerías en SST.....	34
Tabla 4.11: Resultados perdidas cañerías en SST.....	34
Tabla 4.12: Resultado balance energía para 2 colectores en 7 ZT [kWh/año].....	35
Tabla 4.13: Resultados equipos auxiliares con 2 colectores por ZT [kWh/año].....	36
Tabla 4.14: datos para cálculo perdidas cañerías en SST.....	37
Tabla 4.15: datos para cálculo perdidas cañerías en SST.....	38
Tabla 4.16: Generación de SFV de 2 paneles y consumo de ZT3 [kWh/año]	38
Tabla 5.1: Gasto anual ACS por ZT [35]	39
Tabla 5.2: Desglose de cobro por empresa distribuidora	40
Tabla 5.3: costo SST y ahorro para ZT3 [kWh/año].....	41
Tabla 5.4: costo SFV y ahorro para ZT3 [kWh/año]	42
Tabla 6.1: Selección de Configuración mínima	44
Tabla 7.1: Costos bases por ZT.....	46
Tabla 7.2: Soluciones con mayor VAN en cada ZT (Anexo A)	47
Tabla 7.3: Soluciones con menor inversión inicial en cada ZT [Anexo A]	47

Lista de Figuras

Figura 2.1: Representación Ángulos Solares	5
Figura 2.2: Diagrama Sistema Solar Térmico	10
Figura 2.3: Diagrama Sistema Fotovoltaico	13
Figura 2.4: Diagrama bomba sumergible con torre de acumulación [23]	16
Figura 3.1: Consumo eléctrico mensual residencial entre 2018 y 2022 [kWh][24]	17
Figura 3.2: Consumo de agua potable mensual residencial entre 2022 y 2023 [m3] [2]	18
Figura 3.3: Consumo de ACS mensual residencial [L] [25]	19
Figura 3.4: Perfil de consumo eléctrico horario [26]	20
Figura 3.5: Perfil de consumo agua horario [L] [27]	20
Figura 3.6: Perfil de consumo ACS horario [L] [28]	21
Figura 3.7: Zonas Térmicas Chile [3]	22
Figura 4.1: COP vs Temperatura en bomba de calor	36

Símbolos

α	:	Angulo de altitud
β	:	Inclinación de la superficie
Υ_s	:	Acimut solar
θ_z	:	Angulo del cenit
Υ_p	:	Acimut de pared
θ	:	Angulo de incidencia
ω	:	Angulo Horario
δ	:	Angulo de declinación
ϕ	:	Coordenada de latitud

Unidades

m	:	Metros
Kg	:	Kilo gramos
°C	:	Grados Celsius
s	:	Segundos
m ³	:	Metros cúbicos
L	:	Litros
m/s	:	Metros por segundo
Km/h	:	Kilómetros por hora
m.c.a	:	Metros columna de agua
kPa	:	Kilo Pascal
Kw	:	Kilo Watts
Wp	:	Watts peak
kWh	:	Kilo Watts hora

Glosario

ACS	:	Agua Caliente Sanitaria
CDT	:	Corporación de Desarrollo Tecnológico
CNE	:	Comisión Nacional de Energía
INIA	:	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
SERNAC	:	Servicio Nacional del Consumidor
SST	:	Sistemas Solares Termicos
SFV	:	Sistema Solar Fotovoltaico
SISS	:	Superintendencia de Servicios Sanitarios
NC	:	Norma Chilena
TIR	:	Tasa interna de retorno
VAN	:	Valor Actual Neto

VAWT : Vertical axis wind turbine

Subíndice

CA : Corriente Alterna
CC : Corriente Continua
viv : Vivienda
ZT : Zona Térmica
MP : Material Particulado

CAPÍTULO 1: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

Los recursos energéticos necesarios para el funcionamiento de un hogar han ido incrementando con el paso del tiempo, lo que implica un gasto cada vez mayor para las familias chilenas. Se requiere energía térmica, para calefacción y agua caliente sanitaria, ACS, energía eléctrica para los aparatos electrónicos y agua potable para el consumo de los habitantes

La electricidad viene de la red eléctrica chilena, la cual solo contempla un 39 % de energías renovables, por lo tanto, un 60 % viene de combustibles fósiles [1]. En zonas urbanas, el agua viene de empresas privadas reguladas. Sin embargo, en las viviendas rurales se implementan generalmente pozos, alimentados con energía eléctrica o camiones aljibes que representan un costo altísimo en dinero y recursos estatales [2]. El combustible más usado para ACS es el gas, el cual, al ser un combustible fósil, genera gases de efecto invernadero y no ayuda a combatir el cambio climático [3].

Para la calefacción del hogar la mayoría de los chilenos usa estufas a leña, las cuales son consideradas renovables, siempre y cuando la leña haya sido obtenida de manera sustentable. El problema de estas son las concentraciones de material particulado, MP, que pueden ser dañino para la salud. En un contexto rural, la densidad de población se ve reducida considerablemente, esto lleva a que el material particulado se disperse rápidamente. Reduciendo la concentración a niveles que no presentan riesgos para las personas.

Las energías renovables son una buena alternativa para combatir el cambio el climático. Estas usan las fuerzas de la naturaleza para generar energía de manera limpia y económica. Chile es uno de los países con mayor potencial de energía limpia en el mundo [4]. Nos centraremos en la energía solar, ya que es una de las más sencillas de instalar y mantener, lo que implica una gran accesibilidad para todo chileno [5].

Uno de los inconvenientes de la energía solar, y de las renovables en general, es su carácter discontinuo. La generación es variable y depende de distintos factores como la estación del año y las condiciones climáticas. Para superar este obstáculo, el estado chileno promulgó dos leyes que permiten inyectar electricidad a la red de distribución cuando hay sobreproducción, generando un saldo positivo a quien haga uso de este beneficio [6].

Gran parte de los estudios existentes se centran en áreas urbanas, que no se traducen directamente a las zonas rurales, debido a distintas demandas y condiciones. Un estudio de estas zonas puede ofrecer una perspectiva diferente, entregando soluciones más apegadas a las necesidades rurales.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

El objetivo es diseñar e implementar una serie de aparatos y tecnologías para transformar una vivienda rural típica en un hogar de cero consumo neto. El enfoque principal estará en la selección, instalación y optimización de equipos que suministren electricidad, calefacción, agua caliente sanitaria y agua potable. Entre los equipos a estudiar se incluyen: sistemas solares térmicos (SST), sistemas solares fotovoltaicos, bombas de calor, bombas sumergibles, termos eléctricos y calefones.

El diseño considerará el efecto combinado de estos equipos, analizando cómo interactúan entre sí y cuáles tienen el mayor impacto en la reducción del consumo. Además, se adaptarán las soluciones a las condiciones climáticas y demandas de siete zonas térmicas de Chile, asegurando que sean apropiadas para cada región.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Estudiar las principales tecnologías de generación y colección de los recursos como agua y energía.

- 2) Evaluar las demandas de cada una de las necesidades para una vivienda rural típica definiendo así una demanda horaria para cada necesidad. Tomando en cuenta distintas zonas térmicas de Chile.

- 3) Estudiar las distintas tecnologías, calculando cada aspecto de su funcionamiento como sus pérdidas y considerando el impacto que generan entre ellas.

- 4) Analizar económicamente todo lo calculado anteriormente, para encontrar la mejor configuración que permita transformar una casa rural típica en una de cero consumo neto.

1.3 Consideraciones de diseño

El proyecto trata sobre la transformación de una vivienda rural típica, enfocado en implementar equipos. Para ello es importante entender el caso base, entendiendo que equipo se utiliza para cada necesidad. Para el suministro eléctrico se considera la vivienda con conexión a la red eléctrica, representando al 96.5 % de la población rural [7]. La calefacción se considera a partir de leña, ya que el 79.5 % de los hogares rurales usa este combustible, el ACS se suplirá con un calefón, debido que

el 89 % de la población utiliza este aparato, finalmente, el agua será extraída de pozo con una bomba, debido que es el sistema más utilizado con un 58.8% de los hogares rurales sin acceso a la red [3] [8].

Existen distintas tecnologías para que un hogar tenga cero consumo neto; como una bomba sumergible para dejar de depender de las compañías de agua, un termo eléctrico o bomba de calor junto a un colector solar para las necesidades de agua caliente sanitaria y un sistema solar fotovoltaico robusto, capaz de alimentar estos aparatos además de suplir el resto de las necesidades eléctricas del hogar. Todo esto es un excelente mecanismo para combatir la crisis ambiental que nos enfrentamos como sociedad y además generar un ahorro para el hogar.

A pesar de que hay bastante información sobre lo que se busca investigar, un sistema que contraste todas las tecnologías en función de su impacto real, además de un análisis profundo del comportamiento horario de las demandas sería muy interesante para encontrar resultados más cercanos a la realidad y ayudar así a la comunidad a implementar dichos sistemas.

1.4 Metodología

Se estudiarán los conceptos de ahorro energético en el hogar, viendo la legislación con respecto a la calificación de viviendas y las distintas tecnologías que puedan aportar a este cometido. Con esto en mente, se estudiarán las demandas reales de cada necesidad de una vivienda rural, tomando en cuenta datos históricos y estudios pertinentes, para encontrar el comportamiento horario anual de cada carga.

Se calculará la producción y eficiencia de las distintas tecnologías de generación eléctrica, térmica y colección de agua. Se implementarán en un planteamiento global que permita identificar las más significativas en el ahorro económico e impacto ambiental. Además, se estudiará como cada tecnología aporta al objetivo de convertir la casa en una de cero consumo neto, con cálculos precisos de eficiencia en cada hora del año.

CAPÍTULO 2: Marco Teórico

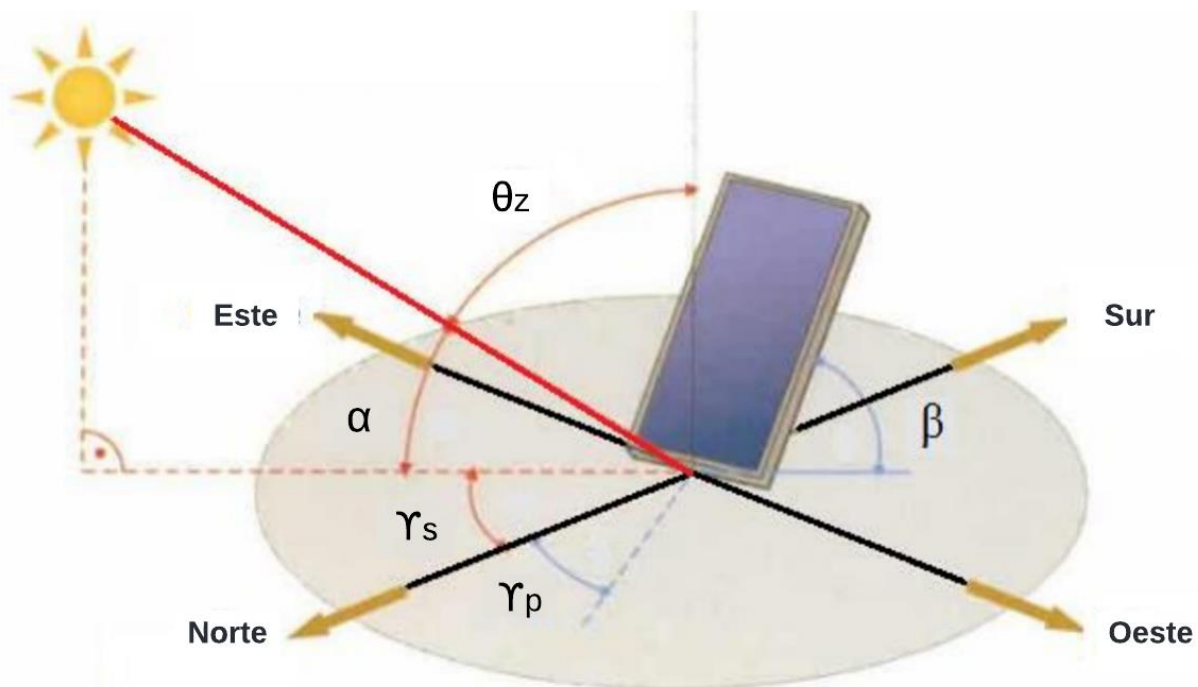
En esta sección se exponen algunas definiciones y antecedentes necesarios para la comprensión completa del informe.

2.1 Energía Solar

La energía solar es fundamental para el funcionamiento del proyecto, ya que en ella se basa la producción de energía necesaria para llevar una vivienda a consumo neto cero. Entender los distintos conceptos que conlleva es un paso crucial para poder realizar todos los cálculos. El análisis de los ángulos solares es idéntico para los sistemas solares fotovoltaicos, SFV y los sistemas solares térmicos, SST, el ángulo de incidencia del sol en la placa es θ , es importante para el rendimiento. Por lo tanto, es necesario poder identificarlo para cada hora del año, con este objetivo en mente tenemos que definir una serie de ángulos solares que influyen en θ .

En el diagrama siguiente, el ángulo α representa la altitud, θ_z es el cenit y γ_s corresponde al azimut solar. En cuanto a la posición de los paneles, β indica la inclinación del panel, generalmente asociada a la coordenada de latitud, mientras que γ_p habla de su orientación, generalmente apuntando hacia el norte por razones de optimización en el lugar geográfico escogido.

Figura 2.1: Representación Ángulos Solares



2.2 Ángulos Solares

En esta sección se expondrán las fórmulas necesarias para calcular los ángulos solares, que son imprescindibles para el cálculo de la radiación incidente y posterior energía generada [9].

La hora solar, H_{Solar} , se calcula con la Ecuación (1), ajustando la hora local, H_{local} , con una serie de coeficientes correctivo que dependen de la estación del año, con el desfase horario, ΔT_g . La ubicación geográfica a través la coordenada de longitud, $Long$, y la ecuación del tiempo, ET.

$$H_{Solar} = H_{Local} + \Delta T_g - \frac{Long}{15} + \frac{ET}{60} \quad (1)$$

Para calcular ET es necesario el día correlativo del año, n , y se hace mediante la Ecuación (2).

$$ET = 9.78 * \sin\left(2 * \frac{360}{365} * (n - 81)\right) - 7.53 * \cos\left(\frac{360}{365} * (n - 81)\right) - 1.5 * \sin\left(\frac{360}{365} * (n - 81)\right) \quad (2)$$

Con la hora solar ya identificada, es posible encontrar el ángulo horario, ω , que representa el desplazamiento angular del sol a partir del meridiano local. Se calcula con la Ecuación (3).

$$\omega = 15 * (\text{hora solar} - 12) \quad (3)$$

El siguiente ángulo de importancia es la declinación solar, δ , este representa la altitud solar cuando el sol está en su punto máximo, y depende exclusivamente del día correlativo del año, n . Se utiliza la Ecuación (5).

$$\delta = 23.45 * \sin\left(360 * \frac{284 + n}{365}\right) \quad (4)$$

El ángulo de altitud solar, α , representa el ángulo que se tiene entre el sol y el horizonte, el cual depende de las coordenadas geográficas, a través de la latitud, ϕ , el ángulo de declinación antes calculado, δ , y el ángulo horario, ω [duffie]

$$\sin(\alpha) = \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\omega) \cos(\delta) \quad (5)$$

El ángulo de incidencia, θ , reúne a todos los ángulos calculados anteriormente, ya que como su nombre lo indica es el ángulo entre la radiación directa y la normal a la superficie del panel. Depende del ángulo de declinación, δ , la coordenada de latitud, ϕ , la inclinación del plano, β , el acimut del panel, Υ_p , y el ángulo horario, ω , y se encuentra con la Ecuación (6).

$$\begin{aligned} \cos(\theta) = & \sin(\delta) \sin(\phi) \sin(\beta) - \sin(\delta) \cos(\phi) \sin(\beta) \cos(\Upsilon_p) \\ & + \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\beta) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\phi) \sin(\beta) \cos(\Upsilon_p) \cos(\omega) \\ & + \cos(\delta) \sin(\beta) \sin(\Upsilon_p) \sin(\omega) \end{aligned} \quad (6)$$

2.3 Radiación Solar en superficie inclinada

La radiación solar total que recibe un plano inclinado se separa en 3, la directa, que como su nombre lo indica es la que llega ininterrumpida del sol, la difusa, que emerge del cielo después de ser dispersada por la atmosfera. Finalmente, la reflejada, que solo aplica a planos inclinados y que proviene del reflejo en superficies que vean dicho plano.

En la siguiente sección se explicará como calcular los 3 componentes de radiación, a partir de los ángulos solares y de la radiación global horizontal. Esta última es la que se utiliza en las estaciones meteorológicas, para reunir los datos históricos de radiación en todo Chile.

2.3.1 Radiación Directa

La radiación directa viene dada de por la Ecuación (7) que depende de la altitud solar, α , y el ángulo de incidencia, θ , y se refiere a la relación entre la radiación directa en un plano inclinado y la radiación directa horizontal.

$$R_b = \frac{\cos(\alpha)}{\cos(\theta)} \quad (7)$$

2.3.2 Radiación difusa

La radiación difusa es la porción de la energía solar que llega al plano después de haber sido dispersada por la atmósfera para el cálculo de esta, es necesario encontrar la radiación extraterrestre. Los rayos de sol son absorbidos por la atmosfera, entonces se teoriza una radiación extraterrestre, G_{sc} , que represente la energía que llegaría a la tierra sin la presencia de la atmosfera. Esta tiene un valor de 1367 [W/m²] con una variación de 3.3 % debido principalmente a la estación del año [9].

El valor expresado anteriormente es de potencia, y para el cálculo es necesario la energía que genera la radiación extraterrestre, por lo tanto, es necesario definir un intervalo de tiempo. El análisis se centrará en un cálculo horario en lugar de diario, ya que este enfoque permite evaluar con mayor precisión las variaciones de radiación a lo largo del día.

La irradiancia extraterrestre horaria, I_0 , viene dada por la formula (8), que depende del día correlativo del año, n , la coordenada de latitud, ϕ , el ángulo de declinación, δ , y el ángulo horario de ambas horas que definen el periodo de tiempo que se busca calcular, ω_i [9].

$$I_0 = \frac{12 * 3600}{\pi} G_{sc} * \left(1 + 0.033 * \cos \frac{360 * n}{365} \right) * [\cos(\phi) * \cos(\delta) * (\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1)) + \frac{\pi * (\omega_2 - \omega_1)}{180} * \sin(\phi) * \sin(\delta)] \quad (8)$$

La relación entre la irradiancia extraterrestre, I_0 , y la irradiancia horizontal global, I , medida en las estaciones meteorológicas. Permite encontrar el índice de claridad K_t , que representa el efecto de la atmosfera y nubosidad.

$$K_t = \frac{I}{I_0} \quad (9)$$

Se utiliza la relación de Orgill and Hollands expuesta en la Ecuación (10), la cual depende exclusivamente del valor de K_t , y entrega la relación entre la radiación global horaria, I , y la radiación difusa horaria, I_d [10].

$$\frac{I_d}{I} = \begin{matrix} 1.0 - 0.249 * K_t & K_t \leq 0.35 \\ 1.557 - 1.84 * K_t & 0.22 \leq K_t \leq 0.80 \\ 0.165 & K_t > 0.8 \end{matrix} \quad (10)$$

2.3.3 Radiación Reflejada

La radiación reflejada es una componente que únicamente se considera cuando el plano no es horizontal, ya que depende del reflejo de la radiación directa y difusa en las superficies circundantes visibles desde el plano inclinado. Este depende del material en el cual se refleje, con el coeficiente de reflectancia ρ , el cual varía entre cero y uno.

$$I_{\text{reflejada}} = \rho * (I) * \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad (11)$$

Finalmente, la radiación total final que llega al plano inclinado viene dada por la ecuación (12), que depende de la radiación global, I , que se recupera de las estaciones meteorológicas. Y de todas las radiaciones previamente calculadas.

$$I_{\text{total}} = R_b * (I - I_{\text{difusa}}) + I_{\text{difusa}} * \frac{1 + \cos(\beta)}{2} + \rho * I * \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad (12)$$

2.4 Sistemas Solares Térmicos

Los sistemas solares térmicos están diseñados para capturar la radiación del sol y transformarla en calor útil. Este calor puede ser utilizado para distintas aplicaciones, como calentamiento de agua sanitaria, calefacción o demandas energéticas de procesos industriales.

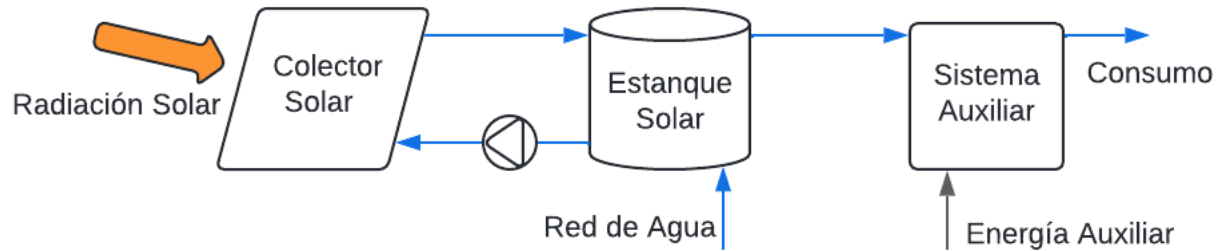
Existen distintas configuraciones para estos sistemas, dependiendo de la aplicación. El principio de funcionamiento básico es un colector con una superficie absorbente, el cual se expone al sol, elevando su temperatura y transfiriendo ese calor a un fluido que circula por dentro, ya sea por flujo natural o forzado. El fluido más utilizado es el agua, debido a su capacidad calorífica y alta disponibilidad, puede ser una mezcla con anticongelante en climas fríos.

El fluido puede ser utilizado directamente, o almacenado en contenedores aislados térmicamente. Este proceso permite mayor flexibilidad al sistema, ampliando la disponibilidad a horas de baja o nula radiación solar.

Los colectores más utilizados son los planos o los de tubo de vacío. Los primeros son más simples y económicos, mientras que los de tubo ofrecen mayores eficiencias en climas más fríos, o de menor radiación solar.

Para garantizar un suministro continuo, los sistemas suelen incluir alguna fuente de energía auxiliar, para asegurar la temperatura de consumo bajo cualquier condición climática. En la figura 2.2 se presenta el diagrama de un sistema solar térmico.

Figura 2.2: Diagrama Sistema Solar Térmico.



2.4.1 Energía útil colector solar

Para calcular la energía útil que aporta el colector solar es necesario manejar su rendimiento en tiempo real. Con este objetivo se utiliza la fórmula (13), la cual depende de la temperatura exterior, $T_{ambiente}$, la radiación total incidente en el plano inclinado, I , y la temperatura interior instantánea del estanque de acumulación, $T_{estanque}$. En este informe se considera el estanque no estratificado, lo cual asume que el interior tiene una temperatura homogénea. Además de tres coeficientes entregados por el fabricante en la ficha técnica: eficiencia óptica, η_0 , factor de pérdida de calor lineal, a_1 , y el factor de pérdida de calor cuadrático a_2 [11] [Anexo B].

$$\eta = \eta_0 - a_1 \left(\frac{T_{estanque} - T_{ambiente}}{I} \right) - a_2 \left(\frac{T_{estanque} - T_{ambiente}}{I} \right)^2 \quad (13)$$

Con la eficiencia del colector solar, η , es posible encontrar la energía útil, Q_{util} , con el área de colección de los paneles, A .

$$Q_{util} = I_{total} * A * \eta \quad (14)$$

2.4.2 Perdidas

El otro gran componente de los SST es el estanque de almacenamiento, este juega un rol importante en mantener la disponibilidad de suministro. El análisis de las pérdidas que tiene este es significativo a la hora de realizar el cálculo neto de energía, ya que, como se vio en la sección anterior, la eficiencia de los colectores está ligada a la temperatura dentro del estanque.

Para el cálculo de este informe se considerará que la temperatura varía uniformemente dentro del estanque, esto simplifica el cálculo y permite encontrar el cambio de temperatura que viene dado por la ecuación (16)

$$\Delta T = \frac{(Q_{\text{util}} - Q_{\text{Perdidas}} - Q_{\text{Consumo}})}{(m * C_p)} \quad (15)$$

Las pérdidas térmicas son un factor clave que afectan su eficiencia. Una de las principales fuentes de pérdidas ocurre en las cañerías, las que dependen de la aislación y dimensiones que tengan. Por otro lado, los estanques de almacenamiento son susceptibles a presentar fugas de calor, debido a su gran tamaño con bastante superficie externa. A pesar de que éstos tienen generalmente buen revestimiento termico, es imperativo calcular las pérdidas que se generan en ambos [12].

Las pérdidas de calor instantánea del estanque vienen dadas por la fórmula (9), con el área, el espesor y la conductividad térmica del material de aislación.

$$Q_{p,estanque} = A \cdot \left(\frac{T_{\text{estanque}} - T_{\text{ambiente}}}{\left(\frac{e_{\text{aislante}}}{k_{\text{aislante}}} \right)} \right) \quad (16)$$

Las cañerías requieren mayor análisis ya que tenemos dos fluidos en movimiento en las dos zonas de intercambio, las que dependen del largo, del diámetro y del espesor del tubo. El h convectivo viene dado por la fórmula empírica de convección forzada en cilindros [13].

$$hc = \left(\frac{0.0251}{dext} \right) * (0.343 + 1.22 * (Vviento * Dext)^{0.466}) \quad (17)$$

El coeficiente de transferencia de calor global, U , se calcula con hc y las dimensiones de la cañería.

$$U^{-1} = \left(\frac{r_{ext}}{0.04}\right) * \ln\left(\frac{r_{ext}}{e_{cañeria}}\right) + \left(\frac{1}{h_{convectivo}}\right) \quad (18)$$

Finalmente, se pueden calcular las pérdidas instantáneas de la cañería, utilizando las temperaturas interiores y exteriores.

$$Q_{perd,cañ} = U * A * (T_{estanque} - T_{ambiente}) \quad (19)$$

2.4.3 Bombas de Calor para ACS

Una de las alternativas para los Sistemas solares térmicos que requieren energía auxiliar son las bombas de calor aire-agua. Estas funcionan extrayendo calor del aire exterior para transferirlo al agua, a través un ciclo de compresión y expansión del aire, combinado con intercambiadores de calor.

El principio detrás de este proceso se basa en que, al comprimir un fluido, su temperatura aumenta concentrando el calor ya presente en este. Esto permite que este fluido ahora a mayor temperatura que el medio que se busca calentar, pueda ceder esa energía. Incluso si el aire inicial está a menor temperatura que el agua [14].

El aprovechamiento de la conducción térmica natural es lo que permite a este equipo tener eficiencias que superan el 100%. La eficiencia de estos equipos depende de la temperatura exterior, la temperatura objetivo y el modelo del equipo. Estos últimos traen en su ficha técnica la eficiencia a distintas temperaturas, lo que permite extrapolar una función que se puede aplicar a cada hora del año [Anexo E].

2.4.4 Termo Eléctrico

Los termos eléctricos son una opción más económica en cuanto a la instalación inicial en comparación con las bombas de calor, pero son menos eficientes. Esto se debe a que los termos eléctricos convierten directamente la electricidad, lo que implica que su eficiencia está limitada a un 100%, mientras que las bombas de calor pueden generar varias veces más energía térmica de la que consumen en electricidad.

El funcionamiento de estos es sencillo: una resistencia eléctrica se calienta y transfiere calor al agua almacenada en el tanque. El termo cuenta con un aislamiento térmico que ayuda a mantener el calor en el agua. El análisis de pérdidas es similar al del estanque solar, variando las dimensiones y aislación.

2.4.5 Calefón

Los calefones calientan un flujo de agua por un serpentín sometido a una llama directa, la cual es alimentada por gas. Es el sistema más utilizado en Chile, con un alcance de casi un 90 % del mercado. Debido a esto, se utiliza como caso base para el estudio.

La eficiencia de este equipo está fuertemente ligada al cuidado, perdiendo hasta un 5% por falta de mantención, del 89% que generalmente se les asigna. Las regiones de más al sur son las que mejor cuidan estos equipos debido a la importancia que tienen en estas zonas [15].

2.5 Sistemas Solares Fotovoltaicos

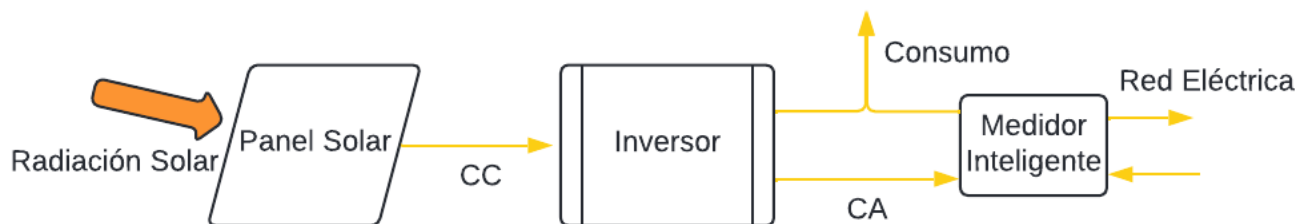
Los sistemas solares fotovoltaicos captan la radiación del sol y la transforman a energía eléctrica. Su configuración más simple consta de un panel compuesto de celdas de un material semiconductor, generalmente silicio. Que al ser expuestas a fotones liberan electrones que generan corriente continua.

Para una utilización efectiva de la energía solar es necesario un sistema de apoyo, ya que la radiación varía bastante durante el día, y desaparece en la noche. Por lo tanto, para la mayoría de las aplicaciones es necesario un sistema de almacenamiento u otra fuente de energía.

Los sistemas on-grid son aquellos que se mantienen conectados a la red eléctrica, permitiendo un suministro continuo, además que en Chile existe una ley que permite vender el excedente, mejorando el rendimiento económico.

Es necesario la implementación de un inversor, que transforme la corriente continua en corriente alterna, debido que la mayoría de los aparatos electrónicos están diseñados para conectarse a una red alterna. Se presenta el diagrama de un sistema on-grid.

Figura 2.3: Diagrama Sistema Fotovoltaico



2.5.1 Energía eléctrica generada

Al igual que para el colector, es necesario calcular de manera instantánea la eficiencia del panel fotovoltaico, para encontrar la generación más cercana a la realidad.

La eficiencia de un panel está fuertemente ligada a su temperatura, debido que a mayor temperatura menor rendimiento. La magnitud del efecto que se tiene en el módulo está ligada al modelo, dependiendo de T_{Noct} , temperatura para la cual es válida la eficiencia nominal, y del coeficiente de temperatura, el cual indica la pérdida de eficiencia por grado [16].

La Ecuación (20) describe como calcular la temperatura del panel a partir de la temperatura de la iteración anterior, los factores característicos, y las condiciones meteorológicas

$$T_{n+1} = T_{ambiente} + 0.0119 \cdot (T_{Noct} - T_n) \cdot \frac{I}{5.7 + 3.8 \cdot V_{viento}} \cdot \left(1 - \frac{\eta_n}{\tau\alpha}\right) \quad (20)$$

Luego, con la Ecuación (21) es posible encontrar la eficiencia del panel, a partir de la temperatura

$$\eta_{n+1} = \left(1 + (T_{n+1} - T_{Noct}) \cdot \frac{coef_{temperatura}}{100}\right) \cdot \eta_n \quad (21)$$

Como se puede apreciar, es necesario darse una temperatura y eficiencia de manera arbitraria. Es por ello que se realiza un proceso iterativo que permite llegar al resultado después de 2 o más iteraciones.

Otro aspecto importante del sistema es el inversor, el cual tiene una curva de eficiencia que depende de la relación entre la potencia nominal y la generación instantánea, siguiendo una relación empírica expresada en la Ecuación (22) [17].

$$\eta_{inversor} = 0.804 + 1.3475 * \left(\frac{E_{salida\ panel}}{P_{nominal}}\right) - 2.88 * \left(\frac{E_{salida\ panel}}{P_{nominal}}\right)^2 \quad (22)$$

2.6 Leyes de generación distribuida

En el año 2012, se publica la ley 20.571 de generación distribuida, la cual permite a los usuarios generar su propia energía eléctrica, a partir de fuentes renovables, como la solar, eólica o geotérmica. Esta ley introduce el Net Billing, mecanismo por el cual los usuarios ya sean personas naturales o empresas, puedan inyectar la energía que no consuman a la red eléctrica nacional. Los usuarios pueden instalar hasta 100 [kW] [18].

La ley 21118, publicada en 2018, amplía y mejora la ley de generación distribuida. Aumenta la potencia máxima a 300 [kW], e introduce la posibilidad de crear proyectos compartidos, permitiendo así, proyectos de mayor envergadura y menor costo por kilowatt hora. Además, establece un umbral de 20 kW de potencia, por debajo del cual no es necesario justificar el consumo, ayudando así a las personas que quieran instalar un sistema pequeño en su hogar [6][19].

Esta ley permite inyectar los excedentes a la red y recibir una compensación a través del sistema Net Billing. Sin embargo, existe una diferencia entre el precio de inyección y de compra, que generalmente bordea el 40%. Las ciudades a analizar tienen diferentes distribuidoras, con distintos precios, las cuales separan el cobro: en distribución, transmisión y generación, además de un costo fijo por cliente [6], [19].

Para calcular cuanta energía se inyecta o se retira del sistema para cada hora se usa la fórmula (23).

$$E_n = \text{Produccion}_n - \text{Consumo}_n \quad (23)$$

Si E_n es positivo, implica una sobreproducción que se inyectara a la red. En caso contrario, el sistema no está dando abasto, y se requerirá comprar energía a la distribuidora. Para calcular el cobro final del año se usa la fórmula (24).

$$\begin{aligned} \text{Cobro}_{\text{anual}} = & E_{\text{inyectada}} \times \text{Precio}_{\text{inyeccion}} - \text{Cargo}_{\text{adm}} + E_{\text{comprada}} \\ & \times (\text{Cargo}_{\text{generación}} + \text{Cargo}_{\text{transmisión}} + \text{Cargo}_{\text{distribución}}) \end{aligned} \quad (24)$$

2.7 Agua potable: NC691

La norma chilena NC691, indica parámetros mínimos de presión en las redes de distribución de agua potable. El valor mínimo es de 49 [kPa], o cinco metros columna de agua [20]. Esta presión garantiza el buen funcionamiento de las redes dentro del hogar. Además de esta presión mínima, hay que considerar otras pérdidas que puedan darse en la red, específicamente las pérdidas de presión lineales y singulares.

Las pérdidas singulares, son todas aquellas asociadas a algún elemento específico, como un filtro, un codo o una válvula. Cada uno de estos elementos, implica una pérdida dependiendo del diámetro de la cañería y la velocidad del fluido. Las pérdidas lineales son aquellas relacionadas con el largo la tubería.

2.8 Agua potable rural

En Chile, el 52.8% de la población rural no cuenta con abastecimiento formal de agua potable, a través de empresas sanitarias. De ellos el 58.8% lo hace desde pozos, 25.8% a partir de fuentes superficiales y un 15.4% con camiones aljibes [8][21].

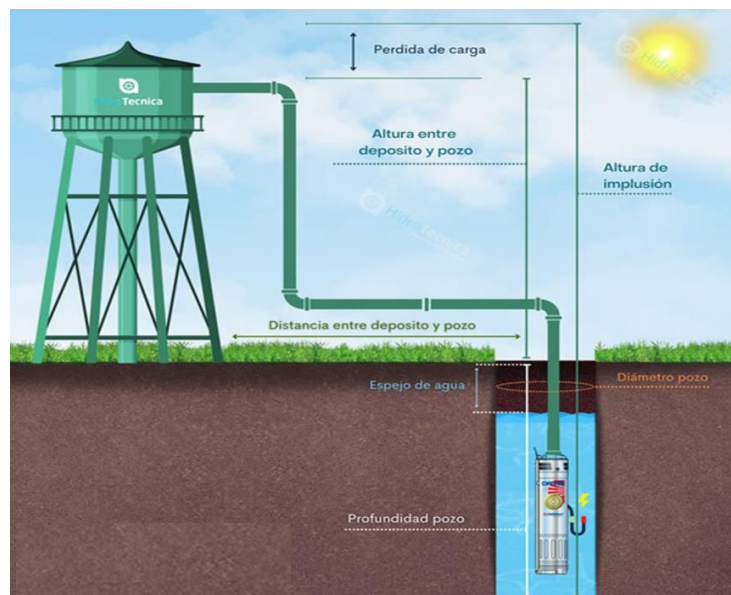
Los camiones aljibes, a pesar de no abarcar una gran proporción de la población, implican un gasto para las municipalidades, de \$30.000.000.000 por año. Lo que significa un gasto de aproximadamente \$15.000.000 por familia, considerando la cantidad de población implicada, descrito en diferentes estudios [22].

2.9 Bombas sumergibles

Una bomba sumergible es un tipo de bomba que está diseñada para operar completamente sumergida en el agua. Las de uso residencial tienen una forma cilíndrica diseñada especialmente para entrar en tuberías de pozo profundo, de hasta 20 metros.

El sistema funciona con un motor eléctrico aplicando fuerza al impulsor, el cual genera un flujo correspondiente a la potencia, siguiendo la curva de altura vs caudal propia de la bomba. Como se ve en la figura 2.4:

Figura 2.4: Diagrama bomba sumergible con torre de acumulación [23]



CAPÍTULO 3: Caracterización del caso de estudio

3.1 Demanda energética residencial chilena

Para transformar una vivienda en una de cero consumo neto, es necesario manejar íntegramente las demandas, consistentes en cuatro componentes principales: la electricidad, el agua, el ACS y la calefacción.

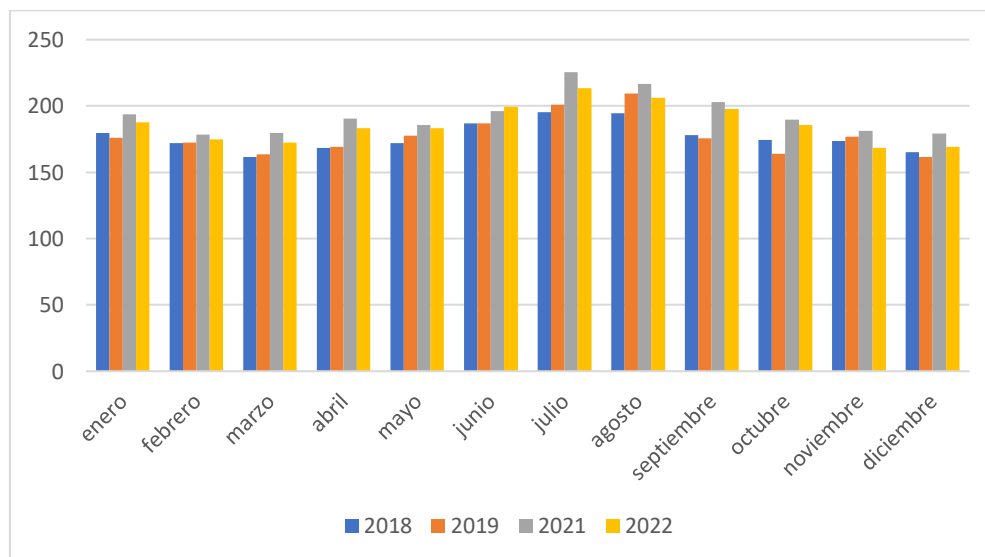
El estudio se centrará exclusivamente en las demandas eléctricas, de agua y de ACS, excluyendo la de calefacción. Como se explicó en las consideraciones de diseño el 80 % de la población rural utiliza estufa a leña para su calefacción, combustible sustentable y no dañino en el contexto rural. Además, que un análisis respecto a la aislación térmica del hogar escapa el alcance del proyecto, el cual se centra más en satisfacer las necesidades con instalación y optimización de equipos.

3.1.1 Demanda mensual

El primer recurso que se analizará será el eléctrico. Para ello se estudiará el consumo promedio por mes durante los años 2018 a 2022, ya que estos son los datos más actualizados disponibles de la CNE a través la iniciativa energía abierta, específicamente el informe: “Consumo Eléctrico Anual por Comuna y Tipo de Cliente” [24].

Luego de recuperar y tratar los datos, se presentan en el grafico siguiente:

Figura 3.1: Consumo eléctrico mensual residencial entre 2018 y 2022 [kWh][24]

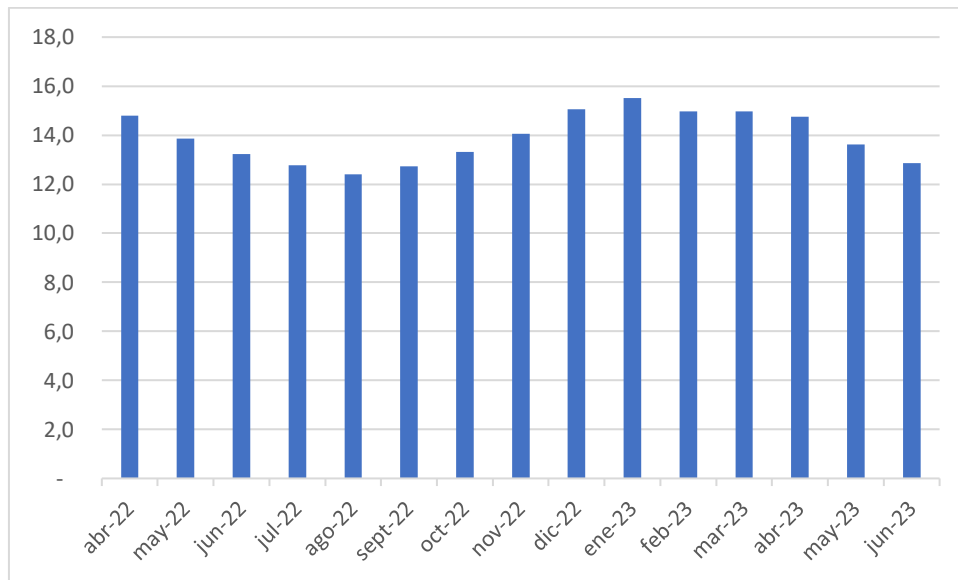


Debido a una diferencia sustancial en los datos del año 2020, se eliminaron del estudio. Esto se puede explicar por la pandemia o algún error en la colección de los datos. Para el cálculo de la demanda mensual promedio no se utiliza.

Como se puede apreciar en la figura, los meses de mayor gasto son los de invierno, debido principalmente a la cantidad de horas de sol, lo que implica un mayor consumo eléctrico por los días más oscuros. El mes de enero rompe esta tendencia con un aumento sustancial en comparación a diciembre, una explicación para este fenómeno es la temporada de vacaciones de verano, sumado al uso de equipos eléctricos de climatización. Esta explicación es respaldada debido que el consumo alto se mantiene en febrero.

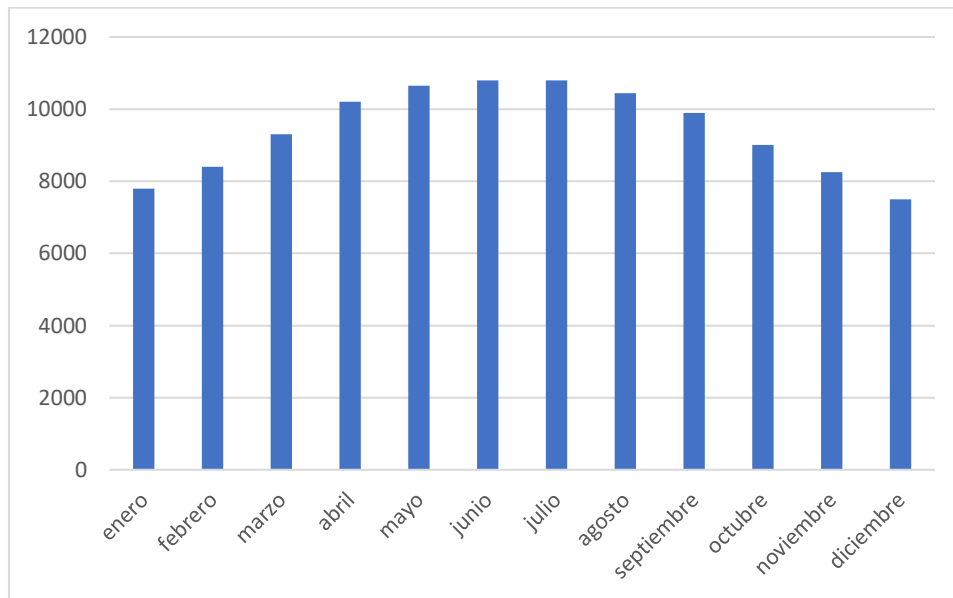
En el caso del agua potable, la Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS, presenta los datos de consumo mensual por vivienda en el informe: “Detalle consumos junio 2023” [2].

Figura 3.2: Consumo de agua potable mensual residencial entre 2022 y 2023 [m3] [2]



Vemos que el agua se comporta de manera inversa a la electricidad, con una demanda mayor en verano debido principalmente al regadío.

Para el cálculo de consumo de agua caliente sanitaria obtenemos datos del SERNAC, el cual nos entrega los consumos por familia de agua caliente sanitaria en invierno y verano [25]. Con esta información podemos hacer una extrapolación del consumo en los meses intermedios.

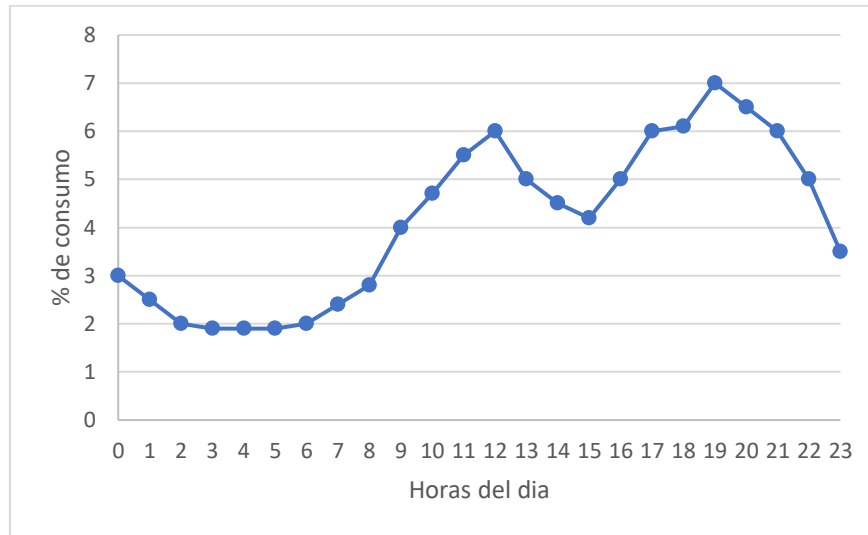
Figura 3.3: Consumo de ACS mensual residencial [L] [25]

Debido que uno de los principales factores que influyen en el consumo de ACS es la temperatura ambiente, se pueden extrapolar los datos a partir de los picos de consumo. Además, destacamos el consumo diario máximo de 360 litros en invierno y de 250 en verano.

3.1.2 Demanda diaria

Otra información importante en el cálculo de la demanda es el comportamiento diario, básicamente cómo se comporta la demanda durante el día. Para el perfil eléctrico se busca en el manual de instalación de sistemas solares fotovoltaicos realizado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico, CDT, se encuentra un perfil de consumo típico de una familia chilena [26]:

Figura 3.4: Perfil de consumo eléctrico horario [26]



Como podemos apreciar, el menor consumo se encuentra en la madrugada, debido a que las personas están durmiendo. Asimismo, existen dos picos de consumo, en la mañana y en la tarde, los cuales coinciden con los horarios de entrada y salida del trabajo.

No hay una fuente oficial que defina un perfil de consumo de agua potable de manera directa, es por ello que se define un consumo horario típico chileno, con datos de las diferentes fuentes de consumo, entre las que se destacan: las duchas, con 90 litros; la lavadora, con 75 litros y el lavado de loza, con 25 litros [27].

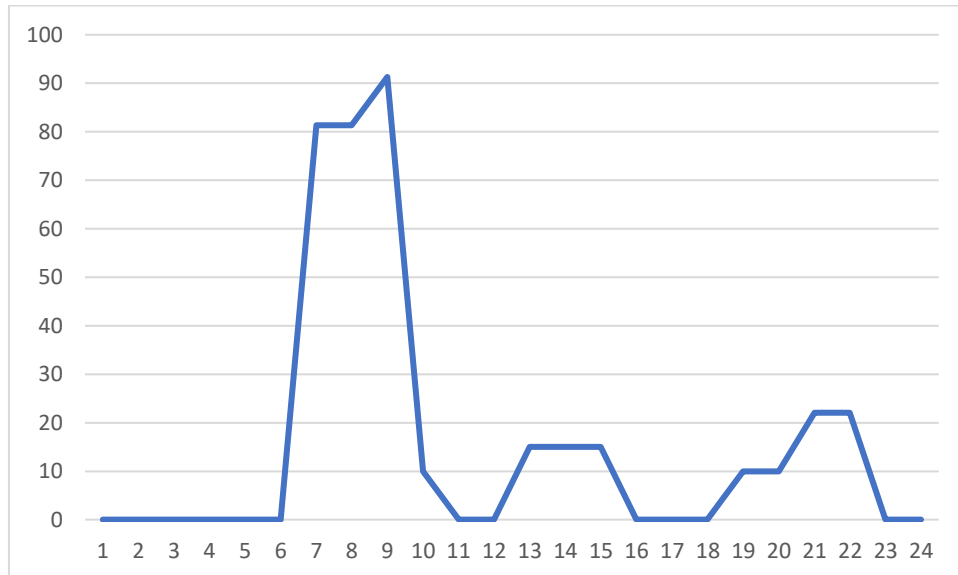
Figura 3.5: Perfil de consumo agua horario [L] [27]



El primer pico se encuentra a las siete AM, debido al gran consumo que tienen las duchas y la preparación de desayuno, esto conversa con el horario habitual de ingreso al trabajo. En la tarde, pasado las seis PM vuelve a aumentar el requerimiento de agua, debido nuevamente a las duchas posteriores al laburo. Además, se puede agregar que es la hora donde se encuentra toda la familia y esto puede ocasionar un incremento por mera cantidad de personas

De la memoria de título, “ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA VIVIENDA CERO ENERGÍA NETA EN ZONAS RURALES DEL SUR DE CHILE” realizada por Jessica Vera en 2023, se encuentra un perfil de consumo horario de ACS, el cual conversa con el uso tradicional del calefón y con distintas fuentes de consumo de agua y de ACS [25], [27], [28].

Figura 3.6: Perfil de consumo ACS horario [L] [28]



Se aprecia que tiene un comportamiento similar al consumo de agua, debido principalmente, a que el ACS se considera en la sumatoria de gastos hídricos residenciales, siendo la ducha una de los principales gastos en ambos casos.

3.2 Zonas Térmicas

En la sección anterior se demostró que la variación de las demandas está muy liga a la estación del año y la hora del día. Sin embargo, el lugar geográfico y el clima también juegan un rol importante en la estimación de cada necesidad del hogar.

El Ministerio de Vivienda y Urbanismo define nueve zonas térmicas en el país, expuestas en la norma chilena NCh 1079: Of77. Esta se basa principalmente en las temperaturas y precipitaciones de las distintas comunas del territorio [29]. Sin embargo, el informe final de caracterización energética realizado por Ministerio de Energía trabaja con siete zonas térmicas, las cuales siguen la misma lógica que la norma, solo que menos actualizadas [3][30].

Se trabajará con esta división, menos reciente, debido que el informe de caracterización maneja los datos más actualizados y acertados del consumo energético y permite realizar un estudio más cercano a realidad.

Las Zonas Térmicas con las que se trabaja se presentan en la figura siguiente.

Figura 3.7: Zonas Térmicas Chile [3]



Para realizar los cálculos se requiere un punto geográfico y demandas específicas. Es por ello que se selecciona la ciudad más grande de cada zona, debido que en las afueras del cono urbano es donde se encuentra mayor concentración de viviendas rurales. Del informe de uso final de la energía, podemos encontrar la demanda eléctrica y de ACS para las siete zonas definidas. Las necesidades hídricas se encuentran en un informe realizado por la SISS que se centra específicamente en las zonas rurales y es de 219 metros cúbicos anuales [31], además de ajustarlo a cada región con el consumo real entregado por Ministerio de Medio Ambiente [32].

Tabla 3.1: Demandas anuales para cada Zona Térmica [3]

Zona Térmica	Ciudad representativa	Demanda Eléctrica[kWh/año/viv]	Demanda ACS [kWh/año/viv]	Demanda Agua[m3/año/viv]
ZT1	Antofagasta	1428	1005	198
ZT2	Viña del Mar	2241	1789	219
ZT3	Santiago	2509	2101	272
ZT4	Concepción	1757	1553	223
ZT5	Temuco	1453	1092	222
ZT6	Puerto Montt	1793	1573	188
ZT7	Punta Arenas	1916	5498	261

Como se puede apreciar en la tabla 3.1, la demanda de ACS aumenta de la ZT1 a la ZT7, debido principalmente a la temperatura exterior, ya que se requiere mayor energía para alcanzar la misma temperatura.

3.3 Ajuste de las demandas

Se tiene la demanda anual en cada zona térmica y los perfiles de consumo mensuales y horarios. Para agrupar ambos es necesario un perfil porcentual de consumo anual, que permita encontrar la demanda horaria a partir de su valor anual. Lo que se busca, no es la demanda de consumo encontrada anteriormente, sino un ajuste que indique el porcentaje del consumo anual que se gasta en un día y hora específico.

Para ello se desarrolla el ajuste anual donde h' es una hora del año específica, h es la hora del día y m es el mes correspondiente.

$$\text{porcentaje de consumo}_{h'} = \text{Ajuste mensual}_m \cdot \text{Ajuste diario}_m \cdot \text{Ajuste horario}_h \quad (25)$$

Los ajustes vienen dados del análisis de la demanda y no cambian proporción, solo que su componente es porcentual. Se presentan los resultados en las tablas 3.2.

Tabla 3.2: Ajuste mensual por vivienda [%]

Mes	Electricidad [%]	Agua [%]	ACS [%]
enero	8.14	9,27	6,90
febrero	7.89	8,95	7,43
marzo	7.64	8,94	8,23
abril	7.77	8,82	9,02
mayo	8.19	8,21	9,42
junio	9.11	7,80	9,55
julio	9.59	7,63	9,55
agosto	9.51	7,41	9,24
septiembre	8.55	7,60	8,76
octubre	8.03	7,96	7,96
noviembre	8.03	8,40	7,30
diciembre	7.55	8,99	6,63

Tabla 3.3: Perfil de consumo horario [%]

Hora	Eléctrico [%]	Agua [%]	ACS [%]
1	3,02	0,00	0,00
2	2,52	0,00	0,00
3	2,01	0,00	0,00
4	1,91	0,00	0,00
5	1,91	0,75	0,00
6	1,91	3,01	0,00
7	2,01	15,04	21,80
8	2,41	10,53	21,80
9	2,82	6,02	24,48
10	4,02	4,51	2,68
11	4,73	3,01	0,00
12	5,53	6,02	0,00
13	6,04	7,52	4,02
14	5,03	4,51	4,02
15	4,53	1,5	4,02
16	4,23	1,5	0,00
17	5,03	4,51	0,00
18	6,04	9,02	0,00
19	6,14	7,52	2,68
20	7,04	10,53	2,68
21	6,54	3,01	5,90
22	6,04	1,5	5,90
23	5,03	0,00	0,00
24	3,52	0,00	0,00

El ajuste diario se comporta de manera idéntica en las 3 demandas, ya que su variación depende del largo de los meses. Esto debido que se consideran idénticos los días de un mismo mes. Por ejemplo, para encontrar la demanda diaria de un día en febrero se divide por 28 la demanda mensual, mientras que en enero es por 31, se presentan los resultados en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Ajuste de consumo horario para cada mes [%]

Mes	Consumo [%]
enero	3,23
febrero	3,57
marzo	3,23
abril	3,33
mayo	3,23
junio	3,33
julio	3,23
agosto	3,23
septiembre	3,33
octubre	3,23
noviembre	3,33
diciembre	3,23

Ahora que se tienen todos los valores se realiza como ejemplo el ajuste que se tendría el 27 de mayo a las 11 AM, con la Ecuación (25):

Tabla 3.5: Ajuste de consumo para el día 27 de mayo a las 12 PM

Hora del año	Electricidad [%]	Agua [%]	ACS [%]
27 mayo 11 PM	$8.19 \times 4.73 \times 3.23$ $= 1.25 \times 10^{-4}$	$8.21 \times 3.01 \times 3.23$ $= 7.98 \times 10^{-5}$	$9.42 \times 0.00 \times 3.23$ $= 0.0$

En el ejemplo presentado tenemos la proporción del consumo anual un 27 de mayo a las 11 AM, al multiplicarlo por la demanda anual, definida para cada zona térmica. Se encuentra el consumo real que se tuvo a esa hora y día específico. En el cálculo final se repite este procedimiento para las 8760 horas del año en las 7 zonas térmicas.

3.4 Año típico solar

Se manejan a cabalidad las demandas horarias, el siguiente paso es buscar las condiciones meteorológicas que encapsulan el análisis. Para ello, se recurre al portal del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA en su red de agrometeorología [33].

En el portal, se busca radiación, temperatura del aire y velocidad del viento. Para ello se definen las estaciones meteorológicas más cercanas a las ciudades representativas de cada zona térmica, que monitoreen los parámetros buscados hace no menos 3 años. Las estaciones meteorológicas escogidas son las siguiente de norte a sur: Altos la Portada, Colliguay/ Quilpué, Rinconada/ U de Chile, Maipú, /Punta Parra, Tomé/ Aeródromo Maquehue, Padre las Casas/ Escuela Mirasol, Puerto Montt/ Punta Arenas Rural, Punta Arenas.

Antes de extraer lo parámetros, es necesario realizar un tratamiento previo a estos datos para evitar ciertos errores. La temperatura y radiación fluctúan de un año a otro, dependiendo de fenómenos meteorológicos, como sequias e inundaciones, además de otras anomalías como incendios forestales.

Para evitar estas desviaciones se buscan los datos mensuales históricos disponibles de los últimos 5 años, para cada zona térmica, estos valores se promedian y se contrastan para encontrar el valor más cercano a la media. Luego se unen los meses elegidos para formar un año típico que represente el lugar geográfico. En la tabla 3.6 se presentan la configuración de cada zona térmica.

Tabla 3.6: Configuración de año típico para las Zonas Térmicas

mes	ZT1	ZT2	ZT3	ZT4	ZT5	ZT6	ZT7
Enero	2020	2021	2020	2021	2020	2019	2022
Febrero	2022	2021	2022	2023	2020	2020	2021
Marzo	2022	2021	2022	2022	2021	2022	2023
Abril	2020	2021	2021	2021	2022	2019	2021
Mayo	2022	2022	2021	2023	2021	2019	2021
Junio	2023	2021	2022	2023	2020	2021	2020
Julio	2023	2022	2021	2020	2022	2021	2020
Agosto	2020	2022	2022	2022	2023	2023	2021
Septiembre	2023	2021	2022	2020	2023	2022	2022
Octubre	2021	2022	2022	2023	2023	2022	2021
Noviembre	2021	2021	2021	2023	2020	2023	2022
Diciembre	2023	2020	2021	2020	2021	2023	2023

Para cada casilla de la tabla 3.6 se descargan los datos horarios de cada mes. Luego se unen en 7 años típicos distintos que representan cada hora del año en su Zona térmica respectiva. La sumatoria de todos los datos se presentan de manera referencial en la tabla 3.7

Tabla 3.7: Datos Meteorológicos por Zona Térmica [33]

Zona Térmica	Radiación Total [kWh/año]	T° ambiente Promedio [°C]	Velocidad del viento[km/hora]
ZT1	1904,5	17,1	4,1
ZT2	1984,8	13,5	1,4
ZT3	1917,7	15,1	3,2
ZT4	1681,5	12,5	3,9
ZT5	1568,2	11,4	7,6
ZT6	1405,3	10,7	9,3
ZT7	1137,9	6,6	10,4

Se puede apreciar que la radiación y la temperatura se comportan de la misma manera, teniendo mayor impacto en las zonas térmicas del norte, mientras las del sur tienen mayor velocidad del viento.

CAPÍTULO 4: Calculo Físico

En esta sección se realiza el cálculo completo del sistema para una configuración específica, explicando paso a paso como se relacionan los equipos y usando una hora específica en el año como ejemplo.

Se hará el cálculo en la zona térmica tres, que representa el mayor número de personas, y el 27 de mayo a las 11 am. Se realiza en una zona y hora específica debido que son 8760 horas para las 7 zonas térmicas, además que se consideraron 60 configuraciones distintas, por lo que agregar todos los cálculos sería inadecuado para la comprensión. Se realiza uno como ejemplo, para entender el procedimiento, y se expondrán tablas con los resultados globales al final de cada capítulo.

4.1 Ángulos solares

Como se explicó en el marco teórico comprender la posición del sol es indispensable para encontrar la eficiencia de los equipos y por consiguiente la generación energética de cada uno.

Se utilizan las Ecuaciones (1), (2), (3), (4) y (5) expuesta en el marco teórico, para definir todos los ángulos necesarios para el cálculo de las distintas radiaciones.

Se realizan los cálculos con distintos valores que depende de la localidad, del día y hora del año, y de la orientación e inclinación del panel. Estos valores se presentan en la tabla 4.1, indicando para que Ecuación son necesarios.

Tabla 4.1: Datos para cálculo de ángulos solares en la zona 3 el 27 de mayo 11 AM

Angulo Solar	Valor	Ecuación
Hora Local	11 AM	(1)
Latitud	-33.6 °	(1)(5)(6)
Desfase horario	3	(1)
Longitud	-70.6°	(1)
Dia correlativo	147	(2)(4)
Inclinación	33.6°	(6)
Acimut panel	180°	(6)

Con todos los valores expuestos es posible utilizar las ecuaciones expresadas en el marco teórico para encontrar los ángulos solares requeridos. Los resultados se expresan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Ángulos solares para la zona 3 el 27 de mayo 11 AM

Angulo Solar	Valor Angulo [°]	Ecuación
Hora Solar	10.2	(1)
Angulo horario	-7.5°	(2)
Angulo de declinación	21.3°	(3)
Altitud Solar	34.7°	(4)
Angulo de incidencia	22.5°	(5)

Los ángulos encontrados representan la posición del sol para el ejemplo dado y permiten calcular la radiación total incidente a partir de la radiación global horizontal.

4.2 Radiación incidente

Para el cálculo de la radiación total incidente es necesario encontrar sus 3 componentes, para ello se utilizarán las Ecuación (7), (8), (9), (10), (11) y (13), expuestas en el marco teórico

Para realizar estos cálculos son necesarios los resultados encontrados en la sección anterior, además de otros valores, como la radiación global horizontal, I , que viene dada de los datos meteorológicos extraídos de la INIA, la radiación extraterrestre, G_{SC} , y los ángulos horarios, ω_1 y ω_2 .

Además, es necesario encontrar el coeficiente de reflectancia, ρ , el cual depende de la superficie en la cual se refleje. A partir de un análisis de coeficiente reflectivo en distintos recubiertas de techos, realizado por la empresa “Tejas Borja”, se selecciona tejas de arcilla, muy presentes en las construcciones rurales chilenas [34].

Tabla 4.3: Datos para cálculo de radiación total en panel para la zona 3 el 27 de mayo 11 AM

Datos	Valor	Ecuación
Radiación horizontal	498.9 [W/m ²]	(9)(10)(11)(13)
Radiación extraterrestre	1367 [W/m ²]	(8)
Angulo horario 1	-22.5°	(8)
Angulo horario 2	-7.5°	(8)
Día correlativo	147	(8)
Coeficiente de reflectancia	40%	(11)(13)

Con los valores expresados en la tabla 4.3, más los resultados de los ángulos solares encontrados anteriormente se realiza el cálculo, y se presentan los resultados en la tabla siguiente.

Tabla 4.4: Resultados radiación incidente para la zona 3 el 27 de mayo 11 AM

Valor buscado	Resultado	Ecuación
Rb	1.6	(7)
Radiación extraterrestre horaria	1051.8 [W/m ²]	(8)
Kt	0.47	(9)
Radiación difusa	341 [W/m ²]	(10)
Radiación directa	157 [W/m ²]	(10)(7)
Radiación reflejada	13.8 [W/m ²]	(11)
Radiación total en plano inclinado	484.7 [W/m ²]	(12)

Se aprecia que la radiación principal para esta hora específica, es la radiación difusa, esto se debe a la estación del año, que implica poca altitud solar y presencia recurrente de nubes. Otro concepto importante es que la irradiancia total es menor que la irradiancia horizontal global, esto debido que la componente difusa se reduce cuando el plano pierde visión del cielo.

Los cálculos expuestos para el día y hora específicos se realizan para las 8760 horas del año en las 7 zonas térmicas. Esto permite encontrar las radiaciones anuales, que son indispensables para el cálculo de eficiencia de los equipos generadores. Se presentan los resultados en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Radiación incidente en superficie inclinada para cada zona térmica [kWh/año] [33]

Zona Térmica	Radiación Directa	Radiación Difusa	Radiación Reflejada	Radiación Total incidente
ZT1	1157,0	743,5	31,9	1924,6
ZT2	1356,6	623,6	64,0	2040,0
ZT3	1291,1	623,3	64,0	2034,3
ZT4	1084,9	591,3	66,9	1701,8
ZT5	1014,3	549,8	68,8	1628,7
ZT6	841,8	559,2	70,2	1431,0
ZT7	714,6	417,6	90,7	1197,7

Se aprecia en la tabla 4.5, que la proporción de radiación difusa a directa incrementa a medida que las zonas se alejan del ecuador. Esto es debido a que la altura solar es menor en las zonas más al sur, además que se tiene un clima mucho más nuboso. Otra apreciación es el incremento de radiación reflejada, eso está directamente relacionado con la inclinación de los paneles, ya que se les otorga la latitud como inclinación, generando que el plano vea menos cielo.

4.3 Sistema Solar térmico

Para entender el comportamiento horario del sistema solar térmico es necesario definir ciertas características del sistema. En la conclusión se analizan configuraciones con 0, 1, 2, 3 colectores. Sin embargo, para esta sección se trabaja con 2 colectores y se hará el cálculo con calefón, bomba de calor y termo eléctrico para comprobar el efecto que tiene cada uno en el sistema.

El análisis del colector y el estanque se realizan en paralelo, debido que las ecuaciones dependen entre ellas. Al ser un cálculo iterativo, se considera sabido los resultados en la hora anterior, específicamente, la temperatura del estanque y el calor útil solar. Para la primera iteración se dan estos valores de manera arbitraria, considerando otras instalaciones similares [9].

Se utilizan las Ecuaciones (13), (14), (15), (16), (17) y (18) que describen las entradas y salidas de calor del sistema para luego ingresarlas a la Ecuación (19), que indica el cambio de temperatura dentro del estanque, que se considera como un fluido homogéneo.

4.3.1 Colector

Las entradas de calor del sistema es el calor útil solar, que depende de la radiación total, y de la eficiencia. La cual depende de las características del panel, cuya ficha técnica se encuentra en el anexo B, además de las temperaturas en instantes previos. Para ello se utiliza la Ecuación (13) y (14) donde se ingresan los datos expuestos en la tabla 4.6.

Tabla 4.6: datos para cálculo de entradas de calor en SST [Anexo B]

Angulo Solar	Valor	Ecuación
Eficiencia óptica	0.739	(13)
Factor de perdida lineal	5.051	(13)
Factor de perdida cuadrática	0.04	(13)
Temperatura estanque anterior	13.8 [°C]	(13)
Temperatura ambiente	1 [°C]	(13)
Área total colector	3.5 [m]	(14)

Con la radiación total calculada anteriormente y los valores expuestos se pueden encontrar los resultados de eficiencia y el ingreso de calor al sistema.

Tabla 4.7: eficiencia y calor útil solar en zona 3 el 27 de mayo 11 AM

Valor buscado	Resultado	Ecuación
Eficiencia	62.7 [%]	(13)
Calor útil	1263 [Wh]	(14)

4.3.2 Energía de consumo

Para el cálculo de las salidas, nos centramos en el agua caliente sanitaria consumida en la hora específica, la cual se obtiene del análisis de la demanda, de la temperatura del estanque y la temperatura de la red. Cabe destacar que para el consumo real horario es necesario agregar energía auxiliar, el calor de consumo solar refleja el cambio de temperatura del estanque, el cual no cambia su volumen de agua.

Tabla 4.8: datos para cálculo consumo de calor en SST.

Angulo Solar	Valor	Ecuación
Temperatura del estanque	16.6 [°C]	(26)
Temperatura de red	4.9 [°C]	(26)
Calor específico del agua	4186 [J/kg°C]	(26)
Flujo de consumo	5.99 [L/h]	(26)

Finalmente, el calor de consumo solar viene dado por la Ecuación (26).

$$Q_{consumo,solar} = \dot{M}_{consumo} * C_p * (T_{estanque} - T_{red}) \quad (26)$$

$$Q_{consumo} = 292.2 [Wh] \quad (26)$$

4.3.3 Perdidas

Otras salidas de calor del sistema son las pérdidas térmicas, que se dan en el estanque y en las cañerías, Para el cálculo del estanque se utiliza la Ecuación (16), que depende de las dimensiones y material, además de la diferencia de temperaturas.

Tabla 4.9: datos para cálculo perdidas estanque en SST.

Angulo Solar	Valor	Ecuación
Temperatura del estanque	16.6 [°C]	(16)
Temperatura de ambiente	1 [°C]	(16)
Área estanque	1.87 [m ²]	(16)
Espesor del aislante	0.05 [m]	(16)
Conductividad térmica	0.05 [W/mK]	(16)

El calor que se pierde por transferencia de calor en el estanque viene dado por la Ecuación (16).

$$Q_{p,estanque} = A \cdot \left(\frac{T_{estanque} - T_{ambiente}}{\left(\frac{e_{aislante}}{k_{aislante}} \right)} \right) \quad (16)$$

$$Q_{p,estanque} = 20.2 [Wh] \quad (16)$$

Para el caso de las cañerías es necesario realizar un análisis más exhaustivo. Primero se calcula el h convectivo con una solución empírica que depende del diámetro interno y externo de las cañerías. El coeficiente global de transferencia de calor para la tubería se calcula con el h convectivo y las dimensiones de la cañería, considerando la extensión de esta. Finalmente es posible encontrar las pérdidas de calor que se producen en las tuberías. Cabe destacar que el cálculo se realiza para el circuito de entrada y salida, con la temperatura del estanque y salida del colector respectivamente.

Tabla 4.10: datos para cálculo perdidas cañerías en SST.

Angulo Solar	Valor	Ecuación
Diámetro interno	0.0254 [m2]	(17)(18)
Diámetro externo	0.0454 [m2]	(17)(18)
Largo cañería	15 [m2]	(19)
Velocidad del viento	3.1 [m/s]	(17)

Los datos se ingresan a las Ecuaciones (17), (18) y (19) y se obtienen los resultados siguientes:

Tabla 4.11: Resultados perdidas cañerías en SST.

Angulo Solar	Valor	Ecuación
h convectivo	27.06	(17)
Coefficiente de transferencia global	2.77	(18)
Perdidas cañerías	152.5 [Wh]	(19)

Finalmente, la variación de temperatura en el estanque viene dado por el balance energético, la cual se suma a la temperatura anterior, cerrando el sistema de ecuaciones.

$$\Delta T = \frac{(Q_{\text{util}} - Q_{\text{Perdidas}} - Q_{\text{Consumo}})}{(m * C_p)} \quad (15)$$

$$\Delta T = 2.5 \quad (15)$$

Luego la temperatura actual del estanque se calcula:

$$T_{\text{estanque,actual}} = T_{\text{estanque,anterior}} + \Delta T \quad (X)$$

$$T_{\text{estanque,actual}} = 16.6 \quad (X)$$

Ahora que se comprende el procedimiento para calcular las entradas y salidas del sistema solar fotovoltaico, se pueden expresar los resultados generales para las 7 zonas térmicas.

Tabla 4.12: Resultado balance energía para 2 colectores en 7 ZT [kWh/año]

Zona Térmica	Rendimiento SST	Energía útil	Energía Demandada	Energía consumo solar	Perdidas
ZT1	42%	2853	1005	985	1858
ZT2	46%	3392	1789	1694	1684
ZT3	49%	3538	2101	1950	1577
ZT4	45%	2842	1553	1362	1471
ZT5	43%	2607	1092	952	934
ZT6	46%	2588	1573	1232	1345
ZT7	58%	2879	5498	2311	568

La tabla 4.12 muestra que la configuración seleccionada está sobredimensionada para las demandas de 6 zonas térmicas. Esto lleva a grandes pérdidas y una baja en el rendimiento del SST. Sin embargo, Punta Arenas la demanda es superior a la energía útil, lo que genera un buen rendimiento y unas pérdidas anuales aceptables.

4.3.4 Cálculo de sistemas auxiliares

Como se puede apreciar en la sección anterior la demanda energética por ACS puede ser mayor que el calor de consumo solar, principalmente en los meses de invierno y en la madrugada antes que el colector pueda ingresar energía al sistema.

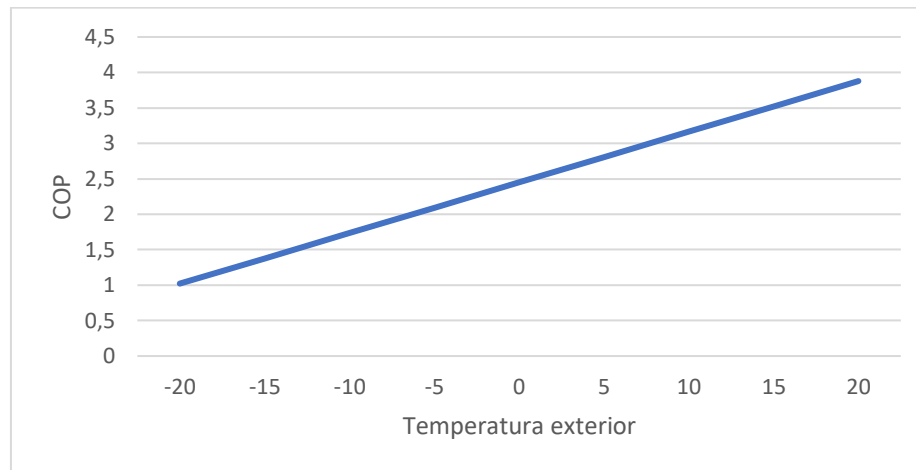
Para encontrar la energía que se requiere horariamente, se resta la energía de consumo solar a la demanda teórica.

$$Q_{auxiliar} = Q_{demanda} - Q_{consumo,solar} \quad (15)$$

$$Q_{auxiliar} = 638.9 [Wh] \quad (15)$$

La energía auxiliar que se requiere el 27 de mayo a las 11 AM, en la Zona térmica 3 es el 68 % de la demanda originalmente. Es una porción mayor, sin embargo, esto se condice con la estación del año, a una hora de alta demanda.

Una bomba de calor es el equipo que puede suplir el déficit de manera más eficiente. El cálculo del COP depende exclusivamente de la temperatura exterior y se realiza para cada hora del año, con la extrapolación lineal de las eficiencias nominales a distintas temperaturas [Anexo E].

Figura 4.1: COP vs Temperatura en bomba de calor

La temperatura exterior en el instante analizado es de 1 °[C], lo que entrega un COP de 2.52. Este valor significa que la energía eléctrica que utiliza la bomba de calor, rinde 1.5 veces su valor

Otro equipo que puede suplir la demanda es un termo eléctrico. Estos funcionan con una resistencia eléctrica que entrega calor directamente, esto significa que tienen una eficiencia cercana al 100%. Sin embargo, hay que considerar las pérdidas, esto se realiza a través de la Ecuación (16), ya que, el estanque solar se comporta de manera similar a un termo eléctrico. Cabe destacar que la temperatura del termo se puede considerar constante, y las pérdidas solo dependen la temperatura ambiente.

El calefón es el equipo que se considera en el caso base, y su eficiencia ronda el 89 %, lo que implica un buen desempeño. Además, el costo del gas por kilovatio hora es menor que el eléctrico, lo que implica una mejoría del punto de vista económico.

Se presentan los resultados compilados para las 7 zonas térmicas en la tabla 4.14

Tabla 4.13: Resultados equipos auxiliares con 2 colectores por ZT [kWh/año]

Zona Térmica	Demanda Auxiliar	COP BB de calor	Consumo BB de calor	Consumo Termo eléctrico	Calefón
ZT1	19.9	3.6	7.68	19.9	17.8
ZT2	94.9	3.3	41.5	94.9	106.6
ZT3	150.6	3.4	62.5	150.6	169.2
ZT4	191.1	3.2	85.1	191.1	214.7
ZT5	140.1	3.2	65.0	140.1	157.4
ZT6	340.7	3.1	160.1	340.7	382.8
ZT7	3187	2.8	1740.0	3187	3571.3

4.4 Sistema fotovoltaico

Para el análisis de la generación eléctrica es necesario definir ciertos parámetros, el principal es número paneles, y la selección del inversor. En esta sección se trabajará con un sistema on-grid que contempla dos módulos fotovoltaicos de 660 [Wp] y un inversor de 2 [kW].

4.4.1 Panel Fotovoltaico

Al igual que para el colector, es necesario calcular la eficiencia de manera instantánea, para encontrar el resultado más apegado a la realidad. El factor principal que influye en el rendimiento de un panel es su temperatura de operación, la cual se calcula con el mismo rendimiento. Para ello se realiza un cálculo iterativo que comienza con valores asignados de manera arbitraria.

Se utilizan las Ecuaciones (20), (21) y (22) que describen la generación real de energía eléctrica para cualquier hora del año. Se mantiene la hora y día de ejemplo, que se ha utilizado en todo el análisis.

La eficiencia nominal viene dada por el fabricante y es válida a una temperatura específica, llamada T_{Noct} . De la misma forma, el fabricante proporciona un coeficiente de temperatura, el cual indica la pérdida de eficiencia por grado ganado [16]. Además, es necesario manejar datos meteorológicos, como la velocidad del viento, la temperatura ambiental y la radiación total a la hora seleccionada

Tabla 4.14: datos para cálculo perdidas cañerías en SST.

Angulo Solar	Valor	Ecuación
Eficiencia nominal modulo	21.6 [%]	(20)(21)
T_{noct}	44 [°C]	(20)(21)
T_0	20 [°C]	(20)
$\tau\alpha$	0.9	(20)
Temperatura ambiente	1 [°C]	(20)
Velocidad del viento	3.1 [m/s]	(20)
Radiación total en plano inclinado	484.7 [W/m ²]	(22)

Se realizan 2 iteraciones para las Ecuaciones (20) y (21) ingresando los resultados de la primera en la segunda y se obtienen los resultados expuestos a continuación.

Tabla 4.15: datos para cálculo pérdidas cañerías en SST.

Angulo Solar	Valor	Ecuación
T_1	5.4 [°C]	(20)
η_1	21.9 [%]	(21)
T_2	9.5 [°C]	(20)
η_2	22.1 [%]	(21)
Rendimiento inversor	95 [%]	(22)

Cabe destacar que la temperatura ambiente es de 1 [°C] a una hora que ha habido poco recurso solar, esto implica que la temperatura del módulo sea muy baja y permita eficiencias elevadas.

Se realizan los cálculos expuestos anteriormente para todas las horas del año en cada zona térmica, y se presentan la sumatoria de los resultados a continuación:

Tabla 4.16: Generación de SFV de 2 paneles y consumo de ZT3 [kWh/año]

Zona Térmica	Demanda Eléctrica	Energía producida	Consumo Directo	Energía inyectada	Energía comprada
ZT1	1468	2429	645	1785	824
ZT2	2285	2291	936	1655	1349
ZT3	2564	2579	1048	1531	1516
ZT4	1802	2233	730	1503	1072
ZT5	1498	2161	613	1548	885
ZT6	1831	2010	712	1298	1119
ZT7	1969	1773	705	1068	1264

Se aprecia que, aunque la generación excede a la demanda, igual se compra más energía de la que se consume directamente. Esto resalta la importancia de la ley de generación distribuida, que permite hacer uso de más de la mitad de la electricidad generada, la cual se perdería. Además, la inyección de energía tiene un valor 40% menor que la compra, esto implica que con la configuración escogida el balance de costo eléctrico sería cercano a 0, en casi todos los casos.

CAPÍTULO 5: Costos base

5.1 Costos base

Para poder realizar el análisis económico es necesario manejar los costos base de una vivienda rural, además se realiza una cotización exhaustiva de todos los equipos antes mencionados. Con el manejo de ambos costos es posible realizar el flujo de caja de las 60 configuraciones del proyecto. Y así encontrar la configuración más rentable.

5.1.1 Costo ACS

El caso base que se utiliza en este informe, considera que la totalidad del ACS sea suplida por un calefón, el cual es alimentado por gas. Con el afán de encontrar el gasto base de una vivienda chilena es necesario estudiar el costo de este combustible en las distintas regiones del país.

A partir de informe de la CNE sobre hidrocarburos y de la demanda de ACS por zona térmica, es posible calcular el gasto anual en todo el territorio nacional, considerando además la eficiencia del equipo. Los resultados se presentan en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1: Gasto anual ACS por ZT [35]

Zona Térmica	Demanda de ACS [kWh/año]	Costo [pesos/5kg]	Eficiencia del calefón	Consumo de gas [kg/año]	Gasto anual [pesos/año]
ZT1	1005	\$ 12.533	87,0%	76,9	\$ 192.681
ZT2	1789	\$ 13.833	87,0%	136,8	\$ 378.569
ZT3	2101	\$ 12.955	88,0%	160,7	\$ 416.372
ZT4	1553	\$ 12.733	88,0%	118,8	\$ 302.497
ZT5	1092	\$ 12.700	88,0%	83,5	\$ 212.151
ZT6	1573	\$ 13.267	89,0%	120,3	\$ 319.242
ZT7	5498	\$ 9.300	89,0%	420,5	\$ 782.179

Se ve que a pesar de que en Punta Arenas el costo del gas es el más bajo de Chile, sigue siendo el lugar con mayor gasto, debido al clima que genera una vasta demanda.

5.1.2 Costo Eléctrico

De la misma manera que para el ACS, es necesario calcular el costo eléctrico anual que tienen las familias chilenas, para ello se analizan las tarifas de suministro de las compañías que distribuyen la energía eléctrica.

Para el cálculo del cobro anual se utiliza la Ecuación (16), vista en el marco teórico de la ley de distribución. Al no haber generación, no se considera inyección y solo se cobra por la energía comprada

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{base} &= \text{Cargo}_{adm} + E_{comprada} \\ &\times (\text{Cargo}_{generación} + \text{Cargo}_{trasmisión} + \text{Cargo}_{distribución}) \end{aligned} \quad (16)$$

Tabla 5.2: Desglose de cobro por empresa distribuidora

Zona Térmica	Empresa Distribuidora	Cargo Fijo [pesos/mes]	Cargo Compra [pesos/kWh]	Precio Inyección [pesos/kWh]	Gasto anual base[pesos]
ZT1	CGE (elecda)	\$ 986	\$ 220	\$ 84	\$ 326.540
ZT2	CGE (conafe)	\$ 986	\$ 254	\$ 112	\$ 580.763
ZT3	ENEL	\$ 674	\$ 201	\$ 89	\$ 512.840
ZT4	CGE	\$ 986	\$ 236	\$ 94	\$ 426.036
ZT5	CGE	\$ 986	\$ 253	\$ 94	\$ 378.955
ZT6	SAESA	\$ 1.143	\$ 211	\$ 80	\$ 392.747
ZT7	Edelmag	\$ 2.142	\$ 178	\$ 83	\$ 365.812

Se observa que las compañías tienen distintos sistemas de cobro, con una variación de hasta 30% en el precio de compra por kilovatio hora. Esto puede tener un impacto considerable en la evaluación económica, debido a que el costo de los equipos no varía, entonces un sistema fotovoltaico es considerablemente más rentable en zonas de alto precio. De la misma manera es más favorable una bomba de calor o termo eléctrico en sectores de bajo costo.

5.2 Costo Equipos

5.2.1 Costo Sistema Solar Térmico

El costo asociado a instalar un sistema de solar térmico varía dependiendo de su configuración, cantidad de paneles, tamaño del estanque, entre otros factores. Con el objetivo de determinar un precio de referencia, se realizó una cotización exhaustiva con distintos proveedores de los equipos necesarios, con lo cual, se realizó un promedio y se seleccionó el proveedor que más se acercara. Para el colector se escogió un modelo solar SolarFlame de 2.72 [m²], que tiene un valor de \$309.990 [36]. El estanque seleccionado es un estanque vertical Enamel de 200 [L], que tiene un valor de \$265.000 [37]. Además, se consideró un 40% adicional sobre el valor de los equipos para cubrir el gasto de instalación y piezas menores, esta proporción se estimó a partir de las cotizaciones previamente realizadas que contemplaban instalación.

En la tabla siguiente se presenta la inversión de cada configuración para un SST, además se agrega referencialmente el ahorro que se genera en la Zona térmica 3

Tabla 5.3: costo SST y ahorro para ZT3 [kWh/año]

Cantidad de paneles	Inversión calefón	Ahorro anual	Inversión con BB de calor	Ahorro anual	Inversión con Termo eléctrico	Ahorro anual
0	\$0	\$0	\$1.920.885	\$243.944	\$279.990	-\$6.317
1	\$747.487	\$284.861	\$2.668.372	\$358.508	\$1.027.477	\$282.871
2	\$1.057.477	\$386.513	\$2.978.362	\$402.317	\$1.337.467	\$386.061
3	\$1.367.467	\$402.331	\$3.288.352	\$409.623	\$1.647.457	\$402.119

Cabe destacar que el ahorro que se aprecia en la tabla es válido solo para la Zona térmica 3, el resto de los resultados se pueden encontrar en el Anexo A. De la primera fila, se deduce que el remplazo del calefón por un termo eléctrico genera un gasto anual positivo, si es que no se combina con un SFV.

5.2.2 Costo Sistema Fotovoltaico

El costo de los sistemas fotovoltaicos depende de su potencia y configuración. Sin embargo, para el caso de instalaciones con conexión a la red de menos de cinco [kWp], es de aproximadamente \$1.500.000, basándose en el índice de precios realizado por el gobierno chileno, a través del proyecto Nama Chile [38].

Usando el índice como guía y apoyándose en una cotización exhaustiva, se decantó por utilizar los equipos descritos a continuación. Para los módulos se escogió un panel risen de 660 [Wp]. Para el inversor se escogió la marca GroWatt con potencias de 2 a 3.6 [kW], dependiendo de la cantidad de paneles.[39][40] El medidor, las piezas pequeñas y la mano de obra se le asigna un 50% del precio final según el estudio antes mencionado [38].

Se realiza un procedimiento similar al anterior para encontrar la inversión de las distintas configuraciones, además de entregar un ahorro referencial.

Tabla 5.4: costo SFV y ahorro para ZT3 [kWh/año]

Cantidad de paneles	Inversión calefón	Ahorro anual	Inversión con BB de calor	Ahorro anual	Inversión con Termo eléctrico	Ahorro anual
0	\$0	\$0	\$1.920.885	\$243.944	\$279.990	-\$6.317
1	\$1.279.960	\$220.764	\$3.200.845	\$481.558	\$1.559.950	\$242.944
2	\$1.759.940	\$349.112	\$3.680.825	\$617.903	\$2.039.930	\$407.683
3	\$2.239.920	\$469.963	\$4.160.805	\$742.961	\$2.519.910	\$536.739
4	\$2.859.900	\$522.048	\$4.780.785	\$864.738	\$3.139.890	\$661.194

Los sistemas fotovoltaicos son más costosos que los SST, sin embargo, generan un ahorro mayor, especialmente si se combina un sistema de ACS que funcione con electricidad. Esto se explica porque el gasto para calentamiento de agua se reduce a la vez que el gasto eléctrico.

5.2.3 Costo bombas de calor para ACS

El Gobierno realizó un índice de precios de estos equipos, y arrojó un valor de \$1.500.000 por la instalación de ellos. En la cotización independiente realizada online se encontraron valores bastante superiores que bordeaban los 2.5 millones en instalaciones menores, esta discrepancia se asocia a un fenómeno inflacionario. Sin embargo, para el cálculo económico se utiliza el costo de instalación entregado por el gobierno [41].

5.2.4 Costos Termos eléctricos

Esta tecnología está bastante consolidada hace varios años, por lo cual los precios son bastante homogéneos y no es necesario realizar una cotización tan exhaustiva. Se decantó por el modelo que ofrece Mademsa, de 120 [L] el cual tiene un costo en línea de \$279.990.[37] Se utiliza este valor para cualquier configuración que contemple el uso de un termo eléctrico.

5.2.5 Costo Bomba sumergible

A pesar de que el caso base considera una bomba, se realiza la cotización de la instalación para usar de referencia. La norma chilena exige un mínimo de cinco m.c.a, para el funcionamiento normal de una red residencial. Considerando pérdidas de potencia se recurre a un sistema que eleve el agua a seis metros de altura.

La configuración seleccionada para esta aplicación es una bomba Subline de 0.8 [HP] que tiene un valor de \$417.398, un estanque de acumulación BioPlastic de 2000[L], con un valor de \$202.983 y finalmente una torre mecano para estanques de agua de seis metros construida por AquaTower [42], [43], [44].

CAPÍTULO 6: Elección de Configuración

Para la elección de la configuración final se considera un hogar ya funcional, con los equipos y configuración que se encuentran generalmente en una vivienda rural. Esto implica que incluye una estufa a leña, un calefón y una bomba sumergible.

El objetivo principal es el consumo neto 0, por lo tanto, la configuración que se elija será una que tenga colectores y/o paneles fotovoltaicos suficientes para suplir la demanda total. Una vez cubierto este requisito, se buscará la rentabilidad, usando criterios como el VAN y el TIR para determinar la viabilidad y atractivo económico.

Primero se analizan las tecnologías de generación por sí solas. Los colectores solares son una tecnología muy rentable, tienen un tiempo de recuperación económica promedio de cuatro años, llegando a 2,6 en algunas regiones. Al analizar el costo por kilovatio hora del caso base, se encuentra que para ACS es de \$190 y la electricidad es en promedio \$222, esto implica que los SFV generan mayor ahorro que los SST. Sin embargo, el alto costo de inversión implica un payback de siete años.

Considerando que hay tres equipos de energía auxiliar; calefón, bomba de calor, termo eléctrico, y dos equipos de generación, que además pueden ser aplicados múltiples veces, se realiza el análisis en tres partes. Primero se selecciona un equipo auxiliar para el ACS, y en esta conformación se prueban todas las posibles configuraciones con máximo tres colectores y cuatro paneles fotovoltaicos. Todos los resultados para las distintas zonas térmicas se presentan en el anexo A.

La primera selección se basó en cumplir el objetivo principal de un consumo neto cero. En la siguiente tabla, se exponen las configuraciones mínimas que puedan realizar la tarea. Cabe destacar que, por la ley de autoconsumo, todas las soluciones contemplan paneles fotovoltaicos.

Tabla 6.1: Selección de Configuración mínima

Zona Térmica	Configuración mínima mixta	Consumo neto Configuración mixta	Inversión Configuración mixta	Configuración solo paneles	Consumo neto solo paneles FV	Inversión solo paneles FV
ZT1	1 C y 2 P	-773	\$2.507.427	2 P	36	\$1.759.940
ZT2	2 C y 2 P	-215	\$2.817.417	3 P	160	\$2.239.920
ZT3	3 C y 2 P	44	\$3.127.407	4 P	-533.3	\$2.859.900
ZT4	2 C y 2 P	-239	\$2.817.417	3 P	-13	\$2.239.920
ZT5	1 C y 2 P	-313	\$2.507.427	3 P	-665	\$2.239.920
ZT6	1 C y 2 P	-456	\$2.987.407	4 P	-625	\$2.859.900
ZT7	3 C y 5 P	-14.4	\$4.967.347	9 P	-558	\$5.859.800

La Zona Térmica siete no alcanza el objetivo dentro de los parámetros establecidos, por lo tanto, se expande la búsqueda a combinaciones más abundantes de colectores y SFV. Se encuentran configuraciones bastante superiores al resto, esto debido a la menor radiación y mayor demanda que tiene.

Se aprecia que la inversión mínima para que una casa sea de consumo cero, en cualquier zona de Chile, es de 1,8 millones de pesos. Esta configuración incluye dos paneles fotovoltaicos y su respectivo inversor. Sin embargo, estos resultados no contemplan el ahorro económico anual, ni las distintas tecnologías auxiliares que pudieran rentabilizar la conformación. Para ello se recurre a la evaluación económica.

CAPÍTULO 7: Evaluación económica

Lo primero que se entrega son los costos bases sobre los cuales se apoya el análisis.

Tabla 7.1: Costos bases por ZT

Zona Térmica	Costo electricidad	Costo Gas	Costo anual por vivienda
ZT1	\$ 314.704	\$ 192.681	\$ 507.385
ZT2	\$ 568.927	\$ 378.569	\$ 947.496
ZT3	\$ 504.754	\$ 416.372	\$ 921.126
ZT4	\$ 414.200	\$ 302.497	\$ 716.697
ZT5	\$ 367.119	\$ 212.151	\$ 579.270
ZT6	\$ 379.028	\$ 319.242	\$ 698.269
ZT7	\$ 340.109	\$ 782.179	\$ 1.122.288

Se utilizan los parámetros del VAN y el TIR como métricas económicas para determinar qué proyectos son más rentables. Además, dentro de las soluciones se busca que tenga menor inversión inicial, para ampliar el alcance hacia viviendas de menores recursos.

Se definen ciertos parámetros necesarios para encauzar el análisis. Primero la tasa de descuento es de 6 %. Además, se considera como ingresos los ahorros generados, imponiendo un máximo en el gasto anual básico.

Lo primero que arroja el análisis es lo rentable que son los equipos de generación. Esto genera que las tecnologías de ahorro energético no sean muy rentable. En este contexto el calefón destaca como la opción predominante, ya que las necesidades de energía auxiliar se minimizan al acercarse al consumo neto cero.

El primer resultado que se busca es el de mayor VAN de todas las configuraciones que cumplan con demanda neta cero y se presenta en la tabla 7.2.

Tabla 7.2: Soluciones con mayor VAN en cada ZT (Anexo A)

Zona Térmica	Demanda energética neta [kWh/año]	Costo anual por vivienda	Configuración con mayor VAN	VAN	Inversión inicial	Ahorro
ZT1	2479	\$507.385	1 C y 2 P	\$13.502.082	\$2.507.427	\$449.560
ZT2	4076	\$947.496	2 C y 3 P	\$52.054.735	\$3.297.397	\$931.965
ZT3	4656	\$921.126	2 C y 3 P	\$44.434.524	\$3.297.397	\$854.760
ZT4	3356	\$716.697	2 C y 3 P	\$28.057.506	\$3.297.397	\$688.833
ZT5	2591	\$579.270	2 C y 3 P	\$16.866.826	\$3.297.397	\$575.453
ZT6	3412	\$698.269	2 C y 3 P	\$18.488.940	\$3.297.397	\$591.887
ZT7	7460	\$1.122.288	4 C y 5 P*	\$24.767.804	\$5.557.327	\$931.442

La zona térmica siete es la única que utiliza una tecnología que no sea el calefón. Esto se debe a que las soluciones que cumplen el objetivo son pocas, generando un sesgo que favorece la opción de termo eléctrico.

Además, destacamos la configuración predominante, con dos colectores y tres paneles fotovoltaicos, como la más rentable en cinco de las siete zonas térmicas.

Otra evaluación importante es la que tenga menor inversión inicial, ya que ésta es más sencilla de implementar y puede ser aplicada por un mayor número de usuarios.

Tabla 7.3: Soluciones con menor inversión inicial en cada ZT [Anexo A]

Zona Térmica	Demanda energética neta [kWh/año]	Costo anual por vivienda	Configuración con menor Inversión	Valor Actual Neto	Inversión inicial	Ahorro anual
ZT1	2479	\$507.385	0 C y 2 P	\$7.134.744	\$1.759.940	\$293.464
ZT2	4076	\$947.496	0 C y 3 P	\$29.554.048	\$2.239.920	\$576.387
ZT3	4656	\$921.126	2 C y 2 P	\$38.069.147	\$2.817.417	\$734.489
ZT4	3356	\$716.697	0 C y 3 P	\$14.611.574	\$2.239.920	\$424.995
ZT5	2591	\$579.270	0 C y 3 P	\$11.208.789	\$2.239.920	\$390.519
ZT6	3412	\$698.269	2 C y 2 P	\$15.517.617	\$2.817.417	\$506.005
ZT7	7460	\$1.122.288	3 C y 5P	\$19.561.574	\$4.967.347	\$805.147

Cabe destacar que la instalación de colector solar desaparece cuando se busca la configuración más barata. Este fenómeno se da porque la energía fotovoltaica puede suplir toda demanda energética, mientras que los colectores solares solo pueden suplir las necesidades de agua caliente sanitaria.

CAPÍTULO 8: Conclusión

El sistema auxiliar de calentamiento de agua que mejor se adapta a la condición de demanda neta cero es el calefón. Cuando se alcanza el equilibrio energético, las necesidades auxiliares caen drásticamente, volviendo intrascendente el resto de las soluciones más costosas, a pesar de ser más eficientes.

Las Zonas uno a seis se comportan de manera similar, encontrando dos colectores y tres paneles como la solución de mayor VAN, y solo dos paneles, cuando se busca menor inversión inicial. En este contexto los sistemas fotovoltaicos destacan, debido que pueden producir energía por sobre la demanda eléctrica, volviéndose fundamental en el objetivo principal.

Sin embargo, los sistemas de concentración son mucho más eficientes en la captación de energía solar. Si el criterio de selección fuera más centrado en el ahorro económico, como una casa sin costos fijos, los colectores jugarían un rol más importante.

La zona térmica siete escapa al marco de búsqueda, obligando a aumentar los parámetros, para encontrar alguna configuración que satisfaga su gran demanda. Esto sumado a la relativa poca radiación, nos entrega que el resultado menos costo es de tres colectores y cinco paneles y el mejor VAN se encuentra instalando un termo eléctrico, con cuatro colectores y cinco paneles, La única solución de todo el análisis que no recomienda mantener el calefón. Una posible explicación a este fenómeno es que el universo de soluciones es tan pequeño para este caso, que se genera un sesgo. La configuración de cuatro colectores y cuatro paneles con calefón tiene un VAN considerablemente mayor, pero queda corto al objetivo principal con una demanda neta de 359 [kWh].

Una solución para llegar al resultado en esta zona tan inhóspita es el uso de otras tecnologías de generación, como la energía eólica y geotérmica [45]. Específicamente la eólica, debido al avance técnico que ha en el sector residencial, como los sistemas VAWT, además de altas velocidad de viento durante todo el año [46].

Una de las principales limitaciones que tiene el análisis es la restricción estricta de demanda neta cero. En trabajos futuros, se podría ampliar el análisis incorporando el cálculo detallado de la demanda de calefacción. Esto permitiría evaluar con mayor exactitud las necesidades de las viviendas rurales en función de las condiciones climáticas de cada región. Además, se podrían explorar tecnologías adicionales de generación energética, como sistemas eólicos o solares térmicos avanzados, que complementen los equipos estudiados y optimicen el rendimiento general.

Otra posible línea de investigación sería la definición de objetivos alternativos, como la reducción del costo neto a cero. Esto requeriría un enfoque que considere tanto la eficiencia como el aspecto económico de las tecnologías, buscando soluciones más accesibles y sostenibles para las comunidades rurales.

REFERENCIA

- [1] CNE, “Anuario estadístico de energía,” 2023.
- [2] SISS, “Boletín Mensual Consumos de Agua Potable-abril 2023,” 2023.
- [3] C. O. Yáñez Adelqui Fissore SCh Arturo Leiva G Colaboradores Carla Bardi A Adrian Jara C Rodrigo Maulen, “Informe final de usos de la energía de los hogares Chile 2018.”
- [4] J. Moreno, J. P. Medina, and R. Palma-Behnke, “Latin America’s Renewable Energy Impact: Climate Change and Global Economic Consequences,” *Energies (Basel)*, vol. 17, no. 1, 2024, doi: 10.3390/en17010179.
- [5] C. Vásquez, D. Valdivia, H. Contreras, and M. Sepúlveda, “Identificación y Cuantificación de Potenciales de Energías Renovables 2021,” 2021.
- [6] G. de Chile Ministerio de Energía, “Nueva Regulación de la Generación Distribuida para el Autoconsumo,” 2019.
- [7] Ministerio de Energía, “Ruta de la luz,” <https://energia.gob.cl/mini-sitio/ruta-de-la-luz>.
- [8] Amulén, “Pobres de agua, radiografía del agua rural de Chile.”
- [9] J. a. Duffie and W. a. Beckman, “Solar engineering of thermal processes, 3rd edition,” 2006.
- [10] D. R. Clark, S. A. Klein, and W. A. Beckman, “Algorithm for evaluating the hourly radiation utilizability function,” *Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME*, vol. 105, no. 3, 1983, doi: 10.1115/1.3266379.
- [11] S. Kalogirou, *Solar Energy Engineering*. 2009. doi: 10.1016/B978-0-12-374501-9.X0001-5.
- [12] I. Illanes Ortega and M. Travieso Ganaza, “SISTEMAS SOLARES TÉRMICOS II, Guía de Diseño e Instalación para Grandes Sistemas de Agua Caliente Sanitaria,” *El mar. - Imágenes y escrituras*, 2016.
- [13] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Principles of heat and mass transfer*, vol. 6th. 2013.
- [14] Z. Wang, M. B. Luther, M. Amirkhani, C. Liu, and P. Horan, “State of the art on heat pumps for residential buildings,” *Buildings*, vol. 11, no. 8, 2021, doi: 10.3390/buildings11080350.
- [15] Ministerio de Energía, “ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA EL DISEÑO DE LA ETIQUETA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA ARTEFACTOS DE PRODUCCIÓN INSTANTÁNEA DE AGUA CALIENTE, PARA USO DOMÉSTICO, QUE UTILIZAN COMBUSTIBLES GASEOSOS (CALEFONES),” 2017.
- [16] O. Dupré, R. Vaillon, and M. A. Green, *Thermal behavior of photovoltaic devices: Physics and engineering*. Springer International Publishing, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-49457-9.

- [17] W. Van Sark, "Photovoltaic system design and performance," *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 10, 2019, doi: 10.3390/en12101826.
- [18] Ministerio de energia, *Ley 20571*. 2012.
- [19] Ministerio de energia, "Ley 21118," 2018.
- [20] Instituto nacional de normalizacion, "Norma-Chilena-0691-2015-Agua-potable-Produccion-conduccion-almacenamiento," 2015.
- [21] F. Fonseca, R. Montalba, and M. García, "Social networks, social capital, and collective action in two rural areas of la Araucania region, Southern Chile, to address problems related to the access to water," *Papers*, vol. 100, no. 4, 2015, doi: 10.5565/rev/papers.2169.
- [22] Asociación de Municipios Rurales "AMUR CHILE," "Recursos Hídricos, desertificación y Sequia," 2021.
- [23] Gaspa Services e Ingenieria Ltda, "INSTALACION BOMBA DE POZO PROFUNDO," <https://www.gaspaservices.cl/bombas-de-agua/bombas-sumergibles/pozo-profundo-6-/instalacion-bomba-de-pozo-profundo.php>.
- [24] CNE, "Consumo Eléctrico Anual por Comuna y Tipo de Cliente," <http://energiaabierta.cl/datasets-estadistica/consumo-electrico-anual-por-comuna-y-tipo-de-cliente/>.
- [25] Sernac, "Consumo de agua," <https://www.sernac.cl/portal/607/w3-article-1576.html>.
- [26] CDT, "Diseño y Dimensionamiento de Sistemas Solares Fotovoltaicos," 2013.
- [27] emapal, "¿Cuánta agua consumes en casa?," <https://www.emapal.cl/2022/07/18/cuanta-agua-consumes-en-casa/>.
- [28] J. Vera, "ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA VIVIENDA CERO ENERGÍA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA," 2022.
- [29] Instituto Nacional de Normalización, "Zonificación climático habitacional para Chile y recomendaciones para el diseño arquitectónico," 2024.
- [30] gobierno de C. Ministerio de vivienda, "PLANO ZONIFICACION TERMICA".
- [31] S. de D. R. y A. Unidad de Saneamiento Sanitario, "Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural," 2018.
- [32] G. de C. Ministerio del Medio Ambiente, "Consumo Total de Agua Potable," <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2023/12/C-ConsumoAgua.xlsx>.
- [33] INIA, "Red agrometeorológica," <https://agrometeorologia.cl/>.
- [34] Tejas Borjas, "Índice de reflectancia para distintos techos," 2021.

- [35] CGE, “Precio Mensual Regional GLP,” <https://www.cne.cl/estadisticas/hidrocarburo/>.
- [36] Termic, “Colector solar 2.72m Solar flare,” https://www.termoelectrico.cl/pagina-del-producto/colector-solar-2-72-m2-solarflame?srsltid=AfmBOoqXr5UppRANnOcYruv-O18AxC_JG9FA0JG9G76dYCi01Ro2QCQe.
- [37] Madema.com, “Termo Eléctrico Mademsa 120 Litros Mural Term 120 Blanco,” https://www.tiendamadema.cl/termo-madema-term-120/p?idsku=1155&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwy8i0BhAkEiwAdFaeGGmteuerHcWPz9XICSxiGYRyCA1yqNPMGXf0BdFIVQFHLrPuZYHN9BoCXfwQAvD_BwE#datasheet-tab.
- [38] NAMA, “Índice de Precios de Sistemas Fotovoltaicos (FV), conectados a ala red de distribución comercializados en Chile,” 2020.
- [39] Natural Energy, “Panel Solar 660W Monocristalino Risen,” <https://www.naturaenergy.cl/product/panel-solar-660w-monocristalino-risen>.
- [40] Natural Energy, “Inversor On Grid 2000W Growatt MIC2000TL-X,” <https://www.naturaenergy.cl/product/inversor-on-grid-2000w-growatt-mic2000tl-x>.
- [41] NAMA, “Índice de Precios, Bombas de calor Geotérmicas y Aerotérmicas en Chile,” 2020.
- [42] bombasproservices, “BOMBAS SUMERGIBLES SUBLINE PARA POZOS PROFUNDOS,” <https://bombasproservices.cl/producto/bomba-subline-ff95-7-m-08hp-220v/>.
- [43] Bioplastic, “ESTANQUES ACUMULACION ESTANQUE VERTICAL ESTANDAR 2000 LTS,” <https://www.bioplastic.cl/producto/estanque-vertical-estandar-2000-lts-eva2000#>.
- [44] aquatower, “Torre Mecano para Estanques de Agua 6 metros ‘RIÑIHUE,’” <https://aquatower.cl/>.
- [45] D. Morata, “¿Chile: un país geotérmico en un futuro inmediato?,” *Anales de la Universidad de Chile*, vol. 0, no. 5, Jun. 2014, doi: 10.5354/0717-8883.2014.31635.
- [46] A. Yusof and M. R. Mohamed, “Vertical Axis Wind Turbines: An Overview,” in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 2020. doi: 10.1007/978-981-15-2317-5_68.

Anexo A: Resultados de las siete Zonas Térmicas

Z1		Consumo neto	Van	Tir	Payback	Inversion	ahorro anual	
Calefon	0	0	2473,1	-\$1.327	#¡NUM!	0,0	\$0	-\$13
	1	0	1654,2	\$6.454.434	25%	4,8	\$747.487	\$156.978
	2	0	1488,0	\$6.044.059	19%	5,6	\$1.057.477	\$188.844
	3	0	1475,1	\$2.732.165	11%	7,1	\$1.367.467	\$191.313
	0	1	1256,9	\$1.849.506	10%	7,0	\$1.279.960	\$184.137
	1	1	443,4	\$8.262.228	16%	6,0	\$2.027.447	\$340.693
	2	1	275,8	\$7.863.409	14%	6,3	\$2.337.437	\$372.676
	3	1	262,0	\$4.559.032	10%	7,1	\$2.647.427	\$375.221
	0	2	35,7	\$7.019.079	15%	6,0	\$1.759.940	\$292.292
	1	2	-772,5	\$13.386.416	18%	5,6	\$2.507.427	\$448.388
	2	2	-941,3	\$12.998.126	17%	5,9	\$2.817.417	\$480.478
	3	2	-956,0	\$9.700.961	13%	6,5	\$3.127.407	\$483.096
	0	3	-1186,0	\$5.765.663	12%	6,7	\$2.239.920	\$335.371
	1	3	-1988,7	\$12.221.424	16%	6,1	\$2.987.407	\$492.363
	2	3	-2158,9	\$11.811.049	14%	6,3	\$3.297.397	\$524.229
	3	3	-2174,5	\$8.499.155	12%	6,8	\$3.607.387	\$526.698
	0	4	-2406,6	-\$1.633.147	4%	8,5	\$2.859.900	\$335.371
1	4	-3203,9	\$4.822.614	9%	7,3	\$3.607.387	\$492.363	
2	4	-3375,5	\$4.412.239	9%	7,5	\$3.917.377	\$524.229	
3	4	-3391,9	\$1.100.345	7%	8,0	\$4.227.367	\$526.698	
BB de calor	0	0	2473,1	-\$11.216.041	#¡NUM!	17,5	\$1.920.885	\$109.588
	1	0	1654,2	-\$13.599.822	#¡NUM!	15,1	\$2.668.372	\$177.020
	2	0	1488,0	-\$15.780.117	#¡NUM!	15,6	\$2.978.362	\$190.954
	3	0	1475,1	-\$19.226.317	#¡NUM!	17,1	\$3.288.352	\$192.062
	0	1	1256,9	-\$8.111.053	-2%	10,4	\$3.200.845	\$306.445
	1	1	443,4	-\$11.490.197	-4%	10,9	\$3.948.332	\$363.793
	2	1	275,8	-\$13.933.340	-5%	11,4	\$4.258.322	\$375.064
	3	1	262,0	-\$17.393.036	-8%	12,1	\$4.568.312	\$376.035
	0	2	35,7	-\$2.623.707	4%	8,8	\$3.680.825	\$417.820
	1	2	-772,5	-\$6.265.244	2%	9,4	\$4.428.312	\$472.509
	2	2	-941,3	-\$8.781.658	0%	9,8	\$4.738.302	\$483.037
	3	2	-956,0	-\$12.243.964	-2%	10,4	\$5.048.292	\$483.982
	0	3	-1186,0	\$2.306.020	7%	7,9	\$4.160.805	\$523.544
	1	3	-1988,7	-\$6.288.434	2%	9,3	\$4.908.292	\$528.052
	2	3	-2158,9	-\$9.843.995	0%	9,9	\$5.218.282	\$528.052
	3	3	-2174,5	-\$13.399.556	-2%	10,5	\$5.528.272	\$528.052
	0	4	-2406,6	-\$4.647.844	3%	9,1	\$4.780.785	\$528.052
1	4	-3203,9	-\$13.687.244	-2%	10,5	\$5.528.272	\$528.052	
2	4	-3375,5	-\$17.242.805	-4%	11,1	\$5.838.262	\$528.052	
3	4	-3391,9	-\$20.798.366	-6%	11,6	\$6.148.252	\$528.052	
Termo electric	0	0	2473,1	-\$6.547.662	#¡NUM!	-9,7	\$279.990	-\$28.815
	1	0	1654,2	\$2.224.295	12%	6,8	\$1.027.477	\$151.644
	2	0	1488,0	\$2.284.058	10%	7,1	\$1.337.467	\$188.273
	3	0	1475,1	-\$991.412	4%	8,6	\$1.647.457	\$191.111
	0	1	1256,9	-\$1.414.109	3%	8,3	\$1.559.950	\$188.595
	1	1	443,4	\$4.812.167	11%	6,7	\$2.307.437	\$343.262
	2	1	275,8	\$4.170.059	10%	7,0	\$2.617.427	\$372.780
	3	1	262,0	\$851.065	7%	7,8	\$2.927.417	\$375.177
	0	2	35,7	\$4.621.778	12%	6,7	\$2.039.930	\$305.527
	1	2	-772,5	\$10.206.315	15%	6,1	\$2.787.417	\$453.692
	2	2	-941,3	\$9.350.019	13%	6,4	\$3.097.407	\$481.040
	3	2	-956,0	\$6.010.393	10%	7,1	\$3.407.397	\$483.228
	0	3	-1186,0	\$9.820.673	15%	6,1	\$2.519.910	\$413.979
	1	3	-1988,7	\$12.040.372	15%	6,2	\$3.267.397	\$528.052
	2	3	-2158,9	\$8.484.811	12%	6,8	\$3.577.387	\$528.052
	3	3	-2174,5	\$4.929.250	9%	7,4	\$3.887.377	\$528.052
	0	4	-2406,6	\$12.829.967	16%	6,0	\$3.139.890	\$519.430
1	4	-3203,9	\$4.641.561	9%	7,4	\$3.887.377	\$528.052	
2	4	-3375,5	\$1.086.001	7%	7,9	\$4.197.367	\$528.052	
3	4	-3391,9	-\$2.469.560	4%	8,5	\$4.507.357	\$528.052	

Z2		Consumo neto	Van	Tir	Payback	Inversion	ahorro anual	
Calefon	0	0	4075,8	-\$1.851	#¡NUM!	0,0	\$0	-\$19
	1	0	2722,3	\$19.227.970	62%	2,6	\$747.487	\$286.396
	2	0	2381,7	\$22.786.279	51%	2,9	\$1.057.477	\$358.471
	3	0	2331,9	\$20.270.318	36%	3,7	\$1.367.467	\$369.004
	0	1	2773,2	\$10.021.424	24%	4,8	\$1.279.960	\$266.933
	1	1	1430,8	\$29.125.879	36%	3,7	\$2.027.447	\$552.077
	2	1	1087,6	\$32.715.899	35%	3,7	\$2.337.437	\$624.474
	3	1	1036,0	\$30.222.521	30%	4,2	\$2.647.427	\$635.235
	0	2	1467,2	\$20.166.389	30%	4,1	\$1.759.940	\$425.496
	1	2	136,2	\$39.148.169	39%	3,5	\$2.507.427	\$709.398
	2	2	-209,5	\$42.763.818	38%	3,6	\$2.817.417	\$782.054
	3	2	-263,0	\$40.289.294	33%	3,9	\$3.127.407	\$793.007
	0	3	160,3	\$29.554.048	34%	3,9	\$2.239.920	\$576.387
	1	3	-1159,4	\$48.411.377	40%	3,5	\$2.987.407	\$859.028
	2	3	-1507,7	\$52.054.735	39%	3,5	\$3.297.397	\$931.965
	3	3	-1563,1	\$49.600.778	34%	3,8	\$3.607.387	\$943.126
	0	4	-1145,9	\$23.733.945	24%	4,8	\$2.859.900	\$592.382
	1	4	-2454,3	\$42.963.766	31%	4,1	\$3.607.387	\$878.797
	2	4	-2805,2	\$46.522.075	31%	4,1	\$3.917.377	\$950.872
	3	4	-2862,5	\$44.006.113	28%	4,4	\$4.227.367	\$961.405
BB de calor	0	0	4075,8	-\$4.138.661	0%	10,6	\$1.920.885	\$181.294
	1	0	2722,3	\$1.102.764	7%	8,2	\$2.668.372	\$325.982
	2	0	2381,7	\$1.504.035	7%	8,1	\$2.978.362	\$366.072
	3	0	2331,9	-\$1.422.410	5%	8,8	\$3.288.352	\$372.446
	0	1	2773,2	\$7.747.049	12%	6,9	\$3.200.845	\$467.115
	1	1	1430,8	\$11.550.660	13%	6,6	\$3.948.332	\$597.236
	2	1	1087,6	\$11.517.371	12%	6,7	\$4.258.322	\$632.922
	3	1	1036,0	\$8.555.397	11%	7,1	\$4.568.312	\$638.936
	0	2	1467,2	\$18.652.683	17%	5,8	\$3.680.825	\$633.385
	1	2	136,2	\$21.865.315	17%	5,8	\$4.428.312	\$757.519
	2	2	-209,5	\$21.635.533	16%	6,0	\$4.738.302	\$791.214
	3	2	-263,0	\$18.651.852	15%	6,3	\$5.048.292	\$797.009
	0	3	160,3	\$28.431.183	21%	5,3	\$4.160.805	\$788.236
	1	3	-1159,4	\$31.269.677	20%	5,4	\$4.908.292	\$908.579
	2	3	-1507,7	\$30.961.540	19%	5,5	\$5.218.282	\$941.481
	3	3	-1563,1	\$27.983.138	17%	5,8	\$5.528.272	\$947.328
	0	4	-1145,9	\$35.920.644	22%	5,1	\$4.780.785	\$939.079
	1	4	-2454,3	\$30.027.032	18%	5,7	\$5.528.272	\$970.951
	2	4	-2805,2	\$26.471.471	16%	6,0	\$5.838.262	\$970.951
	3	4	-2862,5	\$22.915.910	15%	6,3	\$6.148.252	\$970.951
Termo electric	0	0	4075,8	-\$11.167.994	#¡NUM!	-3,7	\$279.990	-\$75.627
	1	0	2722,3	\$13.707.782	34%	3,8	\$1.027.477	\$267.991
	2	0	2381,7	\$18.686.879	35%	3,8	\$1.337.467	\$354.461
	3	0	2331,9	\$16.378.548	27%	4,5	\$1.647.457	\$367.098
	0	1	2773,2	\$2.892.768	11%	6,7	\$1.559.950	\$232.231
	1	1	1430,8	\$24.915.190	29%	4,2	\$2.307.437	\$546.939
	2	1	1087,6	\$28.789.162	30%	4,2	\$2.617.427	\$622.213
	3	1	1036,0	\$26.378.830	26%	4,6	\$2.927.417	\$633.816
	0	2	1467,2	\$15.960.384	23%	4,9	\$2.039.930	\$420.406
	1	2	136,2	\$35.727.678	33%	3,9	\$2.787.417	\$712.266
	2	2	-209,5	\$39.015.928	33%	4,0	\$3.097.407	\$781.605
	3	2	-263,0	\$36.518.210	29%	4,3	\$3.407.397	\$792.323
	0	3	160,3	\$26.183.931	28%	4,3	\$2.519.910	\$579.766
	1	3	-1159,4	\$45.258.760	35%	3,8	\$3.267.397	\$864.610
	2	3	-1507,7	\$48.377.015	34%	3,8	\$3.577.387	\$932.227
	3	3	-1563,1	\$45.867.157	31%	4,1	\$3.887.377	\$942.822
	0	4	-1145,9	\$33.951.832	29%	4,3	\$3.139.890	\$733.430
	1	4	-2454,3	\$48.355.838	32%	4,0	\$3.887.377	\$970.951
	2	4	-2805,2	\$44.800.277	29%	4,3	\$4.197.367	\$970.951
	3	4	-2862,5	\$41.244.716	26%	4,6	\$4.507.357	\$970.951

Z3		Consumo neto	Van	Tir	Payback	Inversion	ahorro anual	
Calefon	0	0	4655,8	-\$1.467	#¡NUM!	0,0	\$0	-\$15
	1	0	3218,3	\$19.076.498	61%	2,6	\$747.487	\$284.861
	2	0	2705,4	\$25.553.970	58%	2,7	\$1.057.477	\$386.513
	3	0	2625,5	\$23.559.699	41%	3,4	\$1.367.467	\$402.331
	0	1	3362,1	\$5.464.518	16%	5,8	\$1.279.960	\$220.764
	1	1	1932,7	\$24.467.983	32%	4,0	\$2.027.447	\$504.885
	2	1	1418,1	\$30.962.989	34%	3,9	\$2.337.437	\$606.714
	3	1	1336,8	\$28.982.987	29%	4,3	\$2.647.427	\$622.677
	0	2	2064,1	\$12.627.254	22%	5,0	\$1.759.940	\$349.112
	1	2	642,9	\$31.561.890	33%	4,0	\$2.507.427	\$632.536
	2	2	126,7	\$38.069.147	34%	3,8	\$2.817.417	\$734.489
	3	2	44,1	\$36.099.732	30%	4,2	\$3.127.407	\$750.560
	0	3	765,2	\$19.049.908	24%	4,8	\$2.239.920	\$469.963
	1	3	-647,8	\$37.912.852	33%	4,0	\$2.987.407	\$752.660
	2	3	-1165,8	\$44.434.524	34%	3,9	\$3.297.397	\$854.760
	3	3	-1249,8	\$42.477.348	31%	4,1	\$3.607.387	\$870.954
	0	4	-533,3	\$16.791.889	19%	5,5	\$2.859.900	\$522.048
1	4	-1938,3	\$35.869.854	27%	4,5	\$3.607.387	\$806.924	
2	4	-2457,8	\$42.347.326	29%	4,3	\$3.917.377	\$908.575	
3	4	-2543,3	\$40.353.055	26%	4,6	\$4.227.367	\$924.394	
BB de calor	0	0	4655,8	\$2.044.923	9%	7,9	\$1.920.885	\$243.944
	1	0	3218,3	\$4.313.119	10%	7,4	\$2.668.372	\$358.508
	2	0	2705,4	\$5.081.496	10%	7,4	\$2.978.362	\$402.317
	3	0	2625,5	\$2.246.978	8%	8,0	\$3.288.352	\$409.623
	0	1	3362,1	\$9.172.580	13%	6,6	\$3.200.845	\$481.558
	1	1	1932,7	\$10.319.782	12%	6,8	\$3.948.332	\$584.765
	2	1	1418,1	\$10.577.792	12%	6,8	\$4.258.322	\$623.403
	3	1	1336,8	\$7.692.945	10%	7,2	\$4.568.312	\$630.198
	0	2	2064,1	\$17.124.592	16%	6,0	\$3.680.825	\$617.903
	1	2	642,9	\$17.805.897	15%	6,2	\$4.428.312	\$716.390
	2	2	126,7	\$17.787.803	15%	6,3	\$4.738.302	\$752.231
	3	2	44,1	\$14.857.070	13%	6,7	\$5.048.292	\$758.561
	0	3	765,2	\$23.962.518	19%	5,6	\$4.160.805	\$742.961
	1	3	-647,8	\$24.338.215	17%	5,9	\$4.908.292	\$838.352
	2	3	-1165,8	\$24.211.055	16%	6,0	\$5.218.282	\$873.087
	3	3	-1249,8	\$21.264.450	15%	6,3	\$5.528.272	\$879.257
	0	4	-533,3	\$28.583.139	19%	5,5	\$4.780.785	\$864.738
1	4	-1938,3	\$26.816.172	17%	5,9	\$5.528.272	\$938.420	
2	4	-2457,8	\$23.260.611	15%	6,2	\$5.838.262	\$938.420	
3	4	-2543,3	\$19.705.050	13%	6,6	\$6.148.252	\$938.420	
Termo electric	0	0	4655,8	-\$4.327.049	#¡NUM!	-44,3	\$279.990	-\$6.317
	1	0	3218,3	\$15.176.471	37%	3,6	\$1.027.477	\$282.871
	2	0	2705,4	\$21.805.794	40%	3,5	\$1.337.467	\$386.061
	3	0	2625,5	\$19.835.153	31%	4,1	\$1.647.457	\$402.119
	0	1	3362,1	\$3.950.181	12%	6,4	\$1.559.950	\$242.944
	1	1	1932,7	\$21.970.902	27%	4,5	\$2.307.437	\$517.109
	2	1	1418,1	\$27.398.461	29%	4,3	\$2.617.427	\$608.123
	3	1	1336,8	\$25.304.282	25%	4,7	\$2.927.417	\$622.929
	0	2	2064,1	\$14.704.569	22%	5,0	\$2.039.930	\$407.683
	1	2	642,9	\$30.082.307	29%	4,3	\$2.787.417	\$655.069
	2	2	126,7	\$34.749.778	30%	4,2	\$3.097.407	\$738.382
	3	2	44,1	\$32.522.205	26%	4,5	\$3.407.397	\$751.837
	0	3	765,2	\$21.937.098	25%	4,7	\$2.519.910	\$536.739
	1	3	-647,8	\$36.890.151	30%	4,2	\$3.267.397	\$779.822
	2	3	-1165,8	\$41.240.237	30%	4,2	\$3.577.387	\$859.920
	3	3	-1249,8	\$38.963.674	27%	4,5	\$3.887.377	\$872.878
	0	4	-533,3	\$26.822.056	24%	4,7	\$3.139.890	\$661.194
1	4	-1938,3	\$41.458.007	29%	4,3	\$3.887.377	\$901.065	
2	4	-2457,8	\$41.589.417	27%	4,5	\$4.197.367	\$938.420	
3	4	-2543,3	\$38.033.856	24%	4,8	\$4.507.357	\$938.420	

Z4		Consumo neto	Van	Tir	Payback	Inversion	ahorro anual	
Calefon	0	0	3355,8	-\$1.719	#¡NUM!	0,0	\$0	-\$17
	1	0	2366,9	\$9.969.564	34%	3,9	\$747.487	\$192.593
	2	0	1993,8	\$13.586.756	33%	4,0	\$1.057.477	\$265.265
	3	0	1911,6	\$11.612.306	24%	4,9	\$1.367.467	\$281.284
	0	1	2238,3	\$3.216.934	12%	6,5	\$1.279.960	\$197.992
	1	1	1256,0	\$13.128.968	21%	5,2	\$2.027.447	\$390.002
	2	1	881,4	\$16.761.563	22%	5,1	\$2.337.437	\$462.830
	3	1	798,0	\$14.798.773	19%	5,5	\$2.647.427	\$478.967
	0	2	1112,8	\$9.282.335	18%	5,6	\$1.759.940	\$315.223
	1	2	137,2	\$19.131.169	23%	4,9	\$2.507.427	\$506.592
	2	2	-238,9	\$22.776.770	24%	4,9	\$2.817.417	\$579.552
	3	2	-323,6	\$20.824.418	21%	5,2	\$3.127.407	\$595.795
	0	3	-13,0	\$14.611.574	20%	5,3	\$2.239.920	\$424.995
	1	3	-981,9	\$24.398.167	24%	4,9	\$2.987.407	\$615.734
	2	3	-1359,5	\$28.057.506	24%	4,8	\$3.297.397	\$688.833
	3	3	-1445,3	\$26.116.153	22%	5,1	\$3.607.387	\$705.188
	0	4	-1137,3	\$8.380.468	13%	6,5	\$2.859.900	\$436.826
	1	4	-2099,6	\$18.351.751	18%	5,7	\$3.607.387	\$629.436
	2	4	-2478,8	\$21.968.943	19%	5,6	\$3.917.377	\$702.108
	3	4	-2565,7	\$19.994.493	17%	5,9	\$4.227.367	\$718.127
BB de calor	0	0	3355,8	-\$7.714.234	-8%	13,2	\$1.920.885	\$145.067
	1	0	2366,9	-\$7.017.056	-2%	10,9	\$2.668.372	\$243.715
	2	0	1993,8	-\$6.785.746	-1%	10,6	\$2.978.362	\$282.082
	3	0	1911,6	-\$9.475.777	-3%	11,3	\$3.288.352	\$290.851
	0	1	2238,3	-\$2.718.307	4%	8,9	\$3.200.845	\$361.083
	1	1	1256,0	-\$3.155.605	4%	8,8	\$3.948.332	\$448.237
	2	1	881,4	-\$3.439.807	4%	8,8	\$4.258.322	\$481.381
	3	1	798,0	-\$6.219.759	2%	9,3	\$4.568.312	\$489.239
	0	2	1112,8	\$4.030.418	9%	7,6	\$3.680.825	\$485.237
	1	2	137,2	\$3.204.475	8%	7,8	\$4.428.312	\$568.453
	2	2	-238,9	\$2.702.005	7%	7,9	\$4.738.302	\$599.386
	3	2	-323,6	-\$124.550	6%	8,3	\$5.048.292	\$606.772
	0	3	-13,0	\$9.823.123	12%	6,9	\$4.160.805	\$599.705
	1	3	-981,9	\$8.638.369	10%	7,2	\$4.908.292	\$679.286
	2	3	-1359,5	\$8.049.723	10%	7,4	\$5.218.282	\$709.346
	3	3	-1445,3	\$5.209.193	8%	7,7	\$5.528.272	\$716.590
	0	4	-1137,3	\$13.253.694	13%	6,7	\$4.780.785	\$709.425
	1	4	-2099,6	\$7.165.186	9%	7,5	\$5.528.272	\$739.322
	2	4	-2478,8	\$3.609.625	8%	7,9	\$5.838.262	\$739.322
	3	4	-2565,7	\$54.064	6%	8,3	\$6.148.252	\$739.322
Termo electric	0	0	3355,8	-\$9.983.875	#¡NUM!	-4,4	\$279.990	-\$63.630
	1	0	2366,9	\$3.985.186	16%	6,1	\$1.027.477	\$169.484
	2	0	1993,8	\$9.110.745	21%	5,2	\$1.337.467	\$257.439
	3	0	1911,6	\$7.468.790	17%	6,0	\$1.647.457	\$276.827
	0	1	2238,3	-\$2.949.479	0%	9,0	\$1.559.950	\$173.039
	1	1	1256,0	\$8.728.181	15%	6,0	\$2.307.437	\$382.938
	2	1	881,4	\$12.639.351	17%	5,7	\$2.617.427	\$458.588
	3	1	798,0	\$10.795.747	15%	6,2	\$2.927.417	\$475.933
	0	2	1112,8	\$5.018.688	12%	6,6	\$2.039.930	\$309.548
	1	2	137,2	\$15.537.085	19%	5,5	\$2.787.417	\$507.702
	2	2	-238,9	\$18.947.064	20%	5,4	\$3.097.407	\$578.274
	3	2	-323,6	\$16.974.534	17%	5,7	\$3.407.397	\$594.313
	0	3	-13,0	\$11.284.053	16%	5,9	\$2.519.910	\$428.805
	1	3	-981,9	\$21.231.343	21%	5,3	\$3.267.397	\$621.172
	2	3	-1359,5	\$24.381.416	21%	5,2	\$3.577.387	\$689.112
	3	3	-1445,3	\$22.359.472	19%	5,5	\$3.887.377	\$704.650
	0	4	-1137,3	\$15.071.154	17%	5,8	\$3.139.890	\$542.137
	1	4	-2099,6	\$24.605.801	20%	5,3	\$3.887.377	\$730.324
	2	4	-2478,8	\$21.938.431	18%	5,7	\$4.197.367	\$739.322
	3	4	-2565,7	\$18.382.870	16%	6,1	\$4.507.357	\$739.322

Z5			Consumo neto	Van	Tir	Payback	Inversion	ahorro anual
Calefon	0	0	2590,8	-\$1.842	#¡NUM!	0,0	\$0	-\$19
	1	0	1846,7	\$5.225.651	22%	5,2	\$747.487	\$144.529
	2	0	1638,9	\$5.656.196	18%	5,7	\$1.057.477	\$184.915
	3	0	1580,4	\$3.221.590	12%	7,0	\$1.367.467	\$196.272
	0	1	1513,6	\$2.252.744	11%	6,8	\$1.279.960	\$188.223
	1	1	773,5	\$7.443.981	15%	6,1	\$2.027.447	\$332.403
	2	1	564,5	\$7.885.060	14%	6,3	\$2.337.437	\$372.896
	3	1	505,3	\$5.457.757	11%	6,9	\$2.647.427	\$384.327
	0	2	423,6	\$7.981.470	17%	5,8	\$1.759.940	\$302.043
	1	2	-312,5	\$13.135.530	18%	5,6	\$2.507.427	\$445.846
	2	2	-522,5	\$13.585.721	17%	5,8	\$2.817.417	\$486.431
	3	2	-582,4	\$11.165.062	14%	6,3	\$3.127.407	\$497.930
	0	3	-664,9	\$11.208.789	17%	5,7	\$2.239.920	\$390.519
	1	3	-1397,0	\$16.436.281	18%	5,6	\$2.987.407	\$535.067
	2	3	-1608,0	\$16.866.826	18%	5,7	\$3.297.397	\$575.453
	3	3	-1668,7	\$14.432.220	15%	6,1	\$3.607.387	\$586.810
	0	4	-1752,4	\$3.809.979	9%	7,3	\$2.859.900	\$390.519
	1	4	-2480,5	\$9.037.471	12%	6,7	\$3.607.387	\$535.067
	2	4	-2692,6	\$9.468.016	12%	6,8	\$3.917.377	\$575.453
	3	4	-2754,1	\$7.033.410	10%	7,2	\$4.227.367	\$586.810
BB de calor	0	0	2590,8	-\$13.369.254	#¡NUM!	21,9	\$1.920.885	\$87.772
	1	0	1846,7	-\$14.248.285	#¡NUM!	15,7	\$2.668.372	\$170.450
	2	0	1638,9	-\$15.375.409	#¡NUM!	15,3	\$2.978.362	\$195.055
	3	0	1580,4	-\$18.232.149	#¡NUM!	16,3	\$3.288.352	\$202.135
	0	1	1513,6	-\$9.636.787	-4%	11,0	\$3.200.845	\$290.987
	1	1	773,5	-\$11.513.391	-4%	10,9	\$3.948.332	\$363.558
	2	1	564,5	-\$12.989.745	-4%	11,1	\$4.258.322	\$384.624
	3	1	505,3	-\$15.917.276	-6%	11,7	\$4.568.312	\$390.987
	0	2	423,6	-\$3.259.260	4%	8,9	\$3.680.825	\$411.380
	1	2	-312,5	-\$5.530.647	2%	9,2	\$4.428.312	\$479.952
	2	2	-522,5	-\$7.155.025	2%	9,5	\$4.738.302	\$499.518
	3	2	-582,4	-\$10.128.022	0%	10,0	\$5.048.292	\$505.420
	0	3	-664,9	\$2.106.213	7%	8,0	\$4.160.805	\$521.520
	1	3	-1397,0	-\$458.995	6%	8,4	\$4.908.292	\$587.114
	2	3	-1608,0	-\$2.479.216	5%	8,7	\$5.218.282	\$602.670
	3	3	-1668,7	-\$6.034.777	3%	9,2	\$5.528.272	\$602.670
	0	4	-1752,4	\$2.716.935	7%	7,9	\$4.780.785	\$602.670
	1	4	-2480,5	-\$6.322.466	3%	9,2	\$5.528.272	\$602.670
	2	4	-2692,6	-\$9.878.026	1%	9,7	\$5.838.262	\$602.670
	3	4	-2754,1	-\$13.433.587	-1%	10,2	\$6.148.252	\$602.670
Termo electric	0	0	2590,8	-\$9.998.300	#¡NUM!	-4,4	\$279.990	-\$63.776
	1	0	1846,7	-\$483.206	5%	8,3	\$1.027.477	\$124.212
	2	0	1638,9	\$1.145.276	8%	7,6	\$1.337.467	\$176.735
	3	0	1580,4	-\$952.451	4%	8,6	\$1.647.457	\$191.506
	0	1	1513,6	-\$4.382.483	-4%	9,8	\$1.559.950	\$158.521
	1	1	773,5	\$2.846.187	9%	7,1	\$2.307.437	\$323.343
	2	1	564,5	\$3.688.678	10%	7,1	\$2.617.427	\$367.903
	3	1	505,3	\$1.436.847	7%	7,7	\$2.927.417	\$381.112
	0	2	423,6	\$2.736.028	10%	7,1	\$2.039.930	\$286.421
	1	2	-312,5	\$9.160.034	14%	6,3	\$2.787.417	\$443.092
	2	2	-522,5	\$9.668.864	14%	6,4	\$3.097.407	\$484.271
	3	2	-582,4	\$7.311.996	11%	6,9	\$3.407.397	\$496.415
	0	3	-664,9	\$8.533.806	14%	6,3	\$2.519.910	\$400.941
	1	3	-1397,0	\$14.399.797	16%	5,9	\$3.267.397	\$551.957
	2	3	-1608,0	\$14.751.345	16%	6,0	\$3.577.387	\$591.543
	3	3	-1668,7	\$12.294.029	14%	6,5	\$3.887.377	\$602.670
	0	4	-1752,4	\$11.933.232	15%	6,2	\$3.139.890	\$510.345
	1	4	-2480,5	\$12.006.340	13%	6,5	\$3.887.377	\$602.670
	2	4	-2692,6	\$8.450.779	11%	7,0	\$4.197.367	\$602.670
	3	4	-2754,1	\$4.895.218	9%	7,5	\$4.507.357	\$602.670

Z6		Consumo neto	Van	Tir	Payback	Inversion	ahorro anual	
Calefon	0	0	3411,8	-\$1.541	#¡NUM!	0,0	\$0	-\$16
	1	0	2562,5	\$7.970.769	29%	4,3	\$747.487	\$172.341
	2	0	2179,4	\$12.088.663	30%	4,2	\$1.057.477	\$250.086
	3	0	2038,1	\$11.363.430	24%	4,9	\$1.367.467	\$278.762
	0	1	2412,6	-\$461.052	5%	8,0	\$1.279.960	\$160.728
	1	1	1566,0	\$7.489.925	15%	6,1	\$2.027.447	\$332.869
	2	1	1182,2	\$11.614.860	18%	5,7	\$2.337.437	\$410.685
	3	1	1040,3	\$10.895.044	16%	6,0	\$2.647.427	\$439.416
	0	2	1397,7	\$3.457.490	11%	6,9	\$1.759.940	\$256.207
	1	2	553,8	\$11.387.726	17%	5,9	\$2.507.427	\$428.138
	2	2	169,3	\$15.517.617	18%	5,6	\$2.817.417	\$506.005
	3	2	26,8	\$14.801.935	17%	5,8	\$3.127.407	\$534.777
	0	3	385,5	\$6.444.624	13%	6,5	\$2.239.920	\$342.250
	1	3	-455,7	\$14.353.396	17%	5,8	\$2.987.407	\$513.964
	2	3	-841,0	\$18.488.940	19%	5,6	\$3.297.397	\$591.887
	3	3	-984,1	\$17.777.939	17%	5,8	\$3.607.387	\$620.708
	0	4	-625,2	\$4.984.819	10%	7,1	\$2.859.900	\$402.422
	1	4	-1463,7	\$12.957.129	14%	6,3	\$3.607.387	\$574.779
	2	4	-1849,8	\$17.075.023	16%	6,0	\$3.917.377	\$652.524
	3	4	-1993,4	\$16.349.790	15%	6,2	\$4.227.367	\$681.200
BB de calor	0	0	3411,8	-\$5.435.484	-3%	11,4	\$1.920.885	\$168.155
	1	0	2562,5	-\$6.528.589	-2%	10,7	\$2.668.372	\$248.664
	2	0	2179,4	-\$6.446.509	-1%	10,4	\$2.978.362	\$285.519
	3	0	2038,1	-\$8.633.886	-2%	11,0	\$3.288.352	\$299.381
	0	1	2412,6	-\$4.465.476	2%	9,3	\$3.200.845	\$343.381
	1	1	1566,0	-\$6.328.793	1%	9,5	\$3.948.332	\$416.087
	2	1	1182,2	-\$6.653.376	1%	9,5	\$4.258.322	\$448.822
	3	1	1040,3	-\$8.977.063	0%	9,9	\$4.568.312	\$461.303
	0	2	1397,7	\$335.032	6%	8,2	\$3.680.825	\$447.797
	1	2	553,8	-\$1.910.291	5%	8,6	\$4.428.312	\$516.632
	2	2	169,3	-\$2.466.573	5%	8,7	\$4.738.302	\$547.020
	3	2	26,8	-\$4.894.818	3%	9,0	\$5.048.292	\$558.441
	0	3	385,5	\$3.790.795	8%	7,7	\$4.160.805	\$538.588
	1	3	-455,7	\$1.287.791	7%	8,1	\$4.908.292	\$604.812
	2	3	-841,0	\$633.329	6%	8,2	\$5.218.282	\$634.205
	3	3	-984,1	-\$1.829.506	5%	8,6	\$5.528.272	\$645.276
	0	4	-625,2	\$4.863.148	9%	7,7	\$4.780.785	\$624.415
	1	4	-1463,7	\$2.210.593	7%	8,0	\$5.528.272	\$689.124
	2	4	-1849,8	\$1.500.442	7%	8,1	\$5.838.262	\$717.953
	3	4	-1993,4	-\$1.688.828	5%	8,5	\$6.148.252	\$721.664
Termo electric	0	0	3411,8	-\$5.015.823	#¡NUM!	-21,1	\$279.990	-\$13.295
	1	0	2562,5	\$3.664.121	15%	6,2	\$1.027.477	\$166.232
	2	0	2179,4	\$8.101.207	20%	5,4	\$1.337.467	\$247.210
	3	0	2038,1	\$7.493.707	17%	5,9	\$1.647.457	\$277.079
	0	1	2412,6	-\$2.670.691	0%	8,9	\$1.559.950	\$175.864
	1	1	1566,0	\$4.569.079	11%	6,8	\$2.307.437	\$340.799
	2	1	1182,2	\$8.156.890	14%	6,3	\$2.617.427	\$413.174
	3	1	1040,3	\$7.269.004	12%	6,7	\$2.927.417	\$440.202
	0	2	1397,7	\$3.272.954	10%	7,0	\$2.039.930	\$291.861
	1	2	553,8	\$9.574.924	14%	6,2	\$2.787.417	\$447.295
	2	2	169,3	\$12.650.371	16%	6,0	\$3.097.407	\$514.478
	3	2	26,8	\$11.529.161	14%	6,3	\$3.407.397	\$539.142
	0	3	385,5	\$7.276.199	13%	6,5	\$2.519.910	\$388.199
	1	3	-455,7	\$13.103.599	15%	6,1	\$3.267.397	\$538.825
	2	3	-841,0	\$15.915.002	16%	5,9	\$3.577.387	\$603.333
	3	3	-984,1	\$14.699.962	15%	6,2	\$3.887.377	\$627.046
	0	4	-625,2	\$8.736.956	13%	6,6	\$3.139.890	\$477.961
	1	4	-1463,7	\$14.198.776	15%	6,2	\$3.887.377	\$624.883
	2	4	-1849,8	\$16.876.554	15%	6,1	\$4.197.367	\$688.037
	3	4	-1993,4	\$15.611.074	14%	6,3	\$4.507.357	\$711.239

Z7		Consumo neto	Van	Tir	Payback	Inversion	ahorro anual	
Calefon	0	0	7459,8	-\$1.294	#¡NUM!	0,0	\$0	-\$13
	1	0	6182,9	\$8.888.582	31%	4,1	\$747.487	\$181.640
	2	0	5149,2	\$19.848.565	45%	3,2	\$1.057.477	\$328.707
	3	0	4428,7	\$26.408.858	46%	3,2	\$1.367.467	\$431.198
	0	1	6578,1	-\$3.457.984	-3%	9,8	\$1.279.960	\$130.364
	1	1	5303,0	\$5.416.051	13%	6,5	\$2.027.447	\$311.857
	2	1	4269,3	\$16.376.383	22%	5,1	\$2.337.437	\$458.927
	3	1	3548,6	\$22.939.296	25%	4,7	\$2.647.427	\$561.444
	0	2	5683,4	-\$628.660	5%	8,2	\$1.759.940	\$214.808
	1	2	4410,1	\$8.231.810	14%	6,3	\$2.507.427	\$396.163
	2	2	3376,3	\$19.192.018	21%	5,2	\$2.817.417	\$543.232
	3	2	2655,4	\$25.756.895	24%	4,8	\$3.127.407	\$645.769
	0	3	4791,2	\$1.581.928	8%	7,6	\$2.239.920	\$292.983
	1	3	3519,6	\$10.428.032	14%	6,3	\$2.987.407	\$474.193
	2	3	2485,9	\$21.388.187	20%	5,3	\$3.297.397	\$621.262
	3	3	1764,7	\$27.955.211	23%	5,0	\$3.607.387	\$723.820
	0	4	3899,8	\$1.673.985	8%	7,8	\$2.859.900	\$368.878
	1	4	2630,0	\$10.505.632	13%	6,6	\$3.607.387	\$549.942
	2	4	1596,3	\$21.465.723	18%	5,6	\$3.917.377	\$697.009
	3	4	874,8	\$28.034.897	21%	5,3	\$4.227.367	\$799.590
BB de calor	0	0	7459,8	\$4.536.695	12%	7,1	\$1.920.885	\$269.189
	1	0	6182,9	\$7.098.816	12%	6,9	\$2.668.372	\$386.732
	2	0	5149,2	\$12.657.738	16%	6,2	\$2.978.362	\$479.077
	3	0	4428,7	\$15.607.356	17%	6,0	\$3.288.352	\$544.986
	0	1	6578,1	\$2.970.450	8%	7,6	\$3.200.845	\$418.720
	1	1	5303,0	\$5.357.479	9%	7,4	\$3.948.332	\$534.489
	2	1	4269,3	\$10.546.816	12%	6,8	\$4.258.322	\$623.089
	3	1	3548,6	\$13.074.194	13%	6,7	\$4.568.312	\$684.719
	0	2	5683,4	\$8.836.568	12%	6,9	\$3.680.825	\$533.931
	1	2	4410,1	\$10.409.098	12%	6,9	\$4.428.312	\$641.448
	2	2	3376,3	\$15.010.475	13%	6,5	\$4.738.302	\$724.092
	3	2	2655,4	\$17.226.081	14%	6,5	\$5.048.292	\$782.563
	0	3	4791,2	\$12.357.071	13%	6,7	\$4.160.805	\$625.378
	1	3	3519,6	\$13.652.838	13%	6,7	\$4.908.292	\$730.091
	2	3	2485,9	\$18.061.849	14%	6,4	\$5.218.282	\$810.785
	3	3	1764,7	\$20.150.073	14%	6,4	\$5.528.272	\$867.966
	0	4	3899,8	\$13.267.903	13%	6,7	\$4.780.785	\$709.569
	1	4	2630,0	\$14.396.077	12%	6,8	\$5.528.272	\$812.583
	2	4	1596,3	\$18.700.682	13%	6,5	\$5.838.262	\$892.220
	3	4	874,8	\$20.728.156	14%	6,5	\$6.148.252	\$948.786
Termo electric	0	0	7459,8	-\$22.830.203	#¡NUM!	-1,4	\$279.990	-\$193.785
	1	0	6182,9	-\$9.498.652	#¡NUM!	31,3	\$1.027.477	\$32.871
	2	0	5149,2	\$5.057.310	15%	6,2	\$1.337.467	\$216.371
	3	0	4428,7	\$14.123.635	25%	4,8	\$1.647.457	\$344.252
	0	1	6578,1	-\$23.965.540	#¡NUM!	-39,1	\$1.559.950	-\$39.889
	1	1	5303,0	-\$10.874.627	#¡NUM!	12,5	\$2.307.437	\$184.329
	2	1	4269,3	\$3.400.613	9%	7,2	\$2.617.427	\$364.984
	3	1	3548,6	\$11.960.706	16%	6,0	\$2.927.417	\$487.736
	0	2	5683,4	-\$16.493.652	#¡NUM!	22,3	\$2.039.930	\$91.592
	1	2	4410,1	-\$3.948.539	2%	9,0	\$2.787.417	\$310.280
	2	2	3376,3	\$9.174.955	13%	6,5	\$3.097.407	\$479.266
	3	2	2655,4	\$16.945.780	17%	5,7	\$3.407.397	\$594.022
	0	3	4791,2	-\$10.891.974	-13%	12,3	\$2.519.910	\$204.125
	1	3	3519,6	\$493.435	6%	7,9	\$3.267.397	\$411.063
	2	3	2485,9	\$13.009.115	15%	6,2	\$3.577.387	\$573.891
	3	3	1764,7	\$20.500.464	18%	5,7	\$3.887.377	\$685.815
	0	4	3899,8	-\$8.920.082	-4%	10,5	\$3.139.890	\$299.066
	1	4	2630,0	\$2.020.218	7%	7,8	\$3.887.377	\$501.494
	2	4	1596,3	\$14.241.819	14%	6,3	\$4.197.367	\$661.343
	3	4	874,8	\$21.542.244	17%	5,8	\$4.507.357	\$771.332

Anexo B: Ficha técnica Colector Solar:

Especificaciones técnicas:

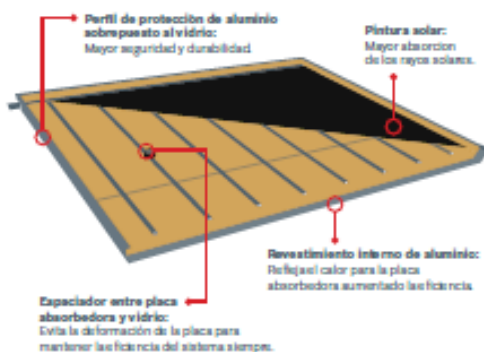
	Unidad	SO1500TFV	
Generales			
Tipo de producto		Colector solar de placa plana	
Tipo de aplicaciones		Circuito abierto y cerrado	
Dimensiones (Largo x Ancho x Profundo)	mm	2000 x 1000 x 67	
Peso	kg	27	
Tipo de cubierta		Vidrio templado de 4 mm	
Material del absorbedor		Placa única de aluminio	
Tipo de soldadura		Ultrasonido	
Área de apertura	m ²	1.93	
Material del marco del colector		Aluminio anodizado	
Aislamiento		Parte trasera: Poliuretano 20 mm	
		Parte lateral: Poliuretano 15 mm	
Garantía		5 años*	
Energéticas			
Eficiencia media**	%	60.8	
Eficiencia óptica/factor de conversión η_0^{**}		0.739	
Factor de pérdida de calor lineal a_1^{**}	W/m ² °C	5.051	
Factor de pérdida de calor cuadrático a_2^{**}	W/m ² °C ²	0.04	
Temperatura de estagnación	°C	144	
Hidráulicas			
Caudal recomendado	l/h por superficie de colector	70	
Número de tubos paralelos		8	
Diámetro interno de tubos	mm	8.72	
Presión máxima	kg/cm ²	6	
Volumen de agua dentro del colector	l	1.6	
Número máximo de colectores en serie		6	
Pérdida de carga	mca	1 colector	0.004
		2 colectores	0.023
		3 colectores	0.05
		4 colectores	0.095
		5 colectores	0.155
		6 colectores	0.23
Conexiones		De cobre de 22mm. Interconexión de colectores con conexiones de compresión Bosch (disponibles como accesorio). Entrada y salida del sistema a 3/4" NPT macho (con kit de conexión de campo Bosch).	

* Con posibilidad de extender a 10 años. Solicitar más información a nuestro Contact Center.

** De acuerdo a la certificación INMETRO.

Especificaciones sujetas a cambios sin previo aviso. Errores y omisiones pueden ocurrir.

Detalles del colector:



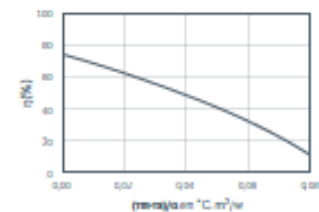
Conexión de cobre de 22 mm:



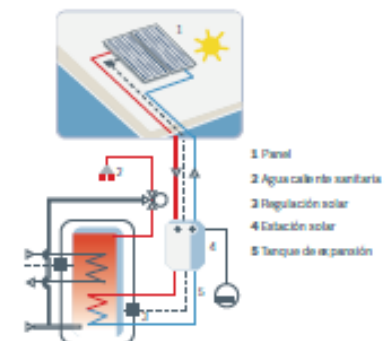
Montaje con soporte para tejado plano:



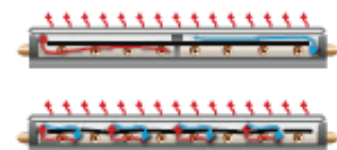
Gráfica de desempeño:



Instalación básica para generación de agua caliente sanitaria en circuito cerrado:



Menores pérdidas de calor en colectores con absorbedores de placa única.



Anexo D: Ficha técnica Inversor:

Datasheet	MIN 2500TL-XH	MIN 3000TL-XH	MIN 3600TL-XH	MIN 4200TL-XH	MIN 4600TL-XH	MIN 5000TL-XH	MIN 6000TL-XH
Input data (DC)							
Max. recommended PV power (for module STC)	5000W	6000W	7200W	8400W	9200W	10000W	10000W
Max. DC voltage	500V	500V	550V	550V	550V	550V	550V
Start voltage	100V						
Nominal voltage	360V						
MPP voltage range	70V-500V	70V-500V	70V-550V	70V-550V	70V-550V	70V-550V	70V-550V
No. of MPP trackers/trings per MPP tracker	2/1						
Max. input current per MPP tracker	13.5A						
Max. short-circuit current per MPP trackers	16.9A						
Input data (DC battery)							
Compatible battery	ARKXH Battery System (5.12kWh~17.9kWh)						
Operating voltage range	360-500V			360-550V			
Max. operating current	17A						
Max. charge power	6000W						
Max. discharge power	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Output data (AC)							
AC nominal power	2500W	3000W	3600W	4200W	4600W	5000W	6000W
Max. AC apparent power	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Nominal AC voltage (range*)	230V (180-280V)						
AC grid frequency (range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)						
Max. output current	11.3A	13.6A	16A	19A	20.9A	22.7A	27.2A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging						
THD	< 3%						
AC grid connection type	Single phase						
Output data (Backup*)							
Max. apparent power	2500VA	3000VA	3600VA	4200VA	4600VA	5000VA	6000VA
Nominal AC voltage	230V						
AC grid frequency	50/60Hz						
Efficiency							
Max. efficiency	98.2%	98.2%	98.2%	98.4%	98.4%	98.4%	98.4%
European efficiency	97.1%	97.1%	97.2%	97.2%	97.5%	97.5%	97.5%
MPP efficiency	99.9%						
Protection devices							
DC reverse polarity protection	Yes						
DC switch	Yes						
DC/AC surge protection	Type I/Type II						
Insulation resistance monitoring	Yes						
AC short-circuit protection	Yes						
Ground fault monitoring	Yes						
Grid monitoring	Yes						
Anti-islanding protection	Yes						
Residual current monitoring unit	Yes						
AFCI protection	Optional						
General data							
Dimensions (W / H / D)	375(385) / 60mm						
Weight	10.8kg						
Operating temperature range	-25°C ... +60°C						
Altitude	4000m						
Self-consumption night	< 10W						
Topology	Transformerless						
Cooling	Natural convection						
Protection degree	IP65						
Relative humidity	0%~100%						
DC connection	H4/MC4(Optional)						
AC connection	C connector						
Display	OLED+LED/MR+APP						
Interfaces: RS485 / USB/Wi-Fi / GPRS / 4G/LAN	Yes/Yes/Optional/Optional/Optional /Optional						
Warranty: 5 years / 10 years	Yes/Optional						
CE, IEC62109, AS/NZS 4777.2, CEB-0-21, VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1, IEC 15-712-1, EN 50549, IEC 62116, IEC 61727, G98/G99							

* The AC voltage and frequency range may vary depending on specific country grid standard. All specifications are subject to change without notice.

* Backup power function need a Backup Box accessory.

Anexo E: Ficha técnica Bomba de Calor Aire-Agua



M-Thermon A Conjunto Monobloc

ESPAÑOL

FR

EN

IDIOMAS

FICHA PRODUCTO



Control incluido de serie

Producto certificado por:



CARACTERÍSTICAS

Modelo	Conjunto	M-Thermon A 4
	Unidad exterior	MHC-V4W/D2N8-BE30
Aire exterior 7°C Agua 30/35°C	Capacidad calorífica	4,20 kW
	COP	5,10
Aire exterior 7°C Agua 40/45°C	Capacidad calorífica	4,30 kW
	COP	3,80
Aire exterior -7°C Agua 30/35°C	Capacidad calorífica	4,70 kW
	COP	3,30
Aire exterior 35°C Agua 23/18°C	Capacidad frigorífica	4,50 kW
	EER	5,50
Aire exterior 35°C Agua 12/7°C	Capacidad frigorífica	4,70 kW
	EER	3,45
Eficiencia energética	SCOP zona fría - Agua 35°C	4,06
	SCOP zona fría - Agua 55°C	2,63
	SCOP zona media - Agua 35°C / Clasif.	4,85 - A+++
	SCOP zona media - Agua 55°C / Clasif.	3,31 - A++
	SCOP zona cálida - Agua 35°C	6,46
	SCOP zona cálida - Agua 55°C	4,15
	SEER 7°C	4,99
SEER 18°C	7,77	
Unidad exterior	Potencia sonora	55 dB(A)
Sistema hidráulico	Impulsión agua	RT*
	Retorno agua	RT*