



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE CIENCIAS
Departamento de Ciencias Básicas

EVALUACIÓN TÉCNICO-AMBIENTAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE CALEFACCIÓN DISTRITAL EN LA CIUDAD DE CHILLÁN, CHILE

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE INGENIERO EN RECURSOS NATURALES

AUTORA: MARÍA LUISA SALAZAR ROA

Profesor Guía: Mg. Eduardo Andrés Chandía Abuin

Cotutor: Dr. Boris Alonso Rebolledo Gajardo

CHILLÁN, 2017

“A mis padres, hermanos y amigos que me han ofrecido su apoyo incondicional en mi proceso de formación y proyectos futuros”.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo y como más importante, quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mi profesor guía, ya que sin su ayuda y comprensión, la entrega de esta tesis no habría sido posible. Su apoyo y confianza en mi trabajo a pesar de todo, fueron fundamentales en la realización de este estudio.

También, quiero agradecer a mis profesores, que contribuyeron con sus enseñanzas a la formación de un profesional comprometido con su área; a la Ilustre Municipalidad de Chillán, en especial a la unidad de Medio Ambiente de la Dirección de Medio Ambiente Aseo y Ornato, quienes me acogieron desde mi práctica profesional y formaron parte fundamental del desarrollo de este trabajo de tesis, y por último y en especial, agradecer a mis padres y hermanos, que con su preocupación y apoyo, hicieron de mí un profesional competente para posicionarse en el mundo laboral.

INDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	8
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
1.3. OBJETIVOS.....	10
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.5 LIMITACIÓN DEL ESTUDIO	11
CAPITULO II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA.....	13
2.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	14
2.1.1 Antecedentes geográficos y climáticos	14
2.1.2 Antecedentes Demográficos	18
2.1.3 Antecedentes Ambientales de la Comuna de Chillán.....	19
2.1.4 Antecedentes de emisiones de material particulado e identificación energética de la zona.....	22
2.1.5 Calefacción distrital	25
2.1.6 Marco legislativo y regulatorio chileno.....	29
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	33
3.1 Análisis e identificación de escenario	36
3.2 Oferta y demanda de combustible	37
3.3 Características de las tecnologías disponibles	43
3.4 Determinación de emplazamiento del estudio	43
3.5 Demanda de calor residencial para la zona seleccionada.....	47
3.5.1 Temperatura.....	49
3.5.2 Humedad relativa	51
3.5.3 Viento	51
3.5.4 Radiación solar	52
3.5.5 Resumen de información climática y atmosférica	54

3.5.6 Dimensiones de hogares a calefaccionar.....	56
3.6 Confort térmico	61
3.7 Demanda de calor para generación de ACS	62
3.8 Diseño de central de vivienda.....	64
3.9 Calefacción y suministro de ACS para placa solar	67
3.10 Calculo de emisiones GEI.....	73
CAPITULO IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	76
4.1 Resultados demanda térmica residencial	76
4.2 Resultados de diseño de central.....	79
Caldera.....	80
Acumulador	80
Radiadores.....	80
4.3 Resultados de emisiones de GEI y MP.....	82
4.4 Resultados de costos de central.....	84
4.5 Análisis PEST	87
Dimensión política.....	87
Dimensión económica.....	90
Dimensión social	91
Dimensión tecnológica	92
CAPITULO V. DISCUSIÓN	93
REFERENCIAS.....	98
ANEXOS	105
Anexo A: Demanda térmica bruta para ACS	106
Anexo B: Calculo de demanda térmica neta.....	107
Anexo C: Calculo de demanda solar y dimensionamiento de termopaneles ...	109

Anexo D: Calculo de emisiones de GEI	112
Anexo E: Cálculos costos de central	115
Anexo F. Tabla de factores para dimensionamiento de radiadores.....	120
Anexo G: Tabla de conversión de la leña	122

RESUMEN

La calefacción distrital es un sistema de calefacción ampliamente extendido mundialmente tanto por su eficiencia en el uso de los combustibles, las bajas emisiones de gases de efecto invernadero, su diversificación en el uso de combustibles o fuentes de energía, como también por las ventajas que presenta en la generación energética centralizada para un distrito de suscriptores.

La ciudad de Chillán presenta un alto consumo de leña durante los meses de invierno, esto debido a la poca regulación del mercado de la leña en la zona y al alza constante de los precios de otros combustibles fósiles.

Esto ha llevado a declarar a la ciudad como saturada de Material Particulado de 10 micrometros y 2,5 micrometros, por lo que el gobierno ha decidido implementar planes de prevención y descontaminación atmosférica en la zona.

En el presente estudio evalúa técnica, económica y ambientalmente la implementación de una planta de calefacción distrital que abastecerá de calor y agua caliente sanitaria (A.C.S) a través de radiadores a un conjunto residencial de 359 viviendas unifamiliares de una planta con 45 m² y su funcionamiento con sistema solar térmico (SST), generando un aporte no solo para los inversionistas y el gobierno, sino también para la comunidad.

Los resultados de este estudio que se pueden observar en el Capítulo IV, permiten afirmar que para la vivienda estudiada es viable tanto económica, como ambientalmente la implementación de una planta de calefacción distrital, no obstante, la inversión inicial de la implementación de SST individuales para el conjunto residencial, resulta inviable económicamente, pero no así en cuanto a la reducción de emisiones de GEI, las cuales ascienden a un 63,64% menos de gases de efecto invernadero; por otro lado, la implementación de un SST central resulta una solución económico y ambientalmente viable, generando ganancias en un corto periodo y reducción de las emisiones de material particulado a la atmosfera, contribuyendo con la descontaminación de la comuna.

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El tipo de energía que utiliza un país depende de los recursos naturales disponibles dentro de su territorio y las fuentes energéticas importadas, cuyo consumo puede comprometer la seguridad energética de un país. En Chile, el Comité de Seguridad Energética reconoce que un abastecimiento seguro y confiable de energía es clave para el desarrollo económico y social (Comisión Nacional de Energía, 2010).

Hoy en día podemos encontrar en Chile alrededor de 3.600.000 viviendas térmicamente deficientes correspondiente a un 86,92% del total del país, lo que implica altas pérdidas de energía con un intenso consumo de leña de calidad inapropiada para el uso de calefacción de manera ineficiente y muy contaminante (Contreras, 2008). Dentro de los habitantes pertenecientes a todos los estratos socioeconómicos de Chile más del 60% pasan el invierno a menos de 15° C dentro de sus viviendas y el 21% a más de 30° C en verano (Comisión Nacional de Energía & Agencia Alemana de Cooperación Técnica, 2008). Esto incide no sólo en bajos estándares de habitabilidad, sino en problemas para la salud humana, en materia de presencia de humedad y hongos, bajos niveles de confort térmico, calefacción ineficiente y contaminante, mala calidad de aire interior, insuficiente iluminación natural, y aislación acústica. Estos problemas son agravados en la zona centro-sur de Chile, una zona climática con inviernos fríos y prolongados, donde muchas de las ciudades han sido declaradas saturadas de material particulado (Corporación Chile Ambiente, 2008), específicamente ha sido señalado que el mayor porcentaje se da como resultado del uso de calefacción a leña (Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2007).

La ciudad de Chillán es un núcleo administrativo que ejerce una fuerte atracción sobre los asentamientos urbanos de la provincia de Ñuble y sobre el entorno agrario circundante, prestando servicios y constituyendo un foco de atracción para el asentamiento de la población (Azócar et al., 2003). Ciudades como Chillán, que poseen entre 50.000 y 300.000 habitantes están creciendo aceleradamente y son las que presentan mayores expectativas de desarrollo sustentable, con claros

indicios de reconversión agrícola a semi-industrial (Celis et. al., 2007). Es por ello que es fundamental evitar que estas ciudades reproduzcan los problemas ambientales de las áreas metropolitanas, por lo que evaluar rápida y estratégicamente sus potencialidades y limitaciones ambientales es una necesidad.

El alto volumen de combustibles de madera consumido en Chillán, se debe, principalmente al consumo residencial urbano, el que explica el 78% del consumo anual, con 118.605 m³ sólidos, siendo la leña nativa la más consumida, en particular hualle (renovales de roble-raulí-coigüe), de la cual procede un 58,1 % de la leña consumida en el sector urbano de Chillán (56.269 m³ sólidos) (Ministerio de Energía, 2015). Este alto consumo residencial se debe al bajo costo de adquisición de la leña en relación a otras fuentes energéticas, como el gas licuado o la electricidad. La proporción de consumidores de leña en Chillán es de un 60,9%, es decir, que prácticamente 3 de cada 5 hogares de Chillán consumen algún tipo de combustible de madera. Esta proporción está sujeta al nivel socioeconómico del hogar. (Instituto Forestal & Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2005)

La atmósfera inhalable de la ciudad de Chillán es considerada como un problema de origen antropogénico durante otoño e invierno, coincidiendo con las significantes cantidades de leña usadas como combustible para la calefacción de los hogares y con los periodos de estabilidad atmosférica (Celis et. al., 2003). Estudios previos señalan que del total de la contaminación emitida en el año 2005 en la ciudad de Chillan el 69,25% corresponde a MP₁₀ y MP_{2,5}, y dentro de ese aporte total de MP el 66% proviene de la calefacción residencial (Universidad Católica de Temuco, 2009).

Es por esto que las autoridades se ven en la necesidad de emplear planes de descontaminación ya no solo para las grandes ciudades de Chile, sino también para las ciudades intermedias como es el caso de Chillán.

Los planes de descontaminación ambiental han incluido medidas como el control del uso de leña y restricciones vehiculares, lo que eventualmente ayuda a disminuir los niveles de contaminación en la época invernal, pero no se pueden considerar como soluciones a largo plazo efectivas.

El mal uso de leña en la ciudad de Chillán está afectando la calidad de vida de las personas, por lo que mirar hacia nuevas tecnologías es una necesidad. Según un estudio realizado en 2005 por el Instituto Forestal y la Comisión Nacional de Medio Ambiente, entre mayo y agosto de cada año se registraría el 80% del consumo anual de leña. Y del total de leña consumido en estos meses un 26% sería empleado en estufas de combustión lenta doble cámara y un 31% en las de cámara simple, el resto del consumo de leña (43%) sería empleado en equipos pocos eficientes y además que emiten muchos contaminantes a la atmósfera, entre ellos salamandra, cocina de fierro, estufa de lata, chimenea, braseros y otros.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El siguiente estudio pretende responde la siguiente pregunta de investigación ¿Es la calefacción distrital una alternativa económica y ambientalmente eficiente en contraste al uso de otras fuentes de calefacción?, para responder la pregunta de investigación, se plantea la siguiente hipótesis, si la utilización de calefacción distrital es una opción económica y ambientalmente eficiente al problema de contaminación por material particulado en la ciudad de Chillán.

1.3. OBJETIVOS

El objetivo general es evaluar técnico-ambiental y económicamente la implementación de una planta de calefacción distrital en un conjunto residencial de la ciudad de Chillán.

Los objetivos específicos son:

(1) Cuantificar la demanda térmica del sector de estudio.

- (2) Cuantificar el impacto sobre la concentración de MP10 y MP2,5 posterior a la implementación de una panta de calefacción distrital en un conjunto residencial de la ciudad de Chillán.
- (3) Determinar un índice costo beneficio y rentabilidad de inversión de la implementación de una panta de calefacción distrital en un conjunto residencial de la ciudad de Chillán.

1.4 JUSTIFICACIÓN

El presente estudio surge en base a la necesidad de diversificación de la matriz de calefacción de la comuna de Chillán, frente al escenario que desde el 28 de marzo de 2016 entró en vigencia el Plan de Prevención y descontaminación atmosférica para la intercomuna Chillán y Chillán Viejo (DS N°48, 2016), el cual estipula en el Capítulo II la regulación para el control de emisiones asociadas a calefacción domiciliaria, obligando restricciones e incluso prohibiciones del uso de calefactores que combustionan leña en la intercomuna de Chillán y Chillán Viejo. No obstante, los Artículos 28 al 33 establecen la generación de programas de fomento para empresas constructoras dispuestas a invertir en sistemas de calefacción distrital en los nuevos conjuntos habitacionales emplazados dentro de la zona saturada, lo cual podría llegar a ser una alternativa rentable para la inversión de empresas constructoras.

Por ello, este trabajo es un precedente para la obtención de elementos de juicio fundamentados en la toma de decisiones que permitan ajustar la acción presente en pro de la protección del medio ambiente utilizando tecnologías sustentables para calefacción en la comuna de Chillán; además de producir aprendizajes útiles para la evaluación y mejorar los procesos de gestión de los proyectos futuros.

1.5 LIMITACIÓN DEL ESTUDIO

Este estudio se ve restringido solo a la zona latente y saturada en cuestión, la cual posee una muy baja fuente de información referente a la implementación de calefacción distrital y más aún con complementos de energías renovables no

convencionales, lo cual dificulta la comparación con otras fuentes; además al no haber estudios previos o instalaciones emplazadas en la zona, el mercado, mecanismos de fomento, entre otros factores económicos son hipotéticos en este estudio lo que puede llegar a ser no representativo a futuro.

CAPITULO II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA

Dentro del marco teórico de este trabajo de tesis se mencionan estudios tanto de experiencias nacionales, como internacionales en la implementación de calefacción distrital, esto, para enmarcar y contextualizar el escenario actual de la calefacción distrital en la zona, y además debido a la falta de información disponible debido a la pequeña implementación de esta tecnología en nuestro país.

Además se hace mención a literatura técnica para proyectos de calefacción distrital o distribución de calor domiciliario, ya sean recursos obtenidos desde el sector público (Ministerio de Energía, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Medio Ambiente, Superintendencia de Electricidad y Combustibles) o del sector privado.

Además, se utilizaron datos sobre estudios de demanda de calefacción domiciliaria, comportamiento del consumo de combustibles, diagnostico de contaminación atmosférica, entre otros relacionados al DS 48 del Ministerio del Medio Ambiente que Aprueba el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para la Intercomuna de Chillán y Chillán Viejo.

A raíz de lo anterior, es posible el levantamiento de la implementación, así como también del análisis de los factores de mayor influencia en el desarrollo del estudio, gracias a la disponibilidad de información, que se encuentra en la memoria de José Seminario Castelblanco (para optar al título de ingeniero civil mecánico e Ingeniero Civil Industrial, Universidad de Chile, año 2012) en que se hace un análisis detallado de la implementación de calefacción distrital para punta arenas. A diferencia del trabajo aquí propuesto, J. Seminario realiza un estudio de ingeniería de detalle, analizando tres escenarios diferentes para la implementación de una central de cogeneración, proponiendo también elementos del diseño de negocios tanto empresarial como gubernamental, no obstante, este trabajo está baso en la metodología de la memoria antes mencionada.

Este estudio será de particular importancia para el apoyo en materia de análisis de calidad ambiental y dimensionamiento macro en el diseño de nuevo proyectos residenciales.

Para el diseño y análisis de sistema de calefacción distrital se utilizó como referencia el trabajo de Carlos Olmeda Muñoz, quien realizó un estudio técnico-económico comparativo de la calefacción y A.C.S alternativamente con energía solar térmica o Gas Natural de una vivienda en Guadalajara. (Universidad de Comillas, México) y estudios de implementación de calefacción distrital con complemento de energía solar en otros países como Finlandia y Dinamarca.

En análisis de la situación en materia de calefacción en la ciudad de Chillán se determinó utilizando la información y metodología de estudio del Plan de prevención y descontaminación atmosférica para la intercomuna de Chillán y Chillán Viejo.

Finalmente, el análisis económico se sustenta, en primer lugar, en diversas metodologías de análisis del entorno de negocio.

2.1 ANTECEDENTES GENERALES

2.1.1 Antecedentes geográficos y climáticos

La comuna de Chillán se encuentra ubicada en la Región del Bío-Bío; Capital de la provincia de Ñuble, está ubicada en una extensa planicie entre la Cordillera de la Costa y la Cordillera de los Andes, en los 36° 36' de latitud sur, con 72°26' de longitud oeste, a una altitud media de 124 metros.

Limita al Norte con las comunas de San Nicolás y San Carlos; al Sur con la comuna de Chillán Viejo; al Oriente con las comunas de Pinto y Coihueco; y al Poniente con las comunas de Quillón, Portezuelo y Ránquil (Figura 1).

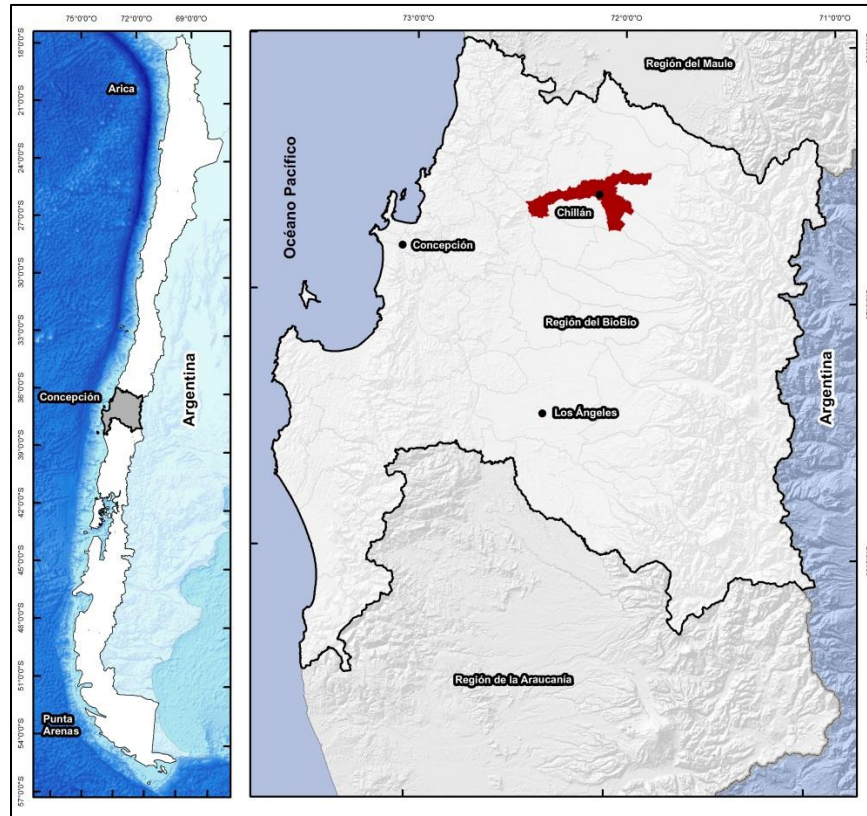


Figura 1. Mapa de la ciudad de Chillán.
Fuente: Solís. M, 2016.

Chillán tiene características climáticas claramente identificadas de la zona central de Chile. Domina el clima templado mediterráneo con estación seca y lluviosa semejante con incidencia continental o mediterráneo continentalizado. El mes más caluroso es enero que registra temperaturas medias de $19,7^{\circ}\text{C}$. Las máximas absolutas se registran a mediados del mismo mes, donde alcanzan valores de hasta 38°C a la sombra. El mes más frío es julio que anota temperaturas que oscilan entre el 1°C y el 5°C . Entre las mínimas absolutas más significativas se registran también en el mes de julio, donde alcanzan hasta -8°C . Las precipitaciones son del orden de 1.107 mm anuales.

Las bajas notables de temperatura observadas en este periodo, se deben al avance de masas de aire frío polar que penetran muy al interior del país y la presencia de la cordillera de la costa que impide que llegue la influencia moderadora del mar. La temperatura media para un año normal según datos

registrados por la estación meteorológica del aeródromo de la Fuerza Aérea de Chile, es de 13,05°C. El comportamiento metereológico de la ciudad se puede observar en la Figura 2.

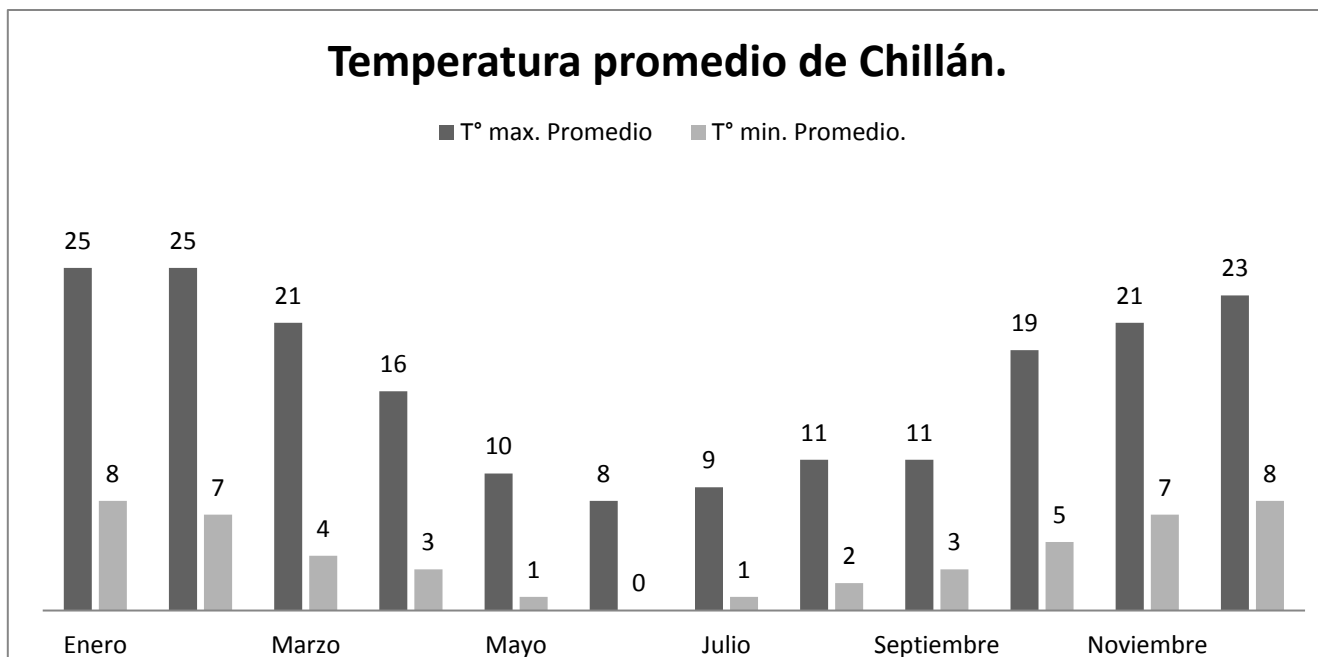


Figura 2. Gráfico de temperatura máxima y mínima promedio entre año 2000 a 2012 para la ciudad de Chillán.

Fuente: World Wheather online.

La comuna de Chillán registra índices de radiación solar altos, con un promedio anual de 5,13 kWh/m² durante el 2014, lo que supera a comunas del norte de nuestro país como Iquique con 4,47 kWh/m² o Pudahuel 4,74 kW/m² (Diario La Discusión, 2012). Este índice solar de energía posiciona a la comuna como un gran exponente para proyección e inversión en energías renovables.

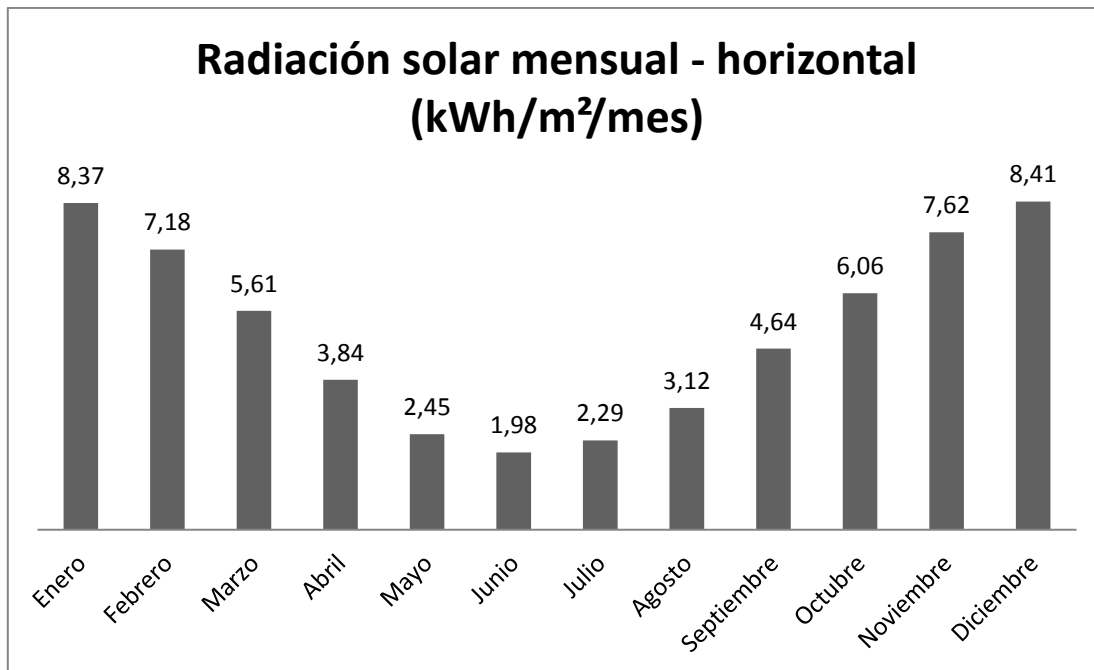


Figura 3. Gráfico de radiación solar mensual horizontal, correspondiente al año 2014 en la ciudad de Chillán.

Fuente: SINCA, Estación Purén, Chillán.

Por otro lado, otro factor potencial de inversión para las energías renovable no convencionales es la geotermia, aquella energía que proviene del aprovechamiento del diferencial térmico entre el ambiente y el suelo. Chillán registra temperaturas promedio en el orden de los 22 °C para los meses de verano y mínimas de 8 °C para los meses de invierno, lo que disminuye la temperatura base de calentamiento y enfriamiento para el caso de un sistema de calefacción.

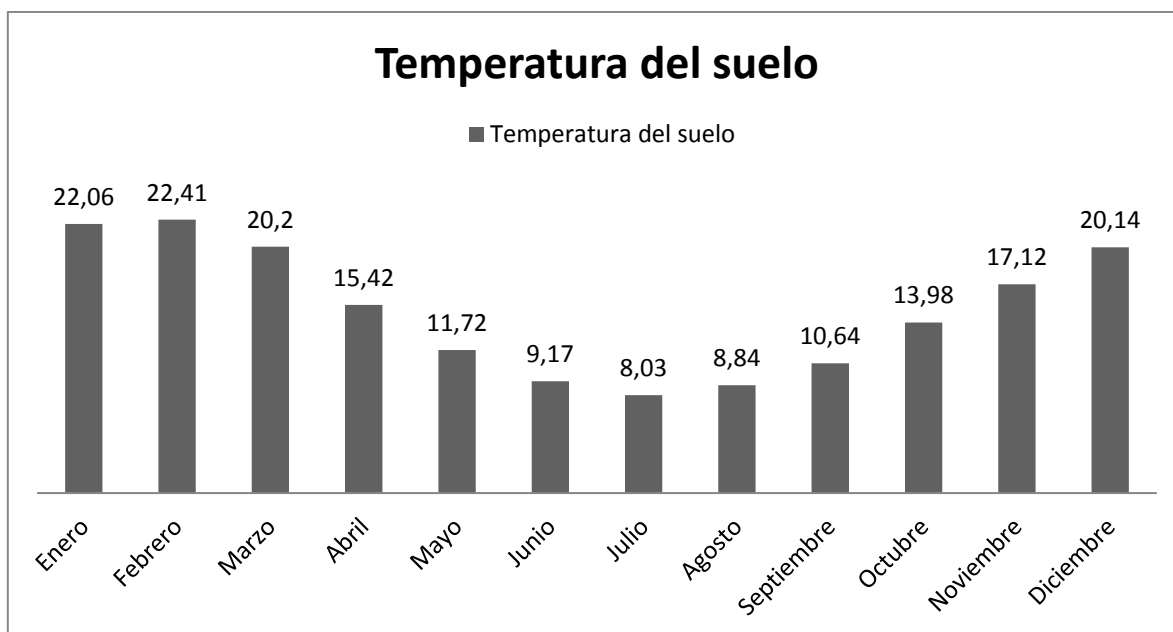


Figura 4. Gráfico de temperatura del suelo mensual, correspondiente al año 2014 en la ciudad de Chillán.

Fuente: SINCA, Estación Purén, Chillán.

2.1.2 Antecedentes Demográficos

La ciudad de Chillán es el segundo núcleo urbano más grande de la región, después de Concepción, en dónde según datos preliminares del censo 2012 y como se aprecia en la Tabla 1, habitan cerca de 178.478 personas según las proyecciones (Instituto Nacional de Estadísticas, 2012), de las cuales más del 90% pertenecen al área urbana de la comuna (Bakovic & Balic, 2011).

Tabla 1. Proyección de población 2012.

Territorio	Año 2002	Proyección 2012	Variación (%)
Comuna de Chillán	161.953	178.478	10,20
Región del Biobío	1.861.562	2.061.544	10,70

Fuente: Censo 2002 y proyección 2012, Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Chillán es parte del grupo de comunas que presenta una de las mayores concentraciones de habitantes por km² de la Región del Bío-Bío. Según el último

Censo de Población (2002), Chillán alcanzó una densidad de 349,13 hab/km² respecto de la superficie total comunal, siendo su densidad muy superior al promedio general de la Región del Bío-Bío (Tabla 2), que alcanzó a 55,61 hab/km².

Tabla 2. Densidad poblacional.

Territorio	Población (Hab)	Superficie (Km ²)	Densidad poblacional (Hab/km ²)
Comuna de Chillán	178.478	511,2	349,13
Región del Biobío	2.061.544	37.068,70	55,61

Fuente: Censo 2002 y proyección 2012, Instituto Nacional de Estadísticas (INE).

Producto del aumento poblacional y el desarrollo de nuevas áreas urbanas, se tiene un creciente uso de recursos energéticos con la finalidad de calefacción residencial, que en el caso puntual de Chillán, es preferencialmente el combustible leña (DS 48 MMA, 2015).

2.1.3 Antecedentes Ambientales de la Comuna de Chillán

La ciudad de Chillán presenta una serie de problemáticas ambientales, dentro de ellas, e identificado como uno de los más preocupantes por los habitantes de la comuna, se encuentra la contaminación atmosférica por material particulado (Ilustre Municipalidad de Chillán, 2015).

En Chile, existen las normas de calidad primaria y secundaria, que regulan parámetros de la calidad del aire. La norma primaria está enfocada directamente a establecer los límites de concentración para cualquier sustancia o elemento, cuya presencia o carencia en el ambiente pueda generar daño a la salud de la población. Por otra parte, las normas secundarias de calidad ambiental al igual que las primarias establecen las concentraciones y periodos máximos de sustancias o elementos pero estas se centralizan en la protección del medio ambiente y la preservación de la naturaleza. Además, la Ley 19.300 modificada

por la Ley 20.417, del Ministerio Secretaria General de la Presidencia, denominada Ley Sobre Bases Generales Del Medio Ambiente define dos nuevos conceptos; zona saturada y zona latente, en donde dentro de la ley estipula y define en el artículo número 2, letra t y letra u que:

t) Zona latente: Aquella en que la mediación de la concentración de contaminantes en el aire, agua o suelo se sitúa entre el 80% y 100% de valor de la respectiva norma de calidad ambiental” y

u) Zona saturada: Aquella en que una o más normas de calidad ambiental se encuentran sobrepasadas (Ministerio secretaria general de la presidencia de la Republica,1994).

El mayor contaminante del aire en la comuna de Chillán es el material particulado, el cual se define como una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire (Organización Mundial de la Salud, 2013), el cual afecta a toda la población siendo de riesgo los niños y adultos mayores.

La Organización mundial de la salud estima que el material particulado del aire contribuye con aproximadamente 800.000 muertes prematuras cada año, posicionado como la décima tercera mayor causa de muerte a nivel mundial (Organización Mundial de la Salud, 2006), y los que es peor, estudios recientes aseguran que la relación en la exposición directa al material particulado es más profunda y compleja, tanto así que es el causante del aumento de morbilidad y mortalidad a causa de enfermedades respiratorias y cardiovasculares de la población mundial (Gowers, 2012).

La situación de salud que presenta la comuna de Chillán, es muy similar a la realidad nacional y mundial, esto se debe a grandes cambios sociales en los estilos de vida de las personas, este cambio ha implicado una situación epidemiológica distinta caracterizada por el envejecimiento de la población y un predominio de las Enfermedades No Transmisibles (ENTs), tales como las cardiovasculares y el cáncer. La mayor cantidad de consultas se deben a

problemas circulatorios 23%, seguido por tumores (principalmente digestivos y genitales) 21%, Enfermedades respiratorias 17%, Traumatismos y envenenamiento 10% y Otras (sistema digestivo, genitourinario, otras) 29%, tomando en consideración que la mayor cantidad de consultas en niños es por enfermedades respiratorias (IRAS altas y bajas).

Para afrontar este problema que no solo nos afecta como comuna, sino que como país, el Ministerio del Medio Ambiente, cuenta con una red de monitoreo ambiental de calidad del aire, compuesta en Chillán por 2 estaciones, donde se obtienen registros desde el año 2004 para MP10 y desde el año 2008 para MP2,5 (Ministerio de Medio Ambiente, 2012).

Las estaciones de monitoreo de calidad del aire en Chillán son INIA QUILAMAPU, ubicada en Av. Vicente Méndez, y Estación de monitoreo Purén, en funcionamiento desde el año 2012 y ubicada en Calle Cristóbal Colón, la cual fue calificada por Resolución Exenta de la SEREMI de Salud de la Región del Biobío, como estación monitorea con representatividad poblacional (Ministerio de Medio Ambiente, 2016).

Durante los monitoreos del año 2009 al 2012 en INIA QUILAMAPU, se obtuvieron los primeros registros de superación de la norma de calidad primaria. Las principales fuentes contaminantes de este aumento fueron la calefacción domiciliar con leña, durante los meses de invierno, seguida por las industrias y comercio, quemas agrícolas e incendios forestales; y por último las fuentes móviles, que en este caso da referencia a los vehículos particulares y de transporte público.

Por decreto supremo el 23 de octubre del 2012 se declara a la comuna de Chillán como zona saturada, tal como lo establece el DS N° 36 del Ministerio del Medio Ambiente el cual “Declara zona saturada por material particulado respirable MP10 y por material particulado fino respirable MP2,5 ambas como concentración diaria, y declara zona latente por material particulado respirable MP10, como

concentración anual a las comunas de Chillan y Chillan Viejo” (Ministerio de Medio Ambiente, 2013).

2.1.4 Antecedentes de emisiones de material particulado e identificación energética de la zona

La ciudad de Chillán ha basado su economía en la actividad forestal (Romero, et. al., 2009). Es en la región del Bío-Bío en donde se ubica la mayor proporción de plantaciones forestales del país, con un 36,3% del total, equivalente a cerca de 1 millón de hectáreas forestadas (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 2014). De ese millón de hectáreas forestadas de la región, cerca de 353,6 corresponden a la ciudad de Chillán (Henríquez, 2014). Debido a la alta disponibilidad y a su bajo precio de mercado, la leña es el recurso mayormente usado para calefacción en la comuna.

Este alto volumen de combustibles de madera consumido en Chillán, se debe, principalmente al consumo residencial urbano, el que es cercano al 78% del consumo anual, con 118.605 m³ sólido.

El consumo de combustibles de madera tiene una marcada estacionalidad, concentrándose entre abril y septiembre, correspondiendo los meses de mayor consumo a junio y julio y los de consumo intermedio a abril, mayo, agosto y septiembre. En el resto de los meses (octubre a marzo) el consumo sería muy bajo (y se registraría en muy pocos hogares, o bien definitivamente no se produciría consumo).

La principal leña demandada por los hogares de Chillán es proveniente de árboles nativos, en particular hualle (renovales de roble-raulí-coigue), de la cual procede un 58,1 % de la leña consumida en el sector urbano de Chillán (56.269 m³ sólidos). Le sigue armo aportando un 20,7 % y especies varias (leña mixta, de exóticas y otras nativas), con un 21,2%. De estas especies, las preferencias se inclinan por hualle, por su mayor “poder calórico”, según los consumidores.

Tras el alto consumo residencial se encuentra su menor costo de adquisición en relación a otras fuentes energéticas, como el gas licuado o la electricidad, factor que incide más que la comodidad o posibles riesgos de incendios y roedores (52% de los hogares consumidores indica que los prefieren porque “son más económicos”).

Los hábitos de consumo de combustibles de madera en el sector residencial, determinan que la proporción de consumidores (como media ponderada), sea de un 60,9%, es decir, prácticamente 3 de cada 5 hogares de Chillán consumen algún tipo de combustible de madera; proporción que tiende a variar dependiendo del nivel socioeconómico del hogar. De esta manera, la penetración en el grupo socioeconómico alto alcanzaría a un 81,3%; en el estrato medio a un 62,9% y en el estrato socioeconómico más bajo llegaría a 55,7%.

El consumo de leña por hogar (consumidor) alcanzaría como promedio ponderado a 4,5 m³ sólidos anuales, sin claras diferencias a nivel socioeconómico; comprobándose que el consumo medio por hogar tiende a aumentar con la latitud del país.

Las estufas de combustión lenta son uno de los equipos más utilizados para calefacción estando presentes en un 43,6% de hogares, primando las estufas de cámara simple (27,3%) por sobre las de cámara doble (16,3%). El resto de hogares (56,4%) satisface sus necesidades de calefacción a través de salamandras, estufas de lata o tarro y braseros (Instituto Forestal & Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2005).

Debido a este alto consumo de leña, se ha detectado que las principales fuentes emisoras de material particulado respirable MP10 y MP2,5 corresponden a la combustión residencial de leña, seguida por las industrias y comercial, quemas agrícolas e incendios forestales; y por último las fuentes móviles (DS N°48, 2016), como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Inventario de Emisiones de las Comunas de Chillán y Chillán Viejo

	MP ₁₀	MP _{2,5}	SO _x	NO _x	NH ₃	CO
Residencial	4.696	4.562	32	195	0	52.077
Quemas e Incendio Forestales	213	191	0	3	0	66
Fuentes Fijas	103	89	6.719	4.423	99	10.812
Móviles en ruta	385,1	75,5	20	574	12	2.784
Móviles fuera de ruta	-	-	7.715	406	0	12
Fugitivas	56,7	-	-	-	-	-
Otras	-	-	325	12	367	4
Total	5.454	4.917	9.811	5.613	478	65.755

Fuente: Plan de prevención y descontaminación atmosférica para la intercomuna Chillán y Chillán Viejo, 2016.

Es por ello que el vigente plan de prevención y descontaminación atmosférica para la intercomuna de Chillán y Chillán Viejo apunta en sus medidas al recambio de calefactores y gestión de episodios críticos a través de restricciones y prohibiciones en el uso de calefactores que combustionan leña.

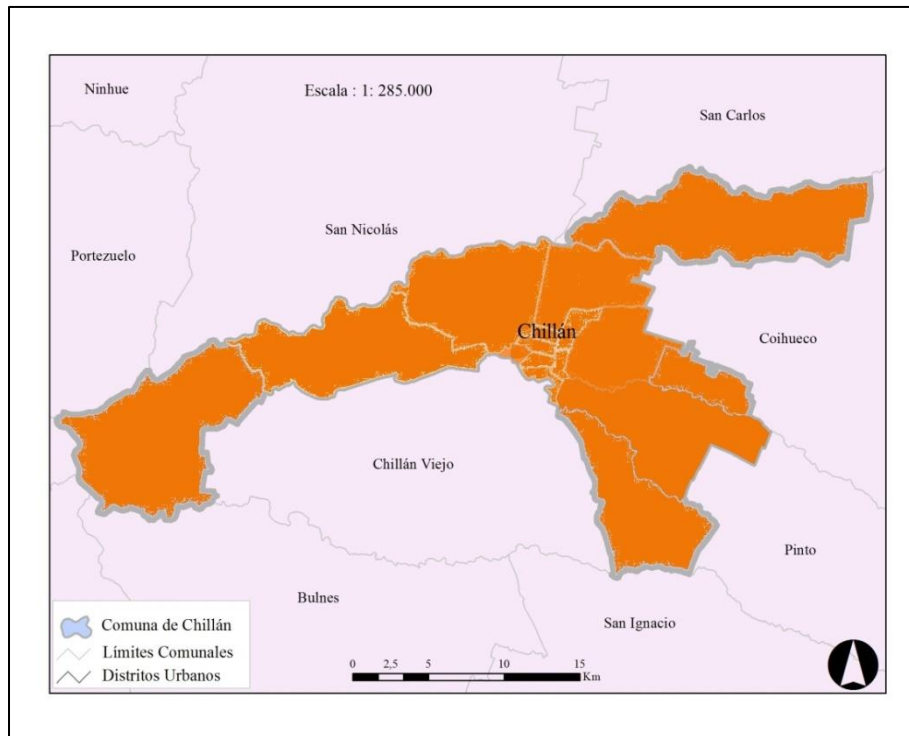


Figura 5. Mapa de zona declarada saturada y latente por material particulado para la Comuna de Chillán.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.5 Calefacción distrital

La calefacción representa la mayor porción del uso de energía usado como suministro a consumidores a través de todos los usos de la energía. Es por ello que en muchos países alrededor del mundo, la habilidad para calefaccionar y abastecer de agua caliente a las edificaciones es esencial. En la actualidad, este tema es intensamente discutido, en busca de lineamientos para ver cómo podemos abordar de mejor manera la implementación de sistemas de energía futuros en los cuales la combustión de combustibles fósiles debería ser reducida o completamente evitada (Lund, 2009). Por lo tanto existe un enorme potencial de ahorro de energía en el sector de la calefacción a fin de disminuir las emisiones de CO₂. La calefacción distrital ha sido considerada un método de calefacción de edificios eficiente, amigable con el medio ambiente y económico, y juega un rol importante en la mitigación del cambio climático. Un sistema de calefacción

distrital es un sistema centralizado que provee de calor a usuarios finales a través de la distribución de calor o vapor a través de una red de cañerías. Por ejemplo en Europa, la calefacción distrital por si sola es responsable de la reducción de al menos 113 millones de toneladas de emisiones de CO₂ por año, representando el 2,6% de la cantidad total de las emisiones de CO₂ al año 2015 (Song, 2015).

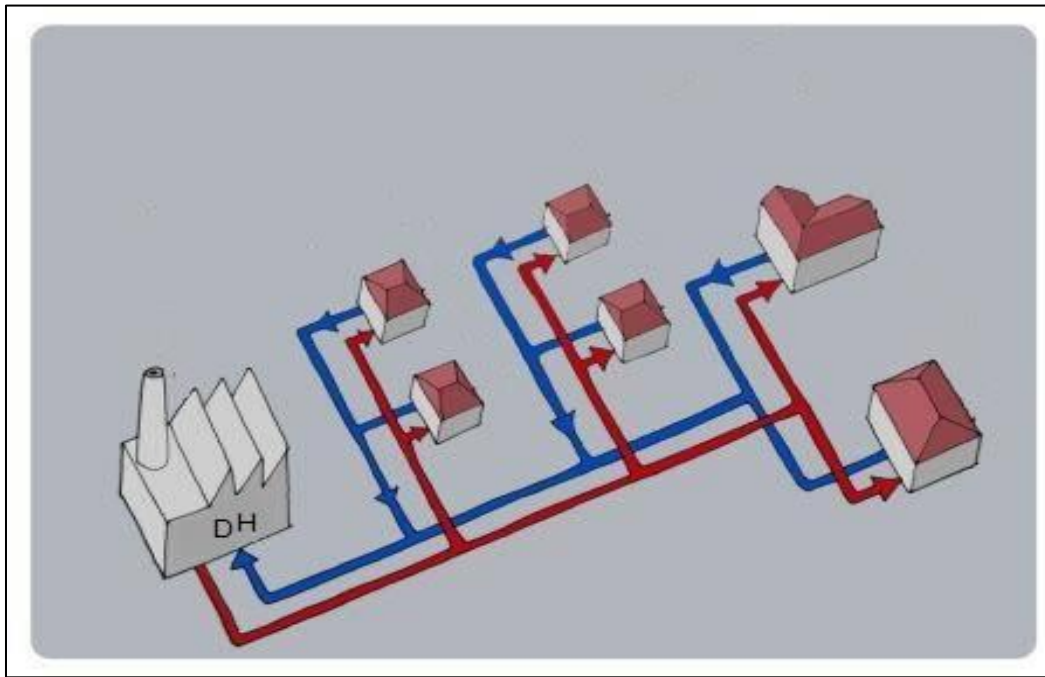


Figura 6. Esquema de un sistema de calefacción distrital.

Fuente: District Heating in pictures, 2010.

Una opción alternativa al uso de leña, un recurso sobreexplotado en las comunas del sur de Chile, es la calefacción distrital (Vergara, 2015). El concepto principal de esta tecnología es suministrar calefacción a los edificios públicos, apartamentos, oficinas etc. Su funcionamiento se basa en una central cercana a los consumidores que produce calor con el cual se genera agua caliente o vapor y este es distribuido mediante un sistema de tubos aislados, por lo general subterráneos, a una ciudad o un barrio de dicha ciudad, el transporte del fluido se puede realizar a través de varios kilómetros con pérdidas mínimas de calor para los consumidores (Huerta et. al., 2010).

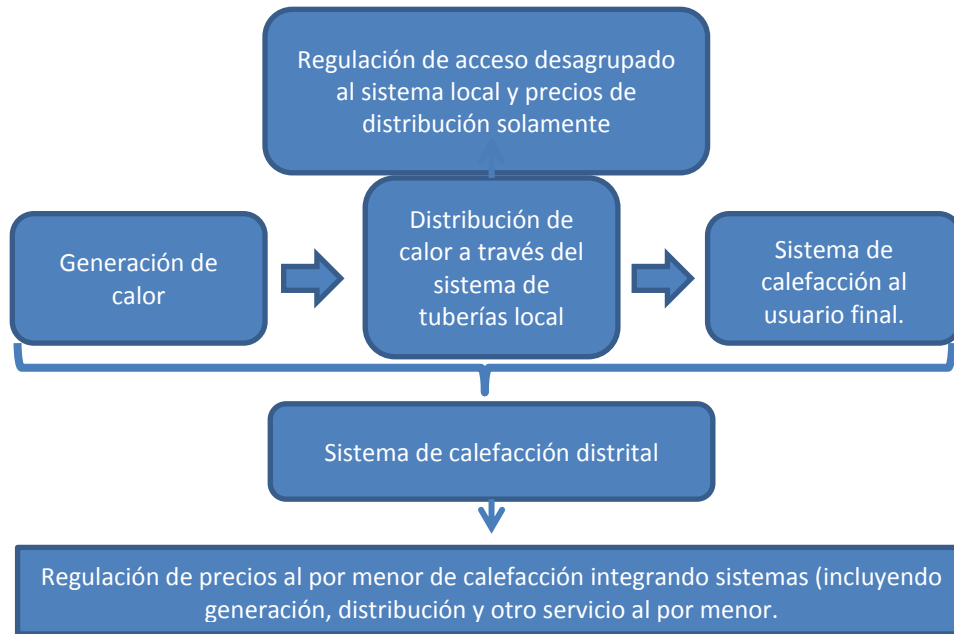


Figura 7. Funcionamiento de un sistema de calefacción distrital.
 Fuente: Elaboración propia en base a datos utilizados de Wissner, 2014.

La provisión de calefacción distrital es usualmente procesado a través de un sistema cerrado que comprende la generación de calor, la distribución de calor a través de una red local de tuberías y un usuario final del sistema de calefacción, como se muestra en la figura 7 (Wissner, 2014).

La calefacción distrital como la utilizamos hoy se desarrolló a comienzos del siglo XX, aunque existen vestigios en el Imperio Romano de técnicas similares. El concepto principal es suministrar calefacción a los edificios públicos, apartamentos, oficinas, etc. Su funcionamiento se basa en una central cercana a los consumidores que produce calor con el cual se genera agua caliente o vapor y este es distribuido mediante un sistema de tubos aislados, por lo general subterráneos, a una ciudad o un barrio de dicha ciudad, el transporte del fluido se realiza a través de muchos kilómetros con pérdidas mínimas de calor para los consumidores (Figura 8).

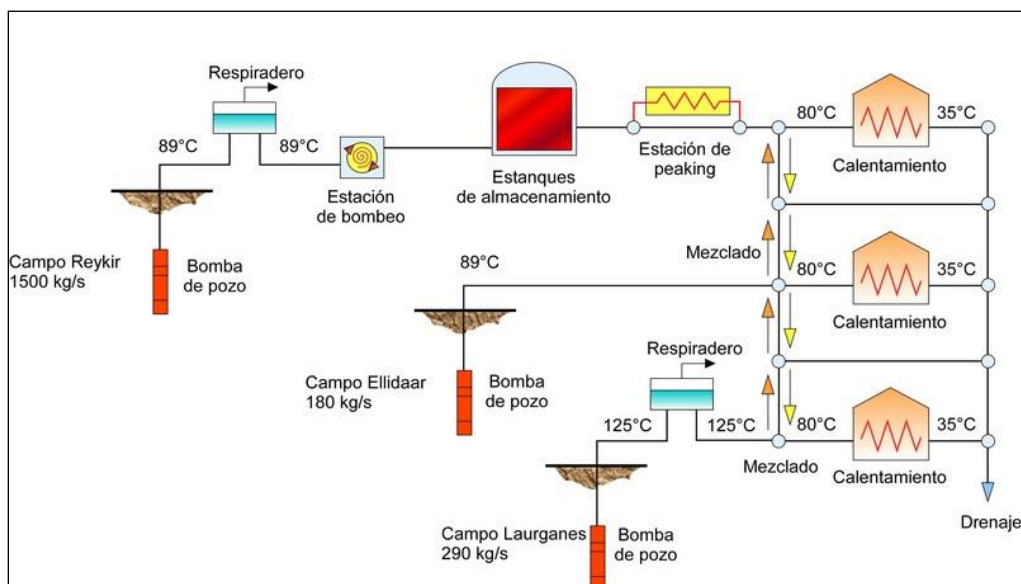


Figura 8. Diagrama de flujos simplificados de un sistema geotermal de calefacción distrital de Reykjavik.

Fuente: Gudmundsson, 1988.

El consumo térmico industrial responde mejor a estas características, pues los procesos productivos intensivos en calor dependen netamente de la demanda anual de producción, permitiendo operar gran parte del año con carga alta. Por el contrario, las fuentes residenciales son altamente estacionales, ya que deben cubrir necesidades de calefacción de la población, por lo que claramente hay una correlación directa entre el volumen de consumo y la estacionalidad climática (Unidad de desarrollo Tecnológico, 2013).

Un estudio previo realizado por Díaz (2014) en la ciudad de Chillán, contempla la implementación de esta tecnología en las nuevas edificaciones que se construyan en la ciudad de Chillán, en dónde se estima que se producirían cerca de un 50% menos de emisiones de material particulado fino 2,5 (MP_{2,5}) producto de la quema de leña domiciliaria en Chillán y Chillán Viejo al año 2030, reduciendo el promedio anual de un 35,8 ug/m³ a un 16,9 ug/m³. Uno de los mayores beneficios que entregaría el uso de la calefacción distrital en Chillán y Chillán Viejo sería el ahorro económico en términos sociales. Un acumulativo de 2.832.601 UF (aproximadamente US\$116.000.000) se lograría al 2030, mientras que se evitarían al menos 23 casos de muertes al año por problemas respiratorios, se reduciría las

visitas hospitalarias en emergencias en al menos 2.600 casos y se evitarían más de 68.000 días/hombre de trabajo perdidos en 15 años.

El problema surge en que en algunos casos la inversión en calefacción distrital no es atractiva para los inversores comerciales, y la poca capacidad y experiencia de las autoridades locales en el suministro de energía.

Los sistemas de calefacción distrital son en efecto un instrumento mayor en las políticas de energía renovable en áreas urbanas, porque ellos ofrecen la posibilidad de incorporar energías alternativas en su mezcla de energía fósil. Al mismo tiempo, por ser un sistema con gran tecnicidad implica costos en infraestructura bastante elevados y una necesidad de alto consumo de energía para su mantención (Gabillet, 2014).

2.1.6 Marco legislativo y regulatorio chileno

Se estima que el material particulado se relaciona con un contaminante invisible denominado monóxido de carbono (CO), gas venenoso, incoloro y casi insípido, que se produce por la combustión incompleta de material orgánico (Manahan, 2007). Este sale a la atmosfera, por los tubos de escape de automóviles, hornos y chimeneas. El monóxido de carbono, es letal a cortos periodos de exposición y al igual que todos los agentes contaminantes puede producir graves daños en la salud de la población. Dentro de la normativa que regula las emisiones de CO, destaca el DS 115, del Ministerio Secretaria General de la Presidencia, que en su título establece: Norma primaria de calidad de aire para monóxido de Carbono (CO), en el establece los límites máximos permitidos, límites que declaran situación de emergencia, así como también las metodologías válidas para las mediciones de este agente. El DS 594, aprueba reglamento sobre condiciones ambientales básicas en los lugares de trabajo, en su título VI, párrafo II de los contaminantes químicos, también hace mención de los límites permisibles de monóxido de carbono.

En Chile existen Normas asociadas a este agente contaminante más aun al Material Particulado y que se relacionan directamente con la situación actual de la comuna de Chillán. Ejemplo de esto, el DS N°20 del Ministerio del Medio Ambiente, que Establece Norma de Calidad Primaria para Material Particulado Respirable MP10, en especial de los valores que definen situación de emergencia deroga D.S N°59, de 1998 (Ministerio secretaria general de la presidencia de la Republica, 1998), del ministerio secretaria general de la presidencia y por otra parte el DS N°1 que establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP2,5. En ellos se habla de la relación del material particulado de ambos tamaños, lugar del cuerpo humano en el que se depositan al estar expuesto y respirar este contaminante, como también de las diferencias que ambos presentan en relación a su composición, fuente y comportamiento en la atmosfera.

Existe además el Decreto Supremo N°48 del Ministerio del Medio Ambiente de fecha 28 de marzo de 2016 que aprueba el Plan de Prevención y descontaminación atmosférica para la intercomuna de Chillán y Chillán Viejo (PPDA). Este plan es parte de la estrategia de planes de descontaminación atmosférica 2014-2018 del gobierno de Chile y es una de las medidas que tomo el ministerio del medio ambiente, con el objetivo, tal como se establece en el documento, de recuperar los niveles señalados en las normas de calidad ambiental, todo esto en un plazo de 10 años. Por otra parte se da a conocer una serie de medidas que se harán en base a diversos factores, principalmente a las regulaciones referidas al mejoramiento de la calidad de la leña que se comercializará dentro de la zona, causante principal del 93% de la contaminación presente. Otras medidas que se establecen en el PPDA, son el cuanto a la mejoría de estufas, mejoramiento térmico de viviendas, regularizaciones de emisiones de construcciones habitacionales nuevas, así como también provenientes de quemas agrícolas, domiciliarias y transporte. Destaca además un plan para episodios críticos que se presenten en la zona, como un programa de difusión y educación a la comunidad. (DS N°48, 2016).

Este plan además, establece determinadas acciones a organismos participantes en las cuales se promueve el recambio de calefactores y reducción del uso de leña para calefacción residencial. En su artículo 30 establece que transcurridos 12 meses desde la publicación del Plan en el Diario Oficial, el Ministerio del Medio Ambiente en coordinación con CORFO, deberá diseñar un instrumento de fomento para aquellos proyectos inmobiliarios nuevos que consideren Calefacción Distrital a ejecutarse en la zona saturada. Instrumento el cual deberá considerar, al menos

- a. Incentivos para financiar estudios de preinversión para la evaluación de perfectibilidad de calefacción distrital en proyectos inmobiliarios nuevos.
- b. Incentivos para cofinanciar la inversión de sistemas de calefacción distrital considerados en proyectos inmobiliarios nuevos a ejecutarse en la zona saturada.

Además señala en el artículo 31 que transcurridos 18 meses desde la publicación del plan en el diario oficial, y mientras el plan esté vigente, el Ministerio del Medio Ambiente en coordinación con CORFO abrirá un concurso o programa con financiamiento sectorial y/o del FNDR u otros, para apoyar el desarrollo de proyectos que consideren calefacción distrital, incorporando los resultados del diseño del instrumento de fomento señalado en el artículo anterior.

Por lo que se establece finalmente en el artículo 33 que en un plazo de 3 años desde la publicación del presente Plan en el diario Oficial, el Ministerio del Medio Ambiente, en coordinación con el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, evaluarán el desarrollo de un diseño para un proyecto piloto de calefacción distrital para un conjunto habitacional nuevo en la zona saturada, para lo cual procurarán obtener financiamiento sectorial o del Fondo Nacional de Desarrollo Regional (FNDR).

Además a nivel local, existe una ordenanza municipal que regula la protección del medio ambiente y de la salud ambiental en la comuna de Chillán, aprobada el 23 de abril de 2014 (Ilustre Municipalidad de Chillán, 2014), la cual estipula en el título IV, párrafo I, Artículos 15, 18 y 19 que se prohíbe el funcionamiento de caldera cuya emisión de gases esté autorizada por la autoridad competente (Servicio de

salud) y además se prohíbe la comercialización de leña con un porcentaje de humedad mayor al 25%.

Todas estas regulaciones en torno al sector de la calefacción residencial en Chile, apuntan hacia un recambio en la matriz energética de calefacción y al fomento en la implementación de nuevas tecnologías que diversifiquen el uso de estufas que combustionan leña.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

Como se menciona en secciones anteriores, los alcances de este estudio serán de implementación, evaluación económica y ambiental, por lo que la metodología estará basada solamente en los objetivos propuestos.

Para comenzar el análisis de la implementación de esta tecnología, se usará un análisis PEST (Ayala, L., 2015), con el fin de poder descartar tecnologías que no sean viables o poco factibles dado el contexto de Chillán.

Este análisis identifica los factores del entorno global que afectan a una empresa o industria específica, permitiendo comprender el crecimiento, potencial y dirección de la industria. Se consideran cuatro principales dimensiones (Chapman, A., 2004):

- Aspectos Políticos: Se encarga de analizar los principales aspectos legales reguladores del mercado. Se estudian las leyes que afectan la industria, las políticas de gobierno, entidades regulatorias, entre otros aspectos similares.
- Aspectos Económicos: Se enfoca en el entorno económico en el que se encuentra la industria. Desarrolla temas tales como el ciclo económico de la industria, evolución de los precios y distribución de los recursos dentro del mercado.
- Aspectos Tecnológicos: Busca el estudio de las tecnologías que son utilizadas dentro de la industria. Considera el desarrollo de nuevos productos, el desarrollo de las tecnologías convencionales y la preocupación del gobierno y de la industria por la tecnología.
- Aspecto Socio-culturales: Considera el modo de vida y costumbres de la sociedad que rodea a la empresa. Considera factores como el nivel educativo, evolución demográfica, patrones culturales, estilo de vida de las personas, entre otras.

Esta herramienta de análisis externo al servicio proyectado permite seguir de manera estructurada el análisis de los factores que pueden repercutir en el éxito o

fracaso de alguna implementación. Se podrá a su vez determinar su potencial de utilidad, adaptabilidad y beneficios principales de manera oportuna.

Analizado el escenario o entorno de negocio, se procede a la descripción del modelo de negocios. La evaluación de los modelos de negocio se desarrolla mediante la confección de flujo de caja y un posterior la selección de modelo de negocios se realiza mediante análisis de factores de flujo de caja (VAN, TIR).

Para el área técnica – ambiental, se analizará la demanda de calefacción de la ciudad de Chillán de acuerdo al sector seleccionado como modelo de estudio y los niveles de Material Particulado fino y grueso (MP2,5 y MP10).

En primer lugar se analizará la información estadística del censo, Seremi de energía, Seremi de Medio Ambiente, Superintendencia de electricidad y combustibles, Dirección meteorológica de Chile, etc) y estudios realizados por diferentes entes privados afines a la temática de estudio (combustibles, tipo de calefacción, demanda de calefacción, calefacción distrital, energías renovables, etc)

Una vez que se cuente con la información relevante sobre perfil de consumo de calefacción en la zona, así como también de las condiciones constructivas y térmicas características de las viviendas de la comuna y sector seleccionado, será posible determinar demandas térmicas estimables a zonas urbanas de mayor dimensión.

La forma de obtener el perfil de demanda es mediante análisis clásico de transferencia de calor y masa. Lo anterior establece a nivel de hogares el cálculo de pérdidas de calor en sus diversos mecanismos (conducción, convección y ventilación principalmente) y ganancias térmicas (equipos consumidores de energía, ocupantes promedio del inmueble, radiación solar, etc.). Estos resultados resultan igualmente extrapolables a sectores de viviendas que cuenten con características similares.

El análisis de contaminantes se desarrollará a través de la guía metodológica elaborada por la CONAMA; finalmente, se desarrollará la evaluación económica del proyecto, a través de la construcción de flujo de caja.

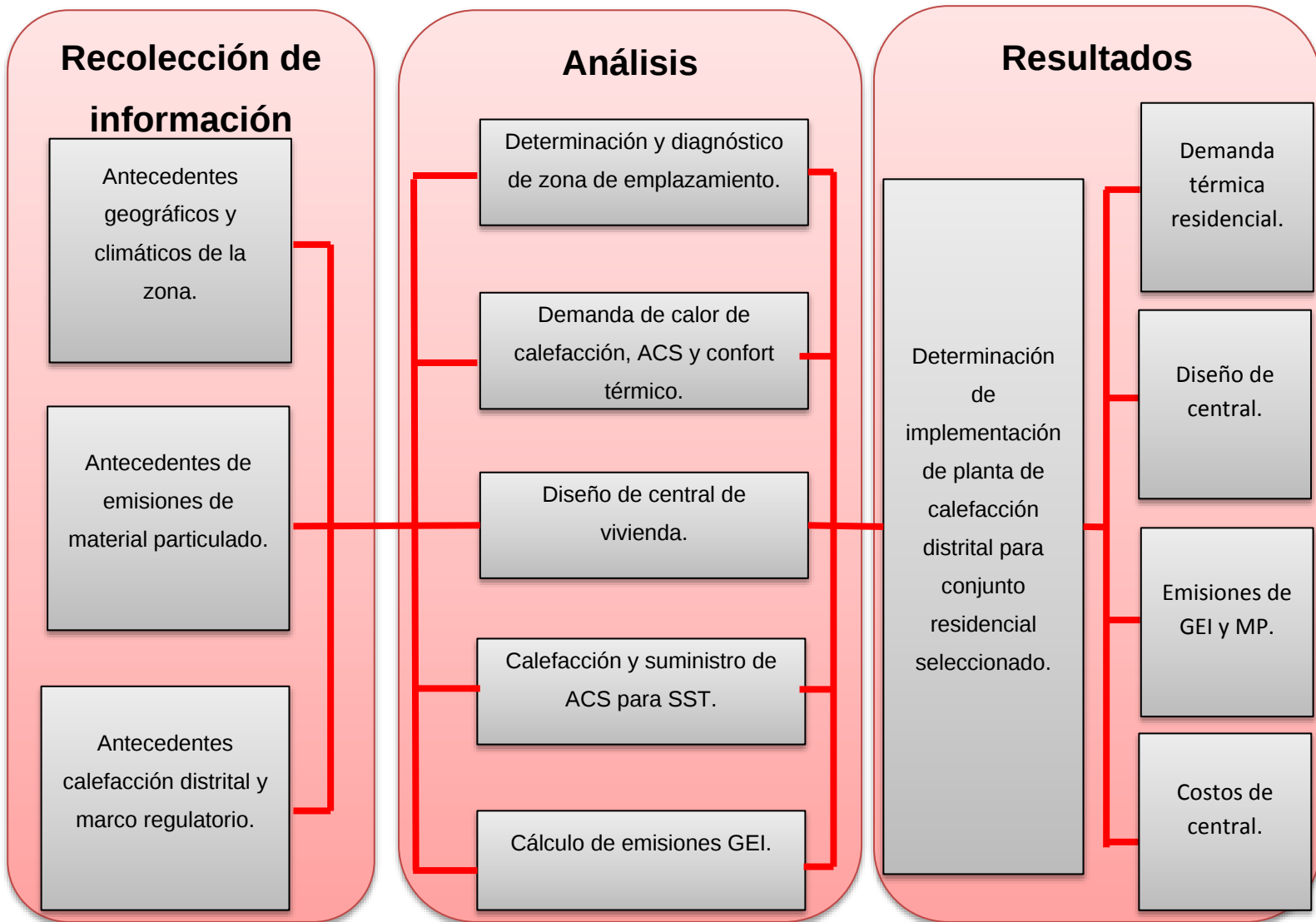


Figura 9. Esquema resumen de trabajo.

Fuente: Elaboración propia.

3.1 Análisis e identificación de escenario

La implementación de un sistema de calefacción distrital envuelve una serie de factores, debido a su impacto multidimensional en la sociedad.

El siguiente diagrama Ishikawa, sacado del estudio realizado por POCH Ambiental S.A, 2010, entrega una estructura de análisis cualitativo del proyecto.

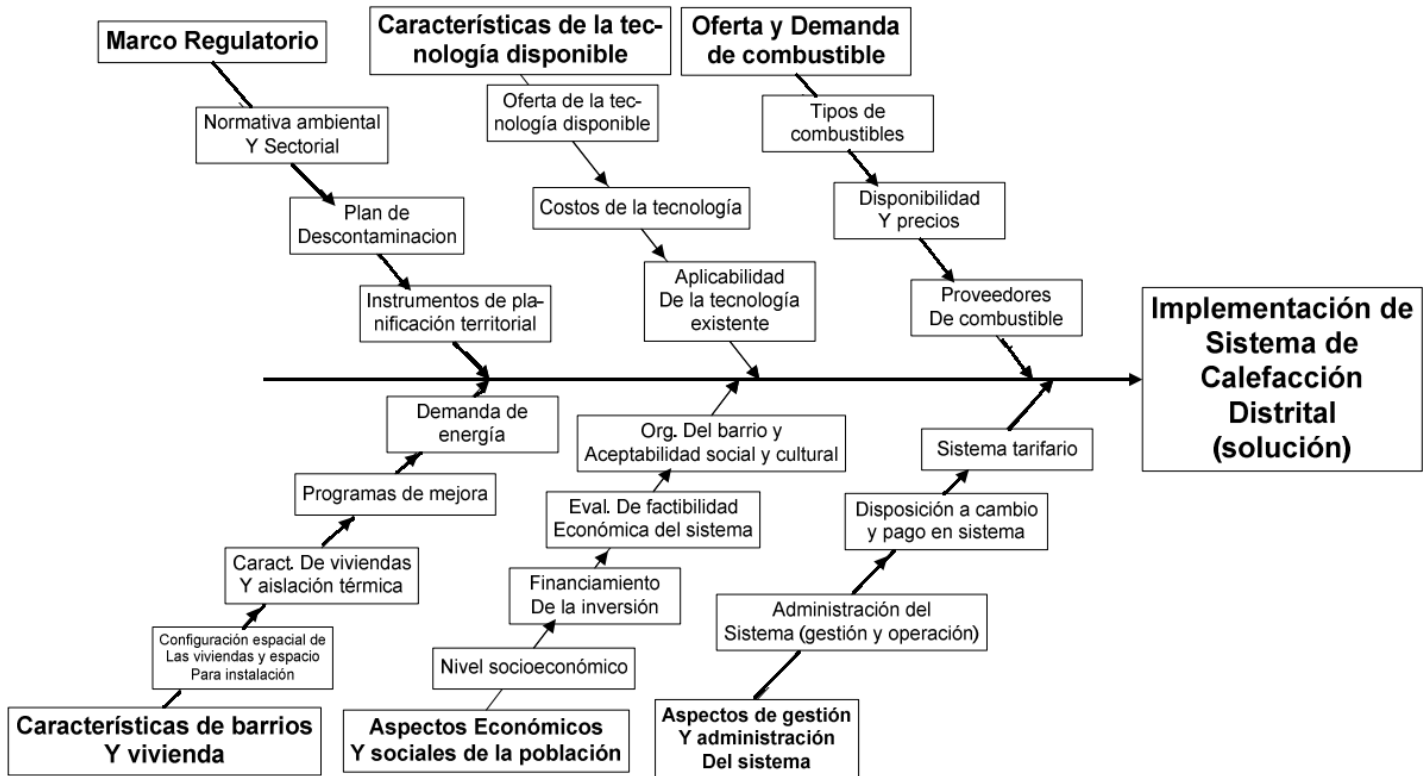


Figura 10. Diagrama Ishikawa de factores influyentes en el proyecto.

Fuente: POCH, 2010

El diagrama de la figura 10 muestra las espigas (o ramas) que tienen determinación en la implementación del sistema.

El análisis de estas espigas ayuda a responder a grandes rasgos aspectos del marco regulatorio de la implementación como el lugar a implementar, con que tecnologías se puede trabajar, a qué tipo de segmentos económicos impactar, en base a qué combustible basar el sistema, entre muchos otros aspectos de la gestión ambiental, económica y social del proyecto.

Debido a lo anterior, es que para comenzar con la evaluación técnico- ambiental y económico, es necesario analizar la oferta y demanda de combustible de la zona y las características de las tecnologías disponibles.

3.2 Oferta y demanda de combustible

Si bien el análisis se ha centrado en la leña, dada su importancia y uso en la comuna; sin un análisis previo, no es posible descartar ningún tipo de combustible para un proyecto de calefacción distrital.

Por ello, se detalla en la tabla 4 el análisis de los distintos tipos de combustibles y fuentes de energía realizado por Seminario (2012) y complementando en este estudio para la realidad de la comuna de Chillán.

Tabla 4. Análisis cualitativo de combustibles o fuentes de energía.

Combustible o Fuente de energía	Argumentos a favor	Argumentos en contra
Gas Natural	Combustible Fósil de baja emisión de GEI No genera residuos	No renovable Alto costo en la comuna
	Combustible gaseoso, mejor rendimiento de combustión Disponible en la comuna	Dependiente del exterior Reservas decrecientes
	Red de distribución en la comuna	
Petróleo	Disponible en la comuna No genera residuos Distribución desarrollada	Combustible fósil emisor de GEI Precio creciente Reservas decrecientes
	Disponible en la comuna	No renovable
	Bajo costo económico	Genera residuos de combustión

Carbón	Distribución desarrollada	Emisor de GEI Requiere de alta tecnología para en ciudades Requiere almacenamiento Alto impacto visual
Leña y Astillas	Recurso renovable Emisor neutro de GEI Abundante en la comuna Bajo costo económico Requiere poco procesamiento Flexibilidad en instalación de equipos Inversión inicial mediana Contribuye en la economía local Impulsión de independencia energética nacional Precio estable	Requiere almacenamiento Requiere de cuidados de almacenamiento (humedad) Menor rendimiento que combustibles fósiles Aumenta presión forestal en la zona Genera residuos de combustión
Pellets	Fuente renovable Emisión neutra de GEI Flexibilidad en instalación de equipos Evita presión forestal en la zona	Reducida producción nacional Canales de distribución poco desarrollados Baja disponibilidad en la comuna Mayores costos dada su elaboración
	Alto rendimiento de combustión	Genera residuos de combustión

Residuos Agroindustriales	Fuente renovable Emisión neutra de GEI Alta disponibilidad en la comuna Bajo costo económico	Baja heterogeneidad de biomasa
Geotermia	Fuente de energía renovable Bajo costo de operación Bajas emisiones de GEI Tecnología desarrollada en el extranjero	Alto costo de transporte Inversión inicial alta Incerteza en disponibilidad en la comuna Desarrollo en mediano a largo plazo Posible impacto en ecosistema por sondaje
Solar	Fuente de energía renovable Bajo costo de operación Bajas emisiones de GEI Tecnología desarrollada en el extranjero	Inversión inicial alta Desarrollo en mediano a largo plazo Alto impacto visual

Fuente: Elaboración propia en base a Seminario 2012.

A continuación se detallan costos de calefacción domiciliaria para distintas tecnologías y combustibles. Si bien lo anterior no corresponde a la escala de una planta de calefacción distrital, sino más bien domiciliaria, permite generar una estimación de los costos asociados a calefacción que tienen los usuarios mensualmente al momento de realizar el análisis y las emisiones de material particulado, según el tipo de calefactor utilizado.

De la tabla 5 se observa que el combustible más eficiente en relación costo mensual, pero a su vez, es el más contaminante, debido al tipo de calefactor en el cual se ha testeado.

Tabla 5. Costo mensual de calefacción y emisiones de material particulado según combustible (*)

Método de calefacción	Consumo mensual en pesos	Emisión de material particulado kg/vivienda/año
Electricidad	\$ 91.000	0
Leña	\$ 49.000	6.5
Parafina	\$ 50.000	0.1
Pellet	\$ 51.000	0.3
Gas natural	\$ 59.000	0
Gas licuado	\$ 59.000	0

(*) Considerando una casa de 60 a 80 m², de 2 a 3 dormitorios, calefaccionada durante 8 horas al día a una temperatura de confort de 18°C y una demanda térmica mensual de 871 kWh.
Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio del Medio Ambiente 2015.

Además de lo anterior, es sumamente relevante para el análisis cualitativo de las distintas fuentes de energía abordar la Estrategia nacional de Energía 2012-2030 y la Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción.

Ambos documentos establecen el criterio de desarrollo de la matriz energética del país. En materia de energéticos, la Figura 11 resume los criterios para el desarrollo de la matriz y la Figura 12 explica los lineamientos de la política de uso de la leña y sus derivados para calefacción.



Figura 11. Lineamientos para el desarrollo de la matriz energética.

Fuente: Elaboración propia en base a “Estrategia Nacional de Energía 2012-2030 y Seminario 2012.



Figura 12. Política de Uso de la Leña y sus derivados para calefacción

Fuente: Elaboración propia en base a Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción. Ministerio de Energía, 2015.

De la Figura 11 se observa que las acciones a seguir por los organismos públicos en el desarrollo y crecimiento de la matriz energética nacional están orientados al impulso de las energías limpias, esperando disminuir tanto la huella de carbono como las emisiones de GEI, además, se busca el uso de fuentes renovables convencionales y no convencionales de energía presentes en el país, para disminuir la dependencia nacional y que sean económicamente eficientes, permitiendo el desarrollo de la economía local y minimizar precios.

Por otro lado, de la Figura 12 nos muestra un escenario similar para la leña y sus derivados, enfocando los esfuerzos del gobierno por normar los estándares en las nuevas construcciones enfocándonos en tecnologías térmicamente eficientes (aislación), regular el mercado de la leña como combustible, diversificar el uso de dendroenergéticos y avanzar hacia el uso de nuevas tecnologías que mejoren los niveles de eficiencia, generar instancias de coordinación permanente interinstitucional y lograr la educación de la población en temáticas de energías y combustibles.

Para alinear la decisión de implementación de calefacción distrital en Chillán con las políticas públicas del gobierno, la siguiente tabla ordena el análisis para la selección de la fuente de energía del presente estudio.

Tabla 6. Análisis cualitativo energético

Combustible o Fuente energética	Energía Limpia	Energía Renovable	Presente en el País	Presente en la Comuna o Región	Económicamente Eficiente
Gas Natural	Sí	No	No	Si	No
Petróleo	No	No	No	Si	No
Carbón	No	No	Si	Si	No
Biomasa	Sí, No (*)	Sí	Si	Si	Si
Residuos Agroindustriales	Sí	Sí	Si	Si	Si
Geotermia	Sí	Sí	Si	Si	No
Solar	Sí	Sí	Si	Si	No

(*) Dependiendo las tecnologías utilizadas, según política de uso de la leña y sus derivados para calefacción

Fuente: Elaboración propia en base a lineamientos de estrategia nacional de energía 2012-2030 y política de uso de la leña y sus derivados para calefacción.

A partir de la Tabla 6 se descarta el uso del Petróleo, Gas Natural, Carbón. El combustible de mejores características corresponde a la biomasa, por lo que se desarrollará el proyecto considerando el uso de este combustible como base.

3.3 Características de las tecnologías disponibles

Como se menciona en apartados anteriores, la calefacción distrital es una tecnología que lleva décadas de desarrollo en diferentes partes del mundo, por lo que la disponibilidad de materiales e información son de fácil acceso.

Dado que es importante resolver la disyuntiva del tipo de fluido transportador de calor a utilizar previo al análisis detallado de la implementación, se detalla la selección a continuación.

El fluido transportador de calor puede ser tanto aire caliente, agua caliente o vapor saturado. Es de gran relevancia determinar preliminarmente el tipo de fluido, ya que este determina todo el diseño del sistema de calefacción distrital.

Dada la revisión bibliográfica realizada previamente, se compararon experiencias actuales de la implementación de calefacción distrital en distintas ciudades a lo largo del mundo, en donde se da por excelencia la utilización del agua como fluido transportador de calor debido a los bajos costos de instalación y operación del sistema de tuberías, mayor inercia del sistema frente a cortes, fácil conexión e instalación para incorporación de nuevos usuarios al sistema y bajas pérdidas térmicas (Jensen, 2013; Webb, 2014; Aste et. al, 2014; Lund et. al, 2009; Gabillet, 2014; Wissner, 2014 & Huerta et. al, 2010).

3.4 Determinación de emplazamiento del estudio

El diseño de una implementación de calefacción distrital es un proceso complejo (Seminario, 2012). Esto ya que se deben contemplar una serie de aspectos como el marco regulatorio local para la implementación de proyectos de calefacción,

proyecciones de crecimiento de las viviendas en la zona seleccionada, distribución de las viviendas, características constructivas del sector, entre otras.

Se propone, por lo tanto, el desarrollo del estudio para una implementación que no necesariamente resulta ser óptima, pero que sea de interés social, económico y ambiental.

A todo lo anteriormente mencionado se le agregaron los siguientes aspectos al momento de decidir los lugares de la implementación:

- Potencial de crecimiento habitacional del sector.
- Sector emplazado en un área de crecimiento urbano o cercano al límite de la urbanización.
- Concordancia con las zonificaciones del vigente plan regulador para emplazamiento de calderas o zonificación industrial.
- Proyecto inmobiliario que cumpla con las características térmicas establecidas para la zona (posterior a 2007).
- Viviendas con buenas condiciones de aislación

Dados los requerimientos anteriores, se estableció como área del alcance la que se observa en la Figura 13. En la misma figura se observa el barrio a abordar en el estudio.



Figura 13. Imagen del sector de emplazamiento del sistema de calefacción distrital.

Fuente: Elaboración propia, imagen de software Google Earth Pro.

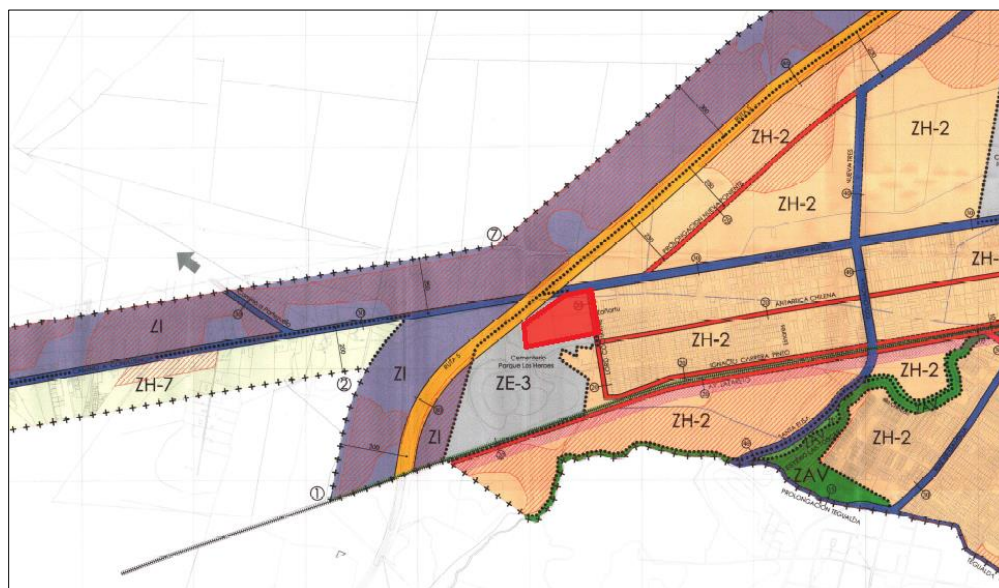


Figura 14. Ubicación del proyecto en base a Plan Regulador Comunal.
Fuente: Constructora García, proyecto inmobiliario Creación 359.

Como se aprecia en la Figura 14, la zona seleccionada está emplazada en la ZH 2 según el Plan Regulador Comunal, Caracterizado para zona habitacional. A su vez, se encuentra junto a la ZE-3, zona de equipamiento y ZI, zona industrial. El proyecto inmobiliario cuenta con 342 viviendas unifamiliares de dos plantas y 17 viviendas unifamiliares aisladas de una planta para discapacitados; para efectos de este trabajo, se considerarán las 359 viviendas de una planta, misma materialidad y metros cuadrados (que de dos plantas) y pareadas.

El sector seleccionado cuenta con gran potencial para futuras urbanizaciones hacia el norte, de manera de posibilitar la creación de nuevos barrios con calefacción distrital implementada desde la construcción, considerando menores costos de inversión producto de la intervención.

En materia de calidad de envoltente de las construcciones, se espera que estén por sobre o ligeramente bajo la norma, puesto que es un proyecto inmobiliario nuevo, enfocado a un sector económico medio.

En la Figura 15 se muestra el emplazamiento hipotético de la central de calefacción distrital y las redes de distribución de calor hacia las viviendas del sector seleccionado.

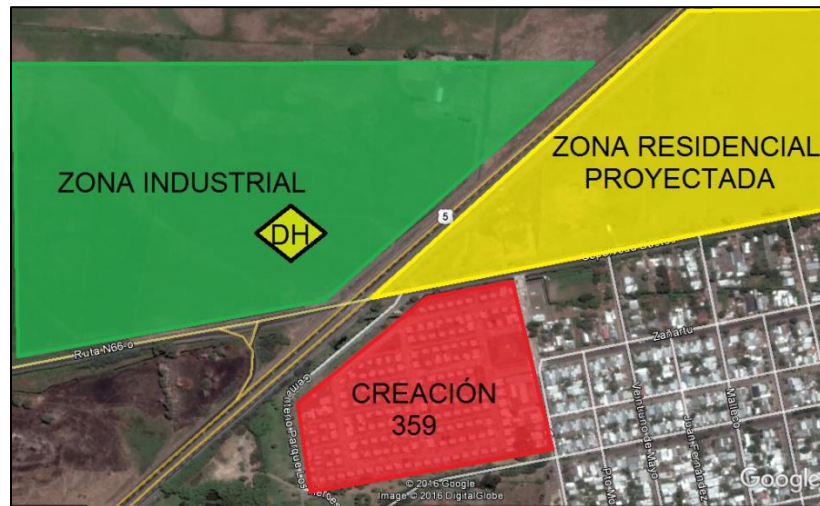


Figura 15. Red propuesta y emplazamiento de central de generación de calor.
Fuente: Elaboración propia, imagen software Google Earth Pro.

Como se ve en la figura 15, para poder realizar la implementación de la red de calefacción distrital se debe seguir las calles y caminos ya existentes, ya que de esta manera se evitan obstáculos y que zonas no urbanizadas pierdan potencial de desarrollo por interferencias en la red.

La Tabla 7 muestra el impacto del estudio a nivel residencial por concepto de hogares y habitantes atendidos.

Tabla 7. Cantidad de hogares, población y metros cuadrados cubiertos en el estudio.

Proyecto	Etapas	Nº de viviendas	Nº de habitantes	M2 Superficie
Creación 359	I	150	600	13.387,17
	II	149	596	13.658,03
	III	60	240	5.072,21
Total		359	1436	32.117,41

Fuente: Elaboración propia.

Así como se define la implementación, afectaría a 359 viviendas de la zona sur poniente de la comuna de Chillán.

La ordenanza Plan Regulador Comunal de Chillán (Ilustre Municipalidad de Chillán, 2016), en su descripción de las distintas categorías de zonificación establece que queda totalmente prohibido cualquier tipo de actividad productiva industrial o de generación de energías en ZH(1-7). Por otro lado estipula explícitamente que la ZI se puede emplazar cualquier tipo de actividad industrial o de generación de energía, es por ello, dado que la única clasificación de área que permite implementaciones del tipo industrial es la ZI, el emplazamiento de la central de generación de calor se subordina a dicha zonificación. La zona ZI se encuentra contigua a la ZH-2, sector en la cual está emplazado el proyecto creación 359.

3.5 Demanda de calor residencial para la zona seleccionada

Primeramente, es necesario detallar qué se entiende por confort térmico. El confort térmico corresponde a la configuración ambiental en donde un individuo se encuentra en un estado mental de satisfacción por las condiciones de su entorno (ASHRAE, 2008).

En la medida en que se provee de calefacción y ACS adecuadamente, será posible que las personas que habitan las viviendas alcancen el confort térmico deseado.

La demanda de calefacción y ACS, y por tanto la demanda del confort de un recinto, tiene relación con los siguientes factores (Seminario, 2012):

Climáticos o externos:

- Temperatura externa de la vivienda y la temperatura de confort establecida.
- Humedad relativa del ambiente y humedad de confort establecida.
- Velocidad del viento.

- Incidencia de radiación solar sobre la construcción (latitud, nubosidades, contaminación).
- Temperatura del suelo.

De la construcción y operación de la vivienda:

- Volumen del recinto a calefaccionar.
- Calidad de la envolvente de la construcción.
- Agrupación de las construcciones (casa aislada, casa pareada, departamento, etc.)
- Nivel de presencia de infiltraciones de aire externo.
- Orientación de la construcción.
- Número de ocupantes y cantidad de equipos eléctricos, electrónicos y térmicos en operación.

Lo anterior se ilustra en la siguiente figura:

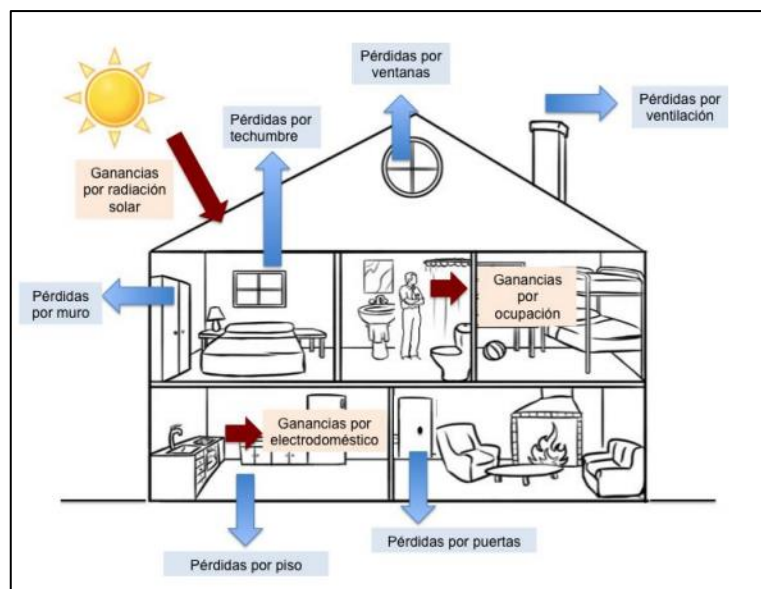


Figura 16. Ganancias y pérdidas de calor en vivienda.
Fuente: Creara, 2013.

Para estimar el comportamiento climático de la zona seleccionada, se detallan a continuación las consideraciones y como estas influyen en el confort establecido.

3.5.1 Temperatura

La temperatura externa determina el nivel de pérdidas de calor en la vivienda por conducción e infiltración.

La estimación de las temperaturas en Chillán se realizó a través de los datos entregados por la Dirección Meteorológica de Chile, en su inventario 2012. En la figura 17, se muestran la simulación de temperaturas mensuales máximas y mínimas absolutas para la comuna de Chillán, en donde la máxima absoluta mensual más alta de 37°C, correspondiente al mes de enero y la mínima absoluta mensual más baja corresponde al mes de julio, con -5 °C.

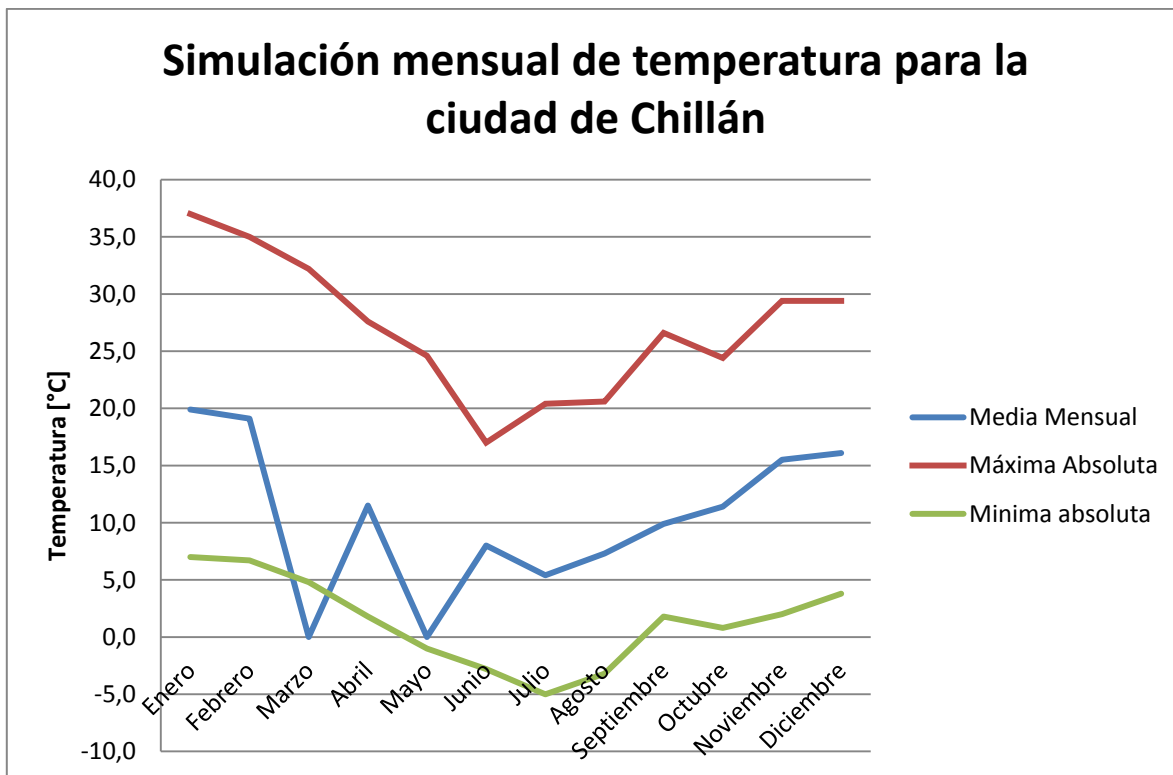


Figura 17. Gráfico de simulación mensual de temperatura máxima y mínima absoluta para la ciudad de Chillán.

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del anuario 2012 de la dirección meteorológica de Chile.

También es necesario contar con el comportamiento térmico del suelo a fin de establecer las pérdidas por los pisos de la construcción. A partir de la información histórica recopilada por la NASA y provista por el software RETScreen, se tienen las temperaturas de suelo promedio mensuales en Chillán (Tabla 8).

Tabla 8. Temperatura del suelo promedio mensual para la comuna de Chillán.

Mes	Temperatura del Suelo [°C]	Temperatura de Agua de Red [°C]
Enero	22,1	14,2
Febrero	22,4	13,6
Marzo	20,2	13,6
Abril	15,4	12,1
Mayo	11,7	11,5
Junio	9,2	10,7
Julio	8	10,4
Agosto	8,8	11
Septiembre	10,6	11,1
Octubre	14	12,1
Noviembre	17,1	13,1
Diciembre	20,1	13,6
Promedio anual	14,9	12,3

Fuente: Elaboración propia, en base a datos otorgados por el satélite de la NASA a través del software RETScreen.

A pesar de la variabilidad en la temperatura que podemos ver en la tabla 8, se usará para el cálculo del gradiente térmico del suelo el valor correspondiente al promedio anual e incorporar así la inercia térmica del suelo a los cálculos.

Otro factor térmico que influye en la demanda térmica de calor en una vivienda es la temperatura de red del agua sanitaria. A menor temperatura de provisión, mayor energía será necesaria para elevar su temperatura a las condiciones adecuadas.

Como se observa en la tabla 8, la temperatura de agua de red es más baja en el mes de julio, como también para la temperatura del suelo, este dato es de utilidad para los cálculos sobre los requerimientos de ACS.

3.5.2 Humedad relativa

La humedad relativa influye en la carga térmica de una vivienda. Lo anterior puesto que el aire infiltrado contiene agua. Dado que el calor específico del vapor de agua es superior al del aire seco, se requiere una mayor cantidad de energía para calentarlo en comparación al aire.

Por ello, se obtuvieron los datos del promedio mensual del porcentaje de humedad relativa para la ciudad de Chillán, los cuales se detallan en la Tabla 9.

Tabla 9. Porcentaje de humedad relativa, promedio mensual para la comuna de Chillán.

Meses	Humedad relativa (%)
Enero	45,5%
Febrero	43,8%
Marzo	46,8%
Abril	55,8%
Mayo	64,7%
Junio	74,4%
Julio	73,7%
Agosto	71,1%
Septiembre	66,9%
Octubre	59,6%
Noviembre	53,4%
Diciembre	49,7%
Promedio Anual	58,9%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos entregados por el satélite de la NASA a través del software RETScreen.

3.5.3 Viento

La velocidad del viento determina la cantidad de pérdidas por convección en la envolvente de la vivienda y en dónde ocurren principalmente dichas pérdidas. Para la velocidad del viento se usará el valor promedio mensual. Dicho valor se obtiene del estudio realizado por el Dr. Gomá en la Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Creación 359 en junio de 2016. Esta velocidad tiene una dirección predominante Sur-Oeste, con un promedio anual de 14,8 km/h, como se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Velocidad del viento para la comuna de Chillán.

Meses	Viento [km/h]
Enero	15,3
Febrero	15,0
Marzo	13,9
Abril	14,1
Mayo	15,4
Junio	15,0
Julio	15,3
Agosto	14,7
Septiembre	14,7
Octubre	14,7
Noviembre	14,4
Diciembre	14,5
Promedio Anual	14,8

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del satélite de la NASA a través del software RETScreen.

3.5.4 Radiación solar

La radiación solar a la que se expone una construcción representa una fuente de ganancias térmicas.

Para los efectos de este trabajo, se consideran sólo las ganancias térmicas de las ventanas ubicadas en frontis de las viviendas, orientado hacia el norte, ya que es la orientación de mayor exposición al sol en el hemisferio sur.

Se consideran sólo las ventanas puesto que tienen baja reflexividad y una absorptividad adecuada, mientras que los muros, si bien cuentan con absorptividades altas, presentan altas pérdidas por radiación y convección.

Para esta estimación se utilizarán los valores obtenidos desde el software RETScreen. Los valores entregados se observan en la tabla 11.

Tabla 11. Radiación solar diaria horizontal para la comuna de Chillán.

Meses	Radiación solar diaria - horizontal [kWh/m²/d]
Enero	8,37
Febrero	7,18
Marzo	5,61
Abril	3,84
Mayo	2,45
Junio	1,98
Julio	2,29
Agosto	3,12
Septiembre	4,64
Octubre	6,06
Noviembre	7,62
Diciembre	8,41
Promedio Anual	5,12

Fuente: Elaboración propia, en base a datos del satélite de la NASA a través del software RETScreen.

Con las radiaciones incidentes, más la ecuación 3.5.4.1 es posible estimar las ganancias térmicas diarias por unidad de área de vidrio de la vivienda.

$$Q_{solar} \left[\frac{kWh}{m^2} \right] = \gamma * Rad \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \quad \text{Ecuación 3.5.4.1}$$

En donde:

γ : Reflexividad del vidrio. Se asume 0,9 que es un valor típico para vidrios estándar.

Rad: Radiación incidente en el vidrio (Tabla 11).

3.5.5 Resumen de información climática y atmosférica

La tabla 12 da cuenta de los valores a utilizar en el cálculo de las cargas térmicas en vivida y demanda de calor por concepto de ACS.

Tabla 12. Resumen de condiciones ambientales mensuales para la comuna de Chillán.

Meses	T° Agua de Red [°C]	Viento [km/h]	Presión Atmosférica [bar]	Radiación solar diaria - horizontal [kWh/m²/d]	T° Máxima Absoluta [°C]	T° Mínima Absoluta [°C]
Enero	22,1	15,3	0,15336	8,37	37,0	7,0
Febrero	22,4	15,0	0,15012	7,18	35,0	6,7
Marzo	20,2	13,9	0,13896	5,61	32,2	4,8
Abril	15,4	14,1	0,14148	3,84	27,6	1,8
Mayo	11,7	15,4	0,15408	2,45	24,6	-1,0
Junio	9,2	15,0	0,15012	1,98	17,0	-2,8
Julio	8,0	15,3	0,15336	2,29	20,4	-5,0
Agosto	8,8	14,7	0,14688	3,12	20,6	-3,2
Septiembre	10,6	14,7	0,14688	4,64	26,6	1,8
Octubre	14,0	14,7	0,14688	6,06	24,4	0,8
Noviembre	17,1	14,4	0,144	7,62	29,4	2,0
Diciembre	20,1	14,5	0,14544	8,41	29,4	3,8

Fuente: Elaboración propia.

Además de lo anterior, se hace el cálculo de los grados día de calefacción, los cuales se entienden como la diferencia entre la temperatura fijada como “base” y la media diaria de las temperaturas bajo la temperatura “base”, igualando a la “base” a aquellas superiores a ésta (Manual de aplicación de reglamentación térmica). Determinando el rango adecuado en base a la zonificación delimitada para el país en la parte III del manual de aplicación de reglamentación térmica, como se observa en la tabla 13, de las cuales Chillán se encuentra en la número 4, con un rango de 1000 a 1250 grados/día de calefacción.

Tabla 13. Grados días de calefacción en base a las zonas térmicas chilenas.

Zona	Rango de Grados/día
1	≤ 500
2	500 - 750
3	750 - 1000
4	1000 - 1250
5	1250 - 1500
6	1500 - 2000
7	> 2000

Fuente: Manual de aplicación de reglamentación térmica.

El cálculo se realizó a través de la siguiente ecuación

$$\text{Grados día} = \sum_{i=1}^{365} (T_{base} - (\frac{T_{max,i} + T_{min,i}}{2})) * X \quad \text{Ecuación 3.5.5.1}$$

En donde:

T_{base} : Temperatura base de calefacción. No debe confundirse con la T° de confort.

T_{max} : Temperatura máxima registrada.

T_{min} : Temperatura mínima registrada.

X : Operador lógico, el cual es 0 cuando el promedio entre T_{max} y T_{min} es igual o superior a la T_{base} , y 1 en caso contrario.

A raíz de lo anterior, se obtuvo la tabla 14, de la cual se utilizarán los resultados obtenidos con una T_{base} de 16 °C para los efectos de cálculos en este estudio.

Tabla 14. Grados día en la ciudad de Chillán.

Mes	Grados día en base a	Grados día en base a	Grados día en base a	Grados día en base a
	15	16	17	18
Enero	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0
Abril	9	39	69	99
Mayo	99	130	161	192,2
Junio	237	267	297	327
Julio	226	257	288	319,3
Agosto	195	226	257	288,3
Septiembre	24	54	84	114
Octubre	74	105	136	167,4
Noviembre	0	9	39	69
Diciembre	0	0	12	43,4
Total	880,2	1104,2	1361,6	1637,6

Fuente: Elaboración propia en base a datos del satélite de la NASA a través del uso del software RETScreen.

3.5.6 Dimensiones de hogares a calefaccionar

El tamaño de la vivienda determina el área de su envolvente por donde se transfiere calor, a su vez que la altura y el área determinan el volumen de aire desplazado por las infiltraciones.

Uno de los principales mecanismos de pérdida de calor de una vivienda es la transferencia de calor hacia el exterior mediante medios materiales (paredes y aire de convección). La ecuación 3.5.6.1 da cuenta del fenómeno.

$$\dot{Q}[W] = U * A * (T_{int} - T_{ext}) \quad \text{Ecuación 3.5.6.1}$$

En donde

U: Coeficiente de transferencia global, en [W/m²K]

A: Área de transferencia de calor, en [m²]

T: Temperatura interna y externa respectivamente, en [°K] (28°K al ser una diferencia)

Se debe notar que el parámetro U comprende el fenómeno de transferencia de calor en las modalidades de convección (al interior y exterior del recinto) y conducción térmica. La ecuación 3.5.6.2 da cuenta del parámetro U.

$$U \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right] = \frac{1}{R_{se} + \sum j \frac{e_j}{k_j} + R_{si}} \quad \text{Ecuación 3.5.6.2}$$

En donde:

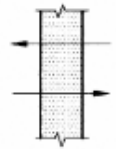
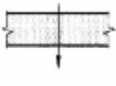
$R_{(se;si)}$: Resistencia térmica de superficie interna y externa, en [m²K/W]

e_j : Espesor de material, en [m]

k_j : Conductividad del material, en [W/mK]

La resistencia térmica de las superficies internas y externas está dada por la siguiente tabla, en base a la NCh 853.

Tabla 15. Resistencias térmicas de superficie [m²K/W]

Posición del elemento y sentido del flujo de calor		Situación del elemento					
		De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
		R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$	R_{si}	R_{se}	$R_{si} + R_{se}$
Flujo horizontal en elementos verticales o con pendiente mayor que 60° respecto a la horizontal		0,12	0,05	0,17	0,12	0,12	0,24
Flujo ascendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,09	0,05	0,14	0,10	0,10	0,20
Flujo descendente en elementos horizontales o con pendiente menor o igual que 60° respecto a la horizontal		0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Fuente: NCh 853 Acondicionamiento Térmico.

Para la convección en muros se utiliza el valor correspondiente a la orientación “Vertical hacia arriba” mientras que para los techos se utiliza “45° hacia arriba”. El factor “Horizontal” es utilizado en suelos.

La materialidad y calidad de una vivienda está determinada por la categoría en que se encasille, luego, determinan el coeficiente de transferencia global (U). Las viviendas del proyecto Creación 359, son viviendas sociales tipo, construidas con albañilería de hormigón, Aislación en techumbre y vidriado simple.

Además, se midieron las dimensiones estimadas de las viviendas en base al uso del software google earth pro, y tomando como altura promedio 2,50 [m] para un nivel.

Tabla 16. Dimensiones estimadas de vivienda

Vivienda	Largo [m]	Ancho [m]	Alto [m]
1 planta pareada	9	5	2,5

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la tabla 16, es posible determinar el área de muros y piso, para el caso del techo, se asume que el ángulo de inclinación es de 45°.

De acuerdo al estudio realizado por Bustamante en 2009, indica que en la comuna de Chillán se estima el porcentaje máximo de ventanas respecto a los parámetros verticales de la envolvente térmica, correspondiente a un 21%, por lo que se consideró para efectos del cálculo del área de intercambio térmico, como se observa en la tabla 17.

Tabla 17. Áreas de intercambio térmico.

Vivienda	Área suelo [m2]	Área Ventana [m2]	Área Muro [m2]	Área Techo [m2]	Volumen interno [m3]
1 planta	45	14,7	55,3	76,4	100

Fuente: Elaboración propia en base a Seminario, 2012.

En base a la política urbano habitacional del ministerio de vivienda y urbanismo (Minvu, 2010) se definieron los distintos materiales utilizados en las viviendas del proyecto “Creación 395”.

Tabla 18. Características constructivas de las viviendas.

Tipo de superficie	Material	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/mK]
Muro	Yeso Cartón	0,004	0,1
	Cinc Aluminio	0,002	40
	Ladrillo Chonchon	0,13	0,49
	Poliestireno	0,05	0,038
	Fibrocemento	0,008	0,24
Suelo	Baldosa Cerámica	0,01	0,81
	Cemento	0,1	1,047
Techo	Pino Radiata	0,03	0,25
	Cinc Aluminio	0,002	40
	Lana Mineral	0,1	0,046
Ventana	Vidrio Simple	0,003	0,02

Fuente: Elaboración propia en base a datos entregados por software CCTE_CL.

En base a la tabla 18 y las condiciones del viento para la zona, se determinaron los coeficientes de transferencia globales [U], como se observa en la tabla 19.

Es de suma importancia mencionar que el coeficiente U es calculado según lo establecido en la Nch 835.

Tabla 19. Coeficientes de transferencia globales.

Sección	U [W/m2K]	Área [m2]
Piso	3,05	45
Muros	0,48	55,3
Techumbre	0,41	76,4
Ventanas	3,13	14,7

Fuente: Elaboración propia.

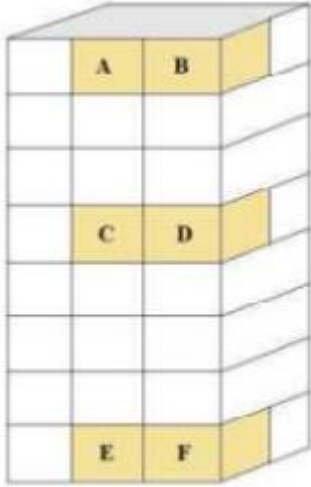
Como se menciona en apartados anteriores, la reglamentación térmica vigente en Chile es del año 2007 por lo que las viviendas construidas previo a este año, no necesariamente cumplían con los estándares actualmente establecidos, por ello el

proyecto tipo seleccionado es de construcción posterior a 2007 (específicamente año 2015).

Un aspecto que se considera relevante es la disposición de las viviendas, lo cual consiste en la interacción que tiene una construcción en relación a las construcciones vecinas. La relación puede ser de aislamiento (casa aislada, sin contacto con vecinos), relación de contacto (casas pareadas o de contacto en una cara, o en fila o de contacto en dos caras de la envolvente) o de departamentos, lo que se puede observar en la tabla 20 (Seminario, 2012).

Tabla 20. Tipo de Agrupaciones de vivienda.

	Tipo de vivienda	Características
Aislada		No comparte ninguno de sus lados con otra vivienda. Las pérdidas de calor hacia el ambiente, se producen por las caras expuestas al exterior: 4 fachadas de muro, el suelo y el techo.
Pareada		Comparte un lado con otra vivienda (no hay pérdida de calor por el pareo). Las pérdidas de calor hacia el ambiente se producen por las caras expuestas al exterior: 3 fachadas de muro, el suelo y el techo.
En Fila		Comparte dos lados con otra vivienda (en ambos pareos no se pierde calor hacia el exterior). Las pérdidas de calor hacia el ambiente se producen por las caras expuestas al exterior: 2 fachadas de muro, el suelo y el techo.

Departamento		Tipo de departamento, de acuerdo al número de fachadas expuestas al exterior, donde se producen las pérdidas de calor hacia el ambiente: A: Posee 2 caras expuestas al exterior (techo y un muro). B: Posee 3 caras expuestas al exterior (techo y dos muros). C: Posee 1 cara expuesta al exterior (un muro). D: Posee 2 caras expuestas al exterior (dos muros). E: Posee 2 caras expuestas al exterior (piso y un muro). F: Posee 3 caras expuestas al exterior (piso y dos muros).
--------------	---	---

Fuente: Elaboración propia en base a Romero, 2009.

Para efectos de este estudio, solo se consideran viviendas pareadas de una planta, por lo que se descarta el uso de datos para viviendas en fila o departamentos. Por otro lado, Bustamante 2009 analiza las demandas térmicas para distintos tipos de casas y en distintas condiciones de agrupamiento. A partir de lo anterior se utilizan los datos obtenidos por ese trabajo para estimar el comportamiento de la demanda térmica dentro de una categoría de vivienda dado su agrupamiento, lo que se entiende según el porcentaje de demanda térmica según agrupación de vivienda: Aislada 100% (Aislada); 95,6% (Pareada) y 92,6% Continua.

3.6 Confort térmico

Como se mencionó anteriormente, el confort térmico es el estado mental en que se tiene percepción de agrado en relación a las condiciones ambientales en donde se habita. Esto tiene relación principal con la temperatura y humedad presentes en el ambiente.

Según el estudio realizado por Vera, 2002 nos muestra que la temperatura de confort bajo ciertas condiciones se da en el orden de los 20°C, es por ello que se

determina que la condición de confort térmico para las viviendas de Chillán es de 20°C de temperatura.

3.7 Demanda de calor para generación de ACS

En cuanto a la estimación de los requerimientos térmicos para el agua caliente sanitaria, se estima como requerimiento promedio lo estipulado en el reglamento de la Ley 20.365, el cual establece que el consumo de agua caliente sanitaria por individuo en viviendas unifamiliares es de 40 lt/día para ACS a 45°C de temperatura.

A partir del requerimiento anterior, se puede determinar la demanda térmica mediante la ecuación 3.7.1.

$$Q_{ACS} = \frac{(40 * N * C_{\rho agua} * (45 - T_{AguaRed}))}{\eta} \quad \text{Ecuación 3.7.1}$$

En donde:

Q_{ACS} = Calor requerido para la generación del ACS familiar en una vivienda

N = Cantidad de habitantes por vivienda. Se asume un valor de 4 [hab/vivienda] para el conjunto habitacional en estudio.

$C_{\rho agua}$ = Calor específico del agua, 1 [Kcal/kg]

$T_{AguaRed}$ = Temperatura a la que es provista el agua de red.

η = Eficiencia en base al poder calorífico de la generación de ACS, equivalente a un 80% (Se usa dato referencial de Corporación de Desarrollo Tecnológico & Cámara Chilena de la Construcción, 2010)

La temperatura de agua de red para este estudio, se determinó según la temperatura del suelo obtenida desde la base de datos de la NASA a través del software RETScreen, como se ve en la figura 18.

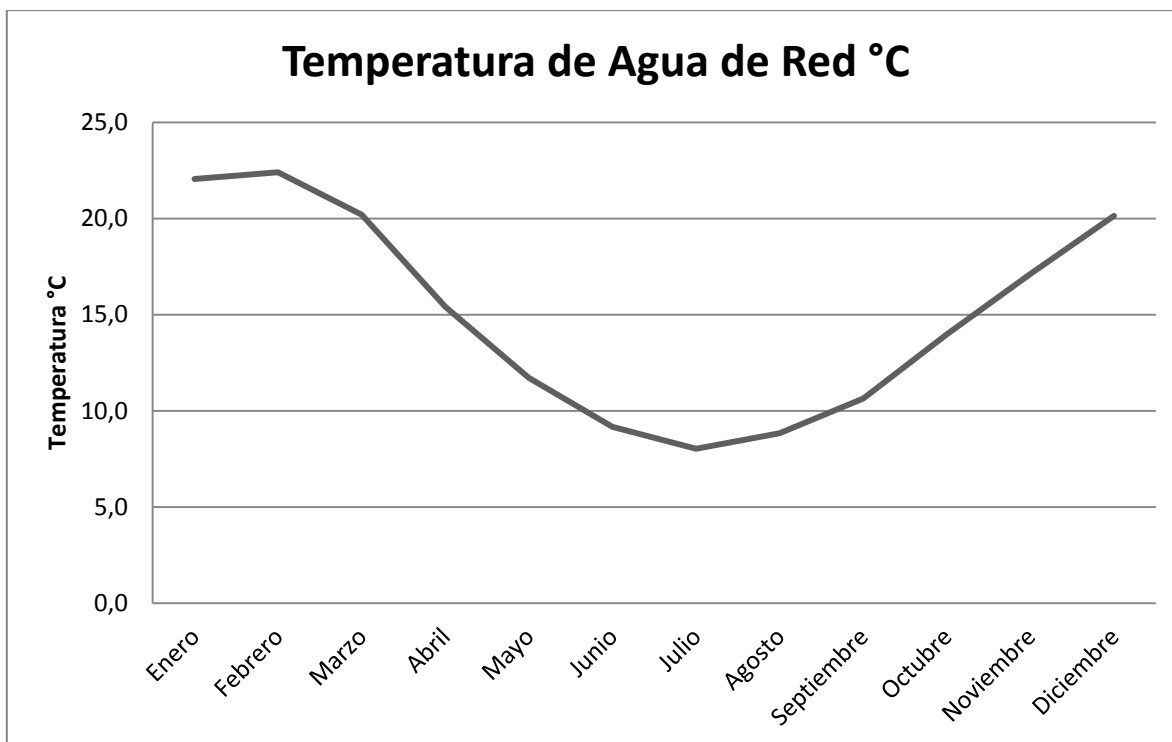


Figura 18. Gráfico de temperaturas del suelo en °C para la comuna de Chillán.

Fuente: Satélite de la NASA a través de software RETScreen.

La demanda térmica por concepto de ACS se puede observar en la Tabla 21.

Tabla 21. Demanda calórica diaria promedio por concepto de ACS.

	Temperatura de Agua de Red	Requerimiento de ACS
	°C	[kWh/vivienda]
Enero	22,1	5,3
Febrero	22,4	5,3
Marzo	20,2	5,8
Abril	15,4	6,9
Mayo	11,7	7,7
Junio	9,2	8,3
Julio	8,0	8,6
Agosto	8,8	8,4
Septiembre	10,6	8,0
Octubre	14,0	7,2
Noviembre	17,1	6,5
Diciembre	20,1	5,8

Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de dimensionamiento de la caldera, se tomará como referencia la temperatura más baja, para suplir la demanda completa de calefacción, suponiendo el promedio de temperatura más bajo del año.

Para determinar la potencia y demanda de calor del conjunto residencial, se determinó que la gente utiliza al día tres horas de suministro de ACS, ya sea para las duchas, lavar u otro tipo de actividades domésticas.

3.8 Diseño de central de vivienda

La central de vivienda está compuesta por los equipos y sistemas que conectan al consumidor al servicio de calefacción, ya sea por el sistema de difusión de calor, intercambiador, entre otros elementos.

La distribución de calor y agua caliente sanitaria al consumidor cuenta con un intercambiador de calor de placas, tuberías, acumulador de agua caliente,

válvulas, bomba de circulación, entre otros elementos, los cuales serán estimados para el caso de estudio, y determinados en el mercado según el análisis realizado por Seminario (2012).

Existen básicamente tres sistemas de calefacción de recintos, que se distinguen según cómo ceden el calor al ambiente:

- Radiación y convección combinadas
- Convección
- Conducción y convección.

La radiación y convección combinadas se obtiene mediante la operación de los equipos comúnmente denominados radiadores. El radiador, como el que se observa en la Figura 19, está formado por diversas secciones unidas entre sí y que permiten la circulación de líquidos calientes en su interior. La circulación de los líquidos calienta al equipo produciéndose el intercambio térmico con el aire del ambiente a calefaccionar. La incorporación de diversas secciones aumenta el área de intercambio térmico con lo que se logra convección en todo el ambiente: por debajo del equipo ingresa aire frío el cual es calentado en las placas del radiador, una vez caliente, sube hasta el techo de la habitación para luego circular y repetir el ciclo. Puesto que el aire ascendente forma una cortina de aire caliente, se recomienda la instalación de radiadores bajo ventanas.

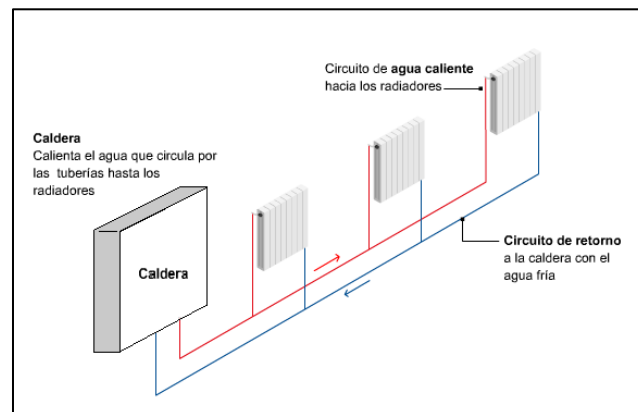


Figura 19. Sistema de radiador instalado en una vivienda.

Fuente: Elaboración propia en base a Cuarto Tecnología E.S.O.

En el caso de la entrega de calor por convección exclusiva los equipos involucrados son los denominados convectores. Los convectores son equipos similares a los radiadores pero que incorporan mecanismos que aumentan la velocidad del aire en circulación por el cuerpo caliente. Para lo anterior se cubre el radiador minimizando la transferencia por radiación. Lo anterior permite corrientes de aire caliente más significativas y orientadas a los sectores bajos de las habitaciones, obteniéndose una mejor distribución del aire caliente.

La losa radiante o también conocido como piso radiante, permite la transferencia de calor mediante circulación de agua caliente en pisos y techos, los que una vez calentados producen convección al interior del recinto. Lo anterior ahorra espacios, pero presenta el inconveniente de tener que ser instalada al momento de la construcción de la vivienda, dado su costo y dificultad de implementación. Las temperaturas de operación de estos sistemas deben ser bajas a fin de evitar molestias en los usuarios. Una instalación de piso radiante se puede apreciar en la Figura 20.

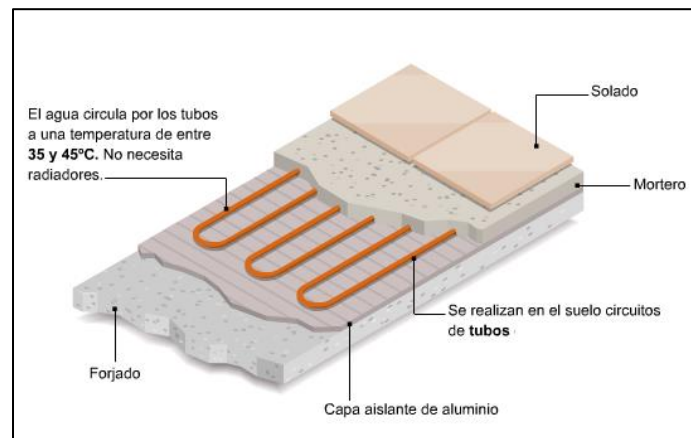


Figura 20. Esquema de instalación de piso radiante en una vivienda.

Fuente: Elaboración propia en base a Cuarto Tecnología E.S.O.

Por simplicidad, economía, disponibilidad, facilidad de instalación y adaptabilidad a posibles ampliaciones de los sistemas residenciales, se selecciona al radiador como medio de calefacción en los hogares.

3.9 Calefacción y suministro de ACS para placa solar

Para el dimensionamiento de las instalaciones de energía solar térmica, se utilizó el método establecido en la norma técnica que determina el algoritmo para la verificación de la contribución solar mínima de los Sistemas Solares Térmicos acogidos a la franquicia tributaria de la Ley 20.365, sobre instalaciones solares que utiliza como base el algoritmo F-Chart.

Mediante ello, se establecen una serie de protocolos de cumplimiento para las instalaciones solares térmicas, las cuales están normadas por la superintendencia de electricidad y combustibles (SEC).

Primeramente, se determinó la radiación solar global media diaria que incide sobre superficie inclinada, a través de la siguiente ecuación:

$$R_{Gd_inc_i} = \left[\frac{R_{Gm_i}}{N_{díasMes_i}} \times F_{d_i} \times \left(1 - \left(\frac{3,5}{100.000} \right) \times O_{SST}^2 \right) \times \left(1 - \frac{PS}{100} \right) \right] \times 3,6 \quad \text{Ecuación 3.9.1}$$

Donde,

$R_{Gd_inc_i}$: Radiación solar global media diaria sobre superficie inclinada del mes i [MJ/m²]

R_{Gm_i} : Radiación solar global sobre superficie horizontal media mensual para el mes i [kWh/m²].

$N_{díasMes_i}$: Número de días del mes i.

O_{SST} : Orientación del SST [°]

F_{d_i} : Factor modificador de la radiación incidente a una superficie inclinada para el mes i.

PS: Perdidas por Sombra [%].

La tabla 22 muestra la radiación solar global media diaria sobre superficie inclinada a 40° para cada mes, en donde claramente, se observa la radiación

incidente en superficie inclinada para el mejor mes (febrero) duplica la del peor mes (junio).

Tabla 22. Radiación solar global media diaria sobre superficie inclinada a 40°.

Meses	Mes	Temperatura de red [°C]	Factor modificador de la radiación incidente a una superficie inclinada para el mes i.	Radiación solar diaria - horizontal [kWh/m²/d]	Radiación solar diaria - inclinada 40° [MJ/m²]
Enero	31	14,20	0,90	8,37	0,87
Febrero	28	13,60	1,01	7,18	0,93
Marzo	31	13,60	1,20	5,61	0,78
Abril	30	12,10	1,44	3,84	0,66
Mayo	31	11,50	1,69	2,45	0,48
Junio	30	10,70	1,83	1,98	0,43
Julio	31	10,40	1,76	2,29	0,47
Agosto	31	11,00	1,52	3,12	0,55
Septiembre	30	11,10	1,26	4,64	0,70
Octubre	31	12,10	1,05	6,06	0,74
Noviembre	30	13,10	0,92	7,62	0,84
Diciembre	31	13,60	0,86	8,41	0,84
Promedio Anual	365	12,25	1,29	5,12	0,69

Fuente: Elaboración propia en base a norma técnica de ley 20.365.

La demanda térmica del SST, como se menciona en apartados anteriores, se determinó con la temperatura del ACS que llega al usuario de 45°C, por lo que la expresión resulta:

$$D_{ed_i} = 0,0041868 \times D_{SST} \times (45 - T_{red_i}) \quad \text{Ecuación 3.9.2}$$

Dónde:

D_{ed_i} : Demanda térmica diaria de energía para calentamiento de agua del mes i [MJ/día].

D_{SST} : Demanda diaria de agua caliente sanitaria [L/día].

T_{red_i} : Temperatura de agua de red media mensual, para el mes i , de la comuna [°C].

De la expresión anterior, la tabla 23 muestra los datos de la demanda térmica diaria y mensual de energía del SST.

Tabla 23. Demanda térmica diaria y mensual del SST.

Meses	Demanda térmica diaria [MJ/día]	Demanda térmica mensual [MJ/mes]
Enero	20,63	639,61
Febrero	21,03	588,97
Marzo	21,03	652,07
Abril	22,04	661,18
Mayo	22,44	695,68
Junio	22,98	689,31
Julio	23,18	718,52
Agosto	22,78	706,06
Septiembre	22,71	681,28
Octubre	22,04	683,22
Noviembre	21,37	641,08
Diciembre	21,03	652,07
Promedio Anual	21,94	667,42

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se determina la superficie (A) instalada de colectores del SST, que se expresa en m^2 ; para ello, se establecen dos casos, el primero se calcula para cada vivienda y el segundo caso, se estima para todo el conjunto residencial; estas áreas deben cumplir la siguiente expresión:

$$40 \leq \frac{V}{A} \leq 180$$

Donde,

V : Volumen del depósito [L]

A : Superficie instalada de CST [m^2]

Se seleccionaron áreas de panel similares, por ello, para el caso 1, se seleccionó un acumulador de 200 [l] y un colector solar térmico de la marca con un área de absorción de 1,607 m² (área total en sumatoria de las 359 viviendas equivalente a 577 m²), así mismo, para el caso 2, el volumen requerido para todo el conjunto residencial es de 57.440 [l], debido a que en el listado de proveedores de la SEC no existe ninguno acumulador con un volumen tan alto, se determina ocupar 4 acumuladores de 15.000 [l] y una superficie de 579 m² distribuida en 54 colectores con un área de 10,723 m² cada uno.

El parámetro D_1 , que relaciona la energía adsorbida por el colector y la demanda térmica diaria de energía, se calcula, para cada mes del año, conforme a la siguiente fórmula:

$$D_{l_i} = \frac{A \times \eta_0 \times 0,912 \times R_{Gd_inc_i}}{D_{ed_i} \times 100} \quad \text{Ecuación 3.9.3}$$

Donde,

D_{l_i} : Relación entre energía diaria absorbida por el colector y la demanda térmica diaria para el mes i.

A: Superficie instalada de colectores solares térmicos [m²].

η_0 : Eficiencia óptica del colector solar [%].

$R_{Gd_inc_i}$: Radiación solar global media diaria sobre superficie inclinada del mes i [MJ/m²].

D_{ed_i} : Demanda térmica diaria de energía para calentamiento de agua del mes i [MJ/día].

De la misma forma, el parámetro D_2 que relaciona las pérdidas de energía del colector y la demanda térmica diaria de energía, se calcula, para cada mes del año, se obtiene conforme a la siguiente fórmula:

$$D_{2_i} = \frac{A \times UL \times 0,95 \times (100 - T_{am_i}) \times \left(\frac{V}{75 \times A}\right)^{(-0,25)} \times \left(64,7 + 3,86 T_{Red_i} - \frac{2,32 T_{am_i}}{(100 - T_{am_i})}\right)}{D_{ed_i} \times 1000} \quad \text{Ecuación 3.9.4}$$

Donde,

D_{2_i} : Relación entre pérdidas de energía del colector y la demanda térmica diaria para el mes i.

UL: Factor global de perdidas [W/m²K].

T_{am_i} : Temperatura ambiente media mensual, para el mes i, de la comuna [°C].

V: Volumen de almacenamiento del depósito acumulador [L].

A: Superficie instalada de colectores solares térmicos [m²].

T_{red_i} : Temperatura de agua de red media mensual, para el mes i, de la comuna [°C].

D_{ed_i} : Demanda térmica diaria de energía para calentamiento de agua del mes i [MJ/día].

El factor de correlación (f) del método F-Chart para cada mes del año, que determina el aporte del SST a la energía necesaria para cubrir la demanda térmica, se determina según la siguiente fórmula:

$$f_i = 1,029 \times D_{L_i} - 0,065 \times D_{2_i} - 0,245 \times D_{L_i}^2 + 0,0018 \times D_{2_i}^2 + 0,0215 \times D_{L_i}^3 \quad \text{Ecuación 3.9.5}$$

Donde,

f_i : Factor de correlación del método F-Chart.

D_{1_i} : Relación entre energía diaria absorbida por el colector y la demanda térmica diaria para el mes i.

D_{2_i} : Relación entre pérdidas de energía del colector y la demanda térmica diaria para el mes i.

Se determina el facto P_i para cada mes del año, conforme a lo siguiente:

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

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

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

Donde,

F_i : Factor de correlación del método F-Chart.

P_i : Factor de correlación ajustado del método F-Chart.

Se determina la cantidad de energía mensual aportada por el SST para el calentamiento de agua, mediante la fórmula:

$$Q_{u_i} = P_i \times D_{em_i} \quad \text{Ecuación 3.9.6}$$

Donde,

Q_{u_i} : Energía mensual aportada por el SST [MJ].

P_i : Factor de correlación ajustado del método F-Chart.

D_{em_i} : Demanda térmica mensual de energía para calentamiento de agua [MJ/mes].

La contribución solar (CS) del SST, correspondiente a la fracción entre la energía anual aportada por el SST y la demanda energética anual de agua caliente sanitaria, expresada en [%], se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$CS = \frac{\sum_{i=1}^{12} Q_{u_i}}{\sum_{i=1}^{12} D_{em_i}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3.9.7}$$

Donde,

CS: Contribución solar del SST [%].

Q_{u_i} : Energía mensual aportada por el SST [MJ].

Dem_j: Demanda térmica mensual de energía para calentamiento de agua [MJ/mes].

Lo anterior se explica en el apartado de resultados, y se observa con más detalle en la tabla C.1 de los anexos.

3.10 Cálculo de emisiones GEI

Para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se utilizó el procedimiento descrito en la guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes, el cual establece la siguiente ecuación:

$$E = fe * Na * (1 - \frac{Ea}{100}) \quad \text{Ecuación 3.10.1}$$

Donde,

E: Emisión.

Fe: Factor de emisión.

Na: Nivel de actividad diaria, semanal y mensual de la fuente estimada.

Ea: Eficiencia de abatimiento.

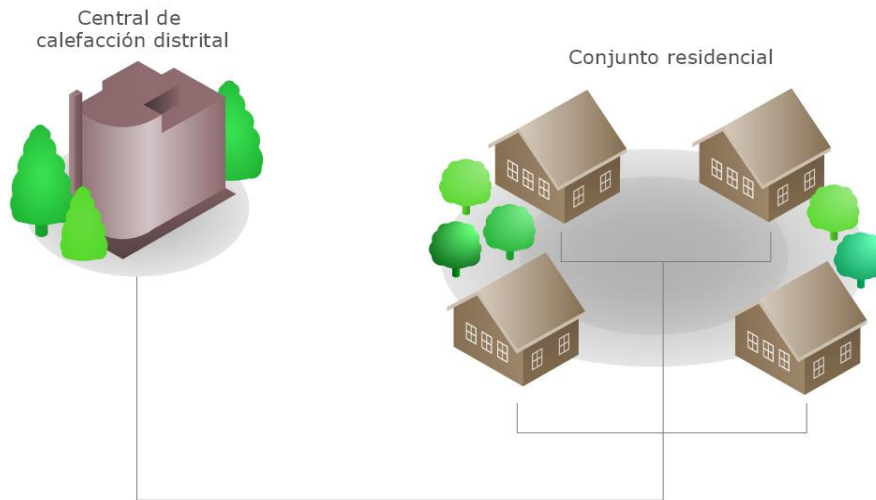


Figura 21. Esquema de supuesto uno de evaluación.

Fuente: Elaboración propia

Se realizaron estimaciones, primero, para el caso de una vivienda tipo, en donde se utiliza una caldera a leña (estufa) para calefacción y un calefont a gas para ACS; después se determinaron los supuestos para la planta de calefacción distrital con caldera a leña, como se observa en la figura 21, para un SST individual (por vivienda; caso 1), figura 22, y para SST central (en la planta de generación de calor, caso 2), representado en la figura 23.

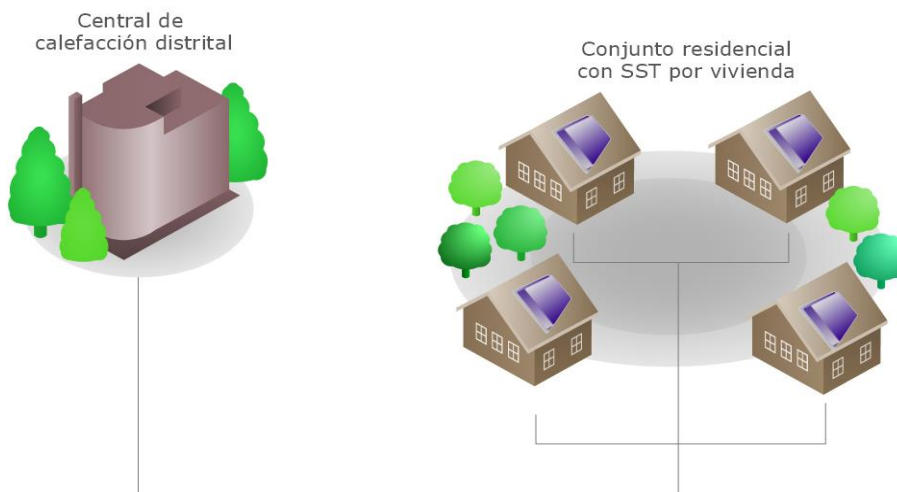


Figura 22. Esquema de supuesto dos de evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

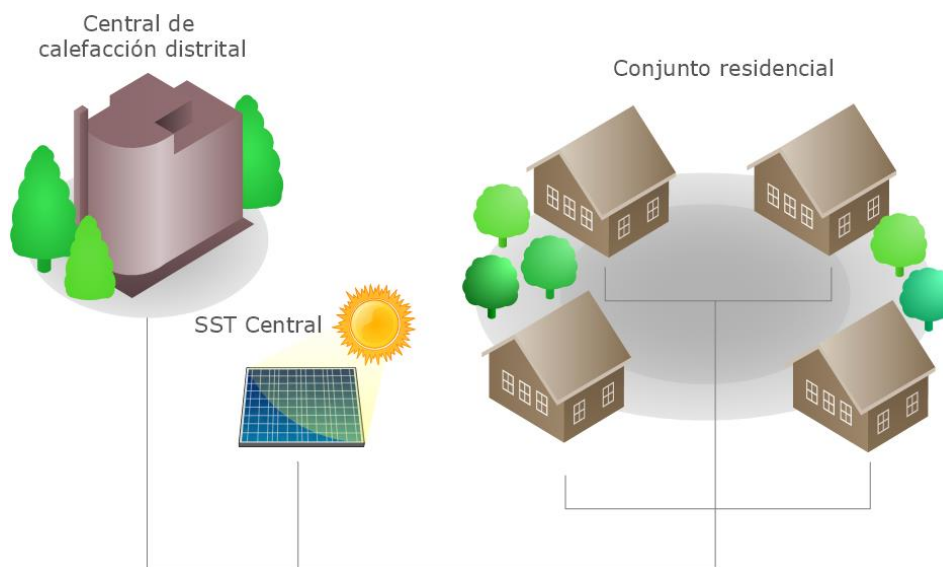


Figura 23. Esquema supuesto tres de evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

Los factores de emisión utilizados para la estimación de GEI fueron los descritos en la tabla 24.

Tabla 24. Factores de emisión para Leña y Gas.

Combustible	Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg Leña)	Combustible	Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg GN)
Leña	MP	0,003200	Gas natural	MP	0,000170
	MP10	0,002880		MP10	0,000170
	MP2,5	0,002430		MP2,5	0,000170
	CO	0,006800		CO	0,001890
	NOX	0,000750		NOX	0,002260
	VOC	0,000110		VOC	0,000120
	SOX	0,000040		SOX	0,000280
	NH3	1,10E-03		NH3	3,90E-08
	Arsénico	9,80E-08		Arsénico	1,01E-05
	Plomo	2,14E-07		Benceno	1,07E-05
	Benceno	1,87E-05		Tolueno	1,73E-05
	Tolueno	4,10E-06		CO2	1,03000
	CO2	1,03000		Hg	3,03E-10

Fuente: Guía metodológica CONAMA.

El procedimiento y factores seleccionados para la estimación de GEI de este estudio, son los detallados en el apartado de calderas para generación de vapor y/o agua caliente sanitaria de la guía metodológica.

CAPITULO IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Resultados demanda térmica residencial

A partir de las consideraciones detalladas en los apartados anteriores es posible estimar la demanda térmica para cada vivienda durante el año.

A continuación, se hace el cálculo de la demanda, la cual neta consiste en la cantidad de energía necesaria para mantener las condiciones de confort a lo largo del día, durante todo el año, según los horarios establecidos de consumo (definidos en la sección 3.7 de metodología) en base a las costumbres de la zona.

Las demandas térmicas requeridas para suplir de ACS y satisfacer las condiciones de confort térmico las 3 horas del día estimadas durante todo el año, para las viviendas, son las expresadas en detalle en el anexo A. La tabla 25 muestra los resultados finales de demanda neta.

Tabla 25. Demanda de calor neta ACS por vivienda.

Total	Área Vivienda
[kW]	[m ²]
2,73	45

Fuente: Elaboración propia.

Como se ve en la tabla 25, la potencia para ACS estimada de las viviendas particulares de 45 m² es de 2,73 kW por vivienda, lo que corresponde a un total de 980,07 kW para el conjunto residencial.

Por otro lado, debido a que los usuarios normalmente no hacen uso de la calefacción durante las 24 horas del día, se determinó igualmente, la demanda neta de calefacción (Tabla 26 y Figura 24).

Tabla 26. Distribución en el uso de calefacción

Distribución en el uso de calefacción		
Temporada	Horas de Calefacción	Horarios
Mayo - Septiembre	15	09:00 - 00:00 hrs
Octubre - Abril	0	-

Fuente: Elaboración propia.

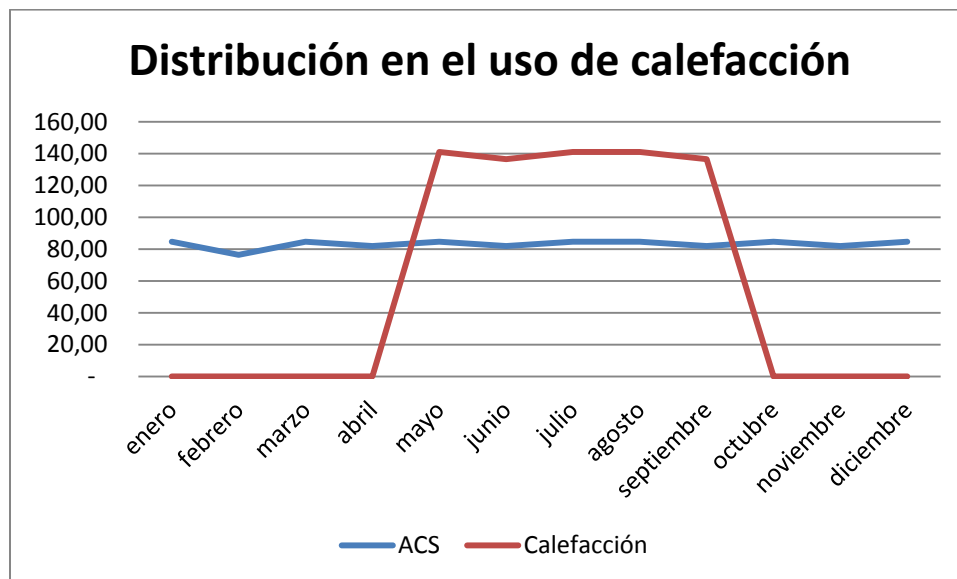


Figura 24. Distribución en el uso de calefacción de una vivienda tipo.

Fuente: Elaboración propia.

Durante los horarios y meses establecidos para el consumo se determinó que la potencia para calefacción residencial es equivalente a 4,55 kW, con un total de 1.561,78 kW para el conjunto habitacional.

Por lo tanto, la potencia total del sistema es la suma de la potencia de ACS y de calefacción, lo que equivale a 2.541,85 kW, como se observa en la tabla 27.

Tabla 27. Demanda de calefacción.

N° de Viviendas	Tamaño [m ²]	Demanda Calefacción [kW]	Demanda ACS [kW]	Demanda total [kW]
1	45	4,55	2,73	7,28
359	16.155	1.561,78	980,07	2.541,85

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al dimensionamiento de los paneles solares, se utilizaron como base los datos de demanda en base a la metodología descrito en el apartado anterior.

Por otro lado, para el dimensionamiento del sistema solar térmico, se determinó que para el primer escenario, el área de paneles instalada es de 1,61 m² con un colector de 200 litros (especificaciones en Anexos C, tabla C.1), SST el cual contribuye con 1301 kWh de energía para el calentamiento del agua y 58,5% de aporte solar.

Para el segundo escenario, se seleccionaron 4 acumuladores de 15.000 litros y un área de paneles equivalente a 579 m², distribuidos en 54 colectores solares térmicos con un área de 10,723 m² cada uno, con un aporte de solar para el calentamiento de agua del SST del 60,5% (Tabla 28)

Tabla 28. Descripción de SST para casos propuestos.

Descripción	Caso	Área de colectores [m ²]	Numero de colectores	Acumulador [l]	Numero de acumuladores	Aporte solar [%]
Calefacción Distrital Caldera	Caso tipo	-	-	-	-	
DH SST por vivienda	Caso 1	1,6	359,0	200,0	359,0	58,5
DH SST en central	Caso 2	10,7	54,0	15.000,0	4,0	60,5

Fuente: Elaboración propia.

Como se menciona en el apartado de metodología, los cálculos se detallan en el Anexo C, tabla C.2 y C.3 para cada caso.

4.2 Resultados de diseño de central

La calefacción distrital es una tecnología compleja que contempla una serie de factores ambientales para su implementación en un determinado sector.

Debido a que el desarrollo de este estudio no contempla tópicos de ingeniería de detalle, es decir, el dimensionamiento completo de la central, aquí se mencionan los puntos relevantes de la implementación y dimensionan aquellos que contribuyen a comprender el impacto ambiental y social de la calefacción distrital en la zona.

Una planta de calefacción distrital se compone básicamente de una central de generación de calor, una red de distribución de calor y el sistema de vivienda.

En la central de generación de calor, se contemplan elementos como la caldera (potencia dimensionada en apartado anterior), intercambiador de calor de placas, estanque de expansión, válvulas, compresor, filtro de gases, acumulador, entre otros elementos.

La red de distribución, es aquella encargada de transportar el fluido de la central a los consumidores a través de tuberías, las cuales van generalmente bajo tierra, por lo que se considerando un aislante para reducir la diferencia de temperatura entre el fluido caloportador y el suelo.

Finalmente, el sistema de vivienda, es el que conecta al sistema de generación de calor con el consumidor a través de un sistema de calefacción. Este contempla cañerías para la conexión, válvulas, estanque de expansión, bomba, intercambiador de calor y lo primordial el tipo de calefactor para la distribución de calor (radiador en el caso de este estudio).

Se considera fundamental el dimensionamiento de la central a través de su caldera y acumulador, y del sistema de vivienda a través del sistema de distribución de calor, en este caso, el radiador.

Caldera

Se considera la instalación de una caldera de agua caliente a biomasa para satisfacer la demanda de calor de las viviendas de la red distrital. Se considera una caldera con potencia nominal de 2,6 MW y rendimiento del 90%.

Acumulador

La generación de ACS se lleva a cabo en los acumuladores de agua caliente sanitaria. Estos equipos consisten en estanques térmicamente aislados y con un serpentín sumergido. Por el serpentín circula agua del sistema residencial de calefacción. El acumulador de agua caliente sanitaria cuenta con un termostato que permite la optimización del uso de calor. Si la temperatura del estanque sobrepasa a la temperatura de consumo del ACS (fijada en 45°C) el agua circula por el by pass (Seminario, 2012).

Debido a que el consumo estimado por persona es de 40 [lt/día hab] de ACS a 45°C, y que en apartados anteriores se estima que la distribución a habitantes por vivienda es de 4 personas, se requiere un acumulador de 160 [l].

Se selecciona de la empresa Anwo, el acumulador CV-200-M1 con capacidad de 200 [l] y una potencia de serpentín de 53 [kW].

Radiadores

La selección de los radiadores a instalar en las viviendas de los consumidores se realizó mediante la metodología utilizada en el trabajo de Seminario, una propuesta de la empresa Anwo basada en la norma DIN 4703, que entrega valores de corrección para el análisis de equipos que operan bajo condiciones distintas a las establecidas en la norma DIN 4704. La metodología básicamente consiste en la utilización de una tabla de triple entrada (temperatura ambiente de recinto calefaccionado, temperaturas de entrada y temperaturas de salida del radiador del agua del circuito de calefacción), la que entrega factores de

corrección de potencia de los radiadores. La potencia nominal requerida se multiplica por el factor obtenido en la tabla a fin de determinar la potencia del radiador a seleccionar. La tabla F.1 Anexos F detalla los factores de corrección para el dimensionamiento de radiadores Ocean, distribuidos por Anwo, el cual fue 1,1 para el caso de este estudio.

En la tabla 29, se detallan los resultados obtenidos para la selección del radiador a utilizar en las viviendas sociales, en donde se seleccionaron 4 equipos para distribuir en las distintas habitaciones de la vivienda.

Tabla 29. Selección de radiadores

Potencia de calefacción requerida [kW]	Temperatura de entrada de agua en circuito [°C]	Temperatura de salida de agua [°C]	Factor de correlación de dimensionamiento	Potencia de calefactor a seleccionar [kW]	Potencia de calefactor a seleccionar [kcal/h]	Marca	Modelo	Cantidad de radiadores	Potencia [kcal/h]	Capacidad [lt]	Dimensiones [mm3]
4,55	80,00	70,00	1,11	5,05	4343,00	Ocean	DK.300.0800	2	1006	2,72	800x300x52
						Ocean	DK.300.0900	1	1132	3,06	900X300X52
						Ocean	DK.300.1000	1	1258	3,4	1000X300X52

Fuente: Elaboración propia, en base a Seminario, 2012.

Es notable destacar que es necesario más de un radiador por vivienda, lo que aumenta los costos de inversión, pero mejora la distribución de calor dentro del recinto.

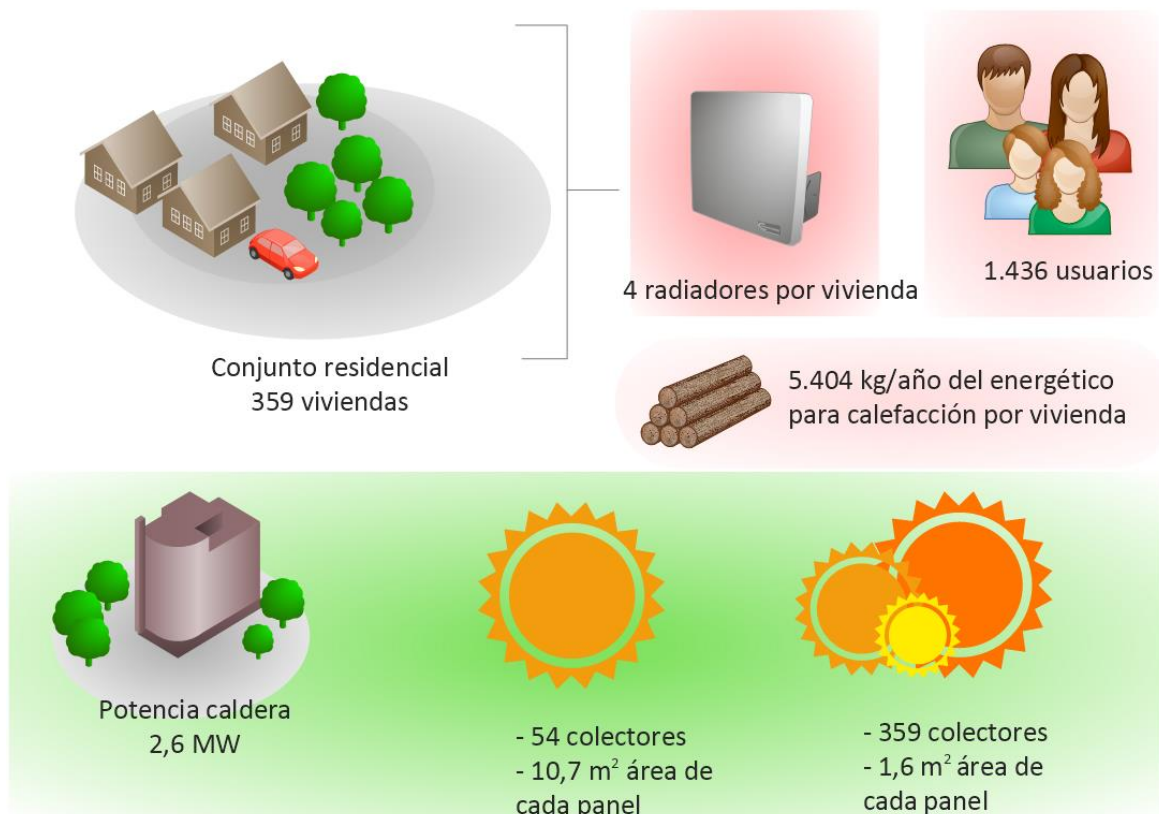


Figura 25. Dimensionamiento de sistema de calefacción distrital.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Resultados de emisiones de GEI y MP

En cuanto a la emisión de GEI y MP, se obtuvieron los siguientes resultados, en base a la guía metodológica elaborada por la CONAMA, en donde se establecen factores de emisión para calderas según el tipo de combustible que utilizan; para el caso de este trabajo, se seleccionaron los factores para caldera que combustiona leña y gas para el caso de calefont en el caso tipo (vivienda convencional, sin sistema de calefacción distrital).

Tabla 30. Estimación de GEI y MP para planta de calefacción distrital calefacción y ACS.

Combustible	Contaminante	Factor de Emisión [kg/kg Leña]	Emisiones vivienda sin DH [ton/año]	Emisiones DH [ton/año]	Emisiones Caso 1 [ton/año]	Emisiones Caso 2 [ton/año]
Leña	MP	0,00	0,75	0,69	0,29	0,27
	MP10	0,00	0,67	0,62	0,26	0,23
	MP2,5	0,00	0,57	0,52	0,22	0,19
	CO	0,01	1,62	1,46	0,61	0,54
	CO2	1,03	259,52	221,74	92,02	82,36

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 30, la reducción de GEI y MP al año para el caso de calefacción tradicional en comparación a lo emitido por el sistema de calefacción distrital en la zona, varía de 0,78 ton/año para el primer caso y 0,72 ton/año para el caso convencional en los hogares de la comuna, una reducción del 7,94%, por otro lado, las emisiones de material particulado para calefacción distrital apoyada por SST en cada vivienda (Caso 1) y SST central (Caso 2), es considerablemente menor, reduciendo un 61,80% y 63,64% las toneladas de material particulado al año respectivamente.

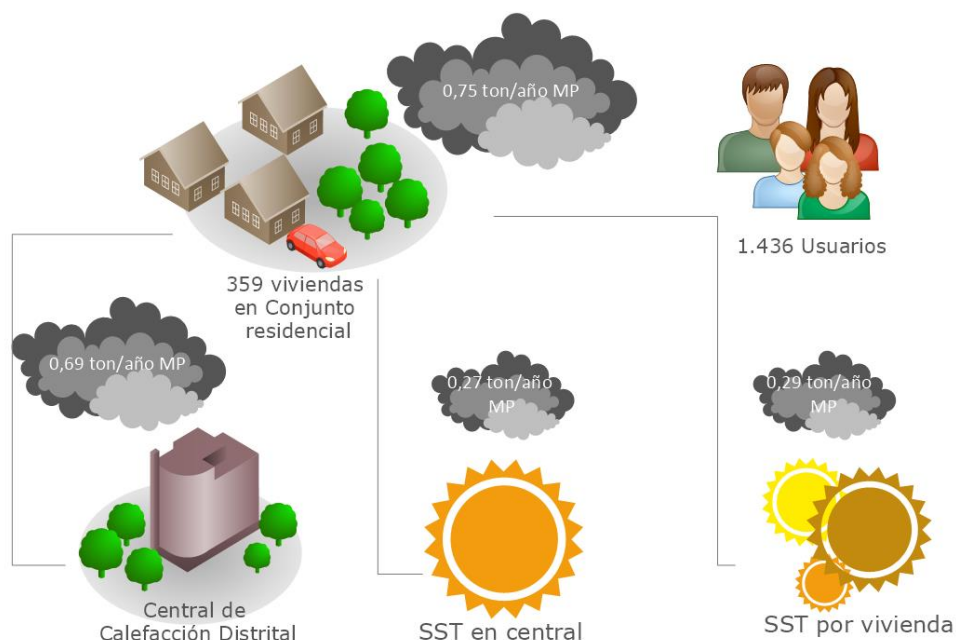


Figura 26. Esquema de emisiones de Material Particulado en base a Fuente: Elaboración propia.

4.4 Resultados de costos de central

En relación a los costos de implementación de la planta de calefacción distrital, se evaluaron tres casos, el primero de ellos, se consideró la planta de calefacción distrital con uso de biomasa para el suministro de calefacción y ACS; el caso 1 se determinó bajo el supuesto de implementación de la planta de calefacción distrital para calefacción y ACS con complemento de SST individual (colector solar térmico y acumulador por vivienda) para el suministro de ACS; y por último, en el caso 2, se evaluó la planta de calefacción distrital para calefacción y agua caliente sanitaria con complemento de SST central (colectores solar térmico y acumulador en la planta de generación de calor) para el suministro de ACS.

Para ello, se establecieron algunos supuestos que se detallan en anexos E, tabla E.2.2, en donde se puede observar claramente la alta inversión que un sistema como este demanda en una zona donde no hay desarrollo de estas tecnologías.

Tabla 31. Costos de calefacción distrital de los distintos casos.

Supuestos	Inversión	Costos operación	Costos mantenimiento
Caso DH	\$ 233.013.400	\$ 5.000.000	\$ 5.500.000
Caso 1 SST por vivienda	\$ 885.288.600	\$ 5.000.000	\$ 5.500.000
Caso 2 SST en central	\$ 379.908.600	\$ 5.000.000	\$ 5.500.000

Fuente: Elaboración propia.

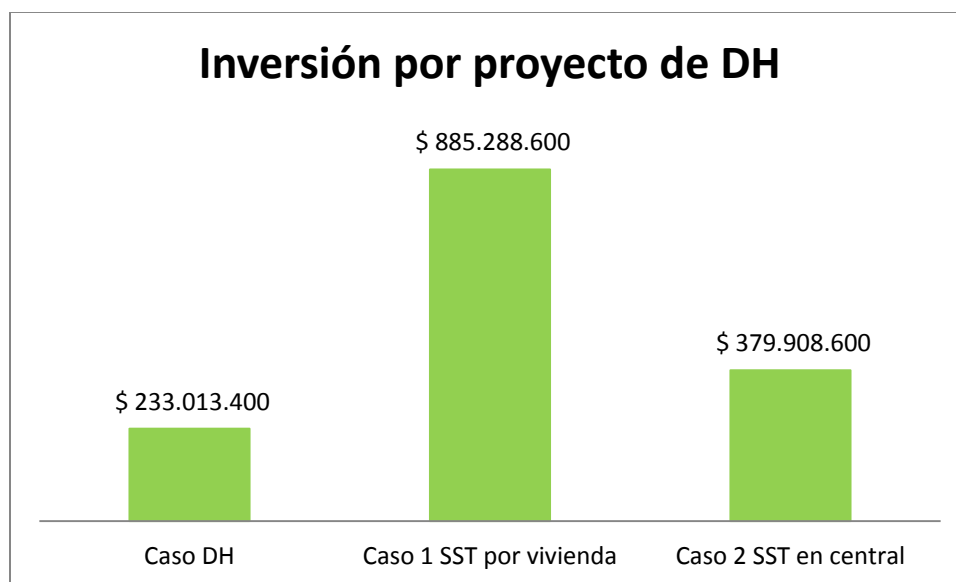


Figura 27. Gráfico comparativo de costos de inversión para cada supuesto de proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 31 y Figura 27, muestra los costos de inversión, en dónde es deducible la baja viabilidad de implementación del supuesto dos o caso 1, debido a la alta inversión inicial, en comparación a los otros casos. La alta inversión, podría llegar a generar un gran problema para las empresas constructoras que quisiesen aplicar estas tecnologías en los proyectos inmobiliarios, ya que actualmente, no existe ningún tipo de subsidio estatal que ayuda al desarrollo de la tecnología en las zonas declaras saturadas por material particulado, más que la obligatoriedad de cumplimiento con lo estipulado en los planes de prevención y descontaminación atmosférica.

La tabla 32 muestra el valor actual neto (VAN) para cada supuesto, determinado en base a los flujos de caja detallados en la sección E de los anexos.

Tabla 32. VAN y TIR para supuestos de estudio.

Supuestos	VAN	TIR
Caso DH	\$ 27.068.714	18%
Caso 1 SST por vivienda	-\$ 340.234.700	9%
Caso 2 SST en central	\$ 263.713.415	27%

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 31, la inversión para los supuestos 1 y 3 generan ganancias en el periodo establecido (20 años), no así el supuesto dos, en donde la inversión inicial es tan elevada que genera pérdidas no siendo rentable.

4.5 Análisis PEST

Como se menciona en el apartado de metodología, el análisis PEST es ideal para realizar un estudio del entorno general del proyecto, por lo que ahora, se detallan de forma resumida los antecedentes descritos previamente en el proyecto y que fueron claves para el desarrollo de este estudio.



Figura 28. Esquema resumen de análisis PEST.

Fuente: Elaboración propia.

Dimensión política

Como es sabido, todo proyecto que implique generación y distribución de energía (de cualquier especie) conlleva impacto en el medio ambiente. Lo anterior es regulado a través del Ministerio de Medio Ambiente. De este organismo depende la correcta operación del proyecto, así como la previa evaluación de su impacto. Acá resulta fundamental mencionar la obligatoriedad del ingreso de una Declaración de Impacto ambiental (DIA) al servicio de evaluación de impacto

ambiental, esto debido a la zonificación del proyecto, a la declaración de la comuna de Chillán como zona saturada, y debido a que el proyecto inmobiliario propuesto cuenta con más de 300 viviendas unifamiliares.

Por otro lado, está también la Superintendencia del Medio Ambiente, la cual tiene como misión el proteger el medio ambiente y la salud de las personas, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental a través de la fiscalización de las resoluciones de Calificación Ambiental (RCA), Normas de Calidad y Emisión, Planes de Prevención y/o Descontaminación, Planes de Manejo de la Ley N°19.300 y otros que la ley establezca a futuro.

Además, tiene la facultad exclusiva de aplicar sanciones frente a un incumplimiento de dichos instrumentos, las que van desde la amonestación por escrito hasta la revocación de la Resolución de Calificación Ambiental (RCA), incluyendo la aplicación de multas de hasta 10.000 Unidades Tributarias Anuales.

Para el caso de Chillán, que cuenta con un plan de prevención y descontaminación atmosférica desde el 28 de marzo de 2016, es la SMA la encargada de recibir y analizar los informes de desempeño de las instituciones participantes y sancionar en caso de incumplimiento a lo descrito en el DS 48 del MMA.

Por otro lado, el Ministerio de energía de Chile, a través de la superintendencia de electricidad y combustibles (SEC), tiene como misión el vigilar la adecuada operación de los servicios de electricidad, gas y combustibles en general, en términos de su seguridad, calidad y precio.

La SEC es un servicio gubernamental encargado de fiscalizar el cumplimiento de la normativa legal y técnica por parte de quienes participan en la generación, producción, almacenamiento, transporte y distribución de combustibles líquidos, gas y electricidad, a través de la vigilancia de los sistemas de control que implican la existencia de:

- Instaladores Autorizados.

- Empresas certificadoras, tanto de Instalaciones Interiores de Gas como de Combustibles Líquidos.
- Laboratorios Certificadores de productos eléctricos y de combustibles.

Debido a que la comuna de Chillán fue declarada zona saturada por material particulado 10 y 2,5, se elaboró el vigente plan de prevención y descontaminación atmosférica para la intercomuna de Chillán y Chillán Viejo el cual otorga como competencia a la SEC el elaborar el listado de calefactores certificados para operar dentro de la comuna.

Por otro lado, está la comisión nacional de energía (CNE), dependiente del Ministerio de Energía, la cual es un organismo técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica.

Dentro de sus funciones, está el analizar técnicamente la estructura y nivel de los precios y tarifas de bienes y servicios energéticos, en los casos y forma que establece la ley, fijar las normas técnicas y de calidad indispensables para el funcionamiento y la operación de las instalaciones energéticas, en los casos que señala la ley, monitorear y proyectar el funcionamiento actual y esperado del sector energético y proponer al Ministerio de Energía las normas legales y reglamentarias que se requieran, en las materias de su competencia.

A raíz de lo anterior, la CNE desarrolló un estudio de mercado de los combustibles a lo largo de las 14 comunas que cuentan o contarán con planes de prevención y descontaminación atmosférica, el cual entrega a los usuarios de los servicios de combustibles y calefacción los lugares autorizados donde adquirir el combustible, precios y formatos de venta.

A nivel local, el municipio de Chillan regula el desarrollo de nuevos proyectos bajo su ordenanza plan regulador comunal y su ordenanza para la protección del medio

ambiente, la cual regula en sus apartados la instalación de calderas de generación de calor, uso de biomasa y emisiones de material particulado a la atmosfera.

Por otro lado, dentro del documento energía 2050, política energética de Chile, desarrollado por el gobierno, a través del Ministerio de Energía, se detallan los 4 lineamientos a seguir en los próximos años en materia de desarrollo energético. El documento deja en claro que la diversificación de la matriz energética avanzará hacia el desarrollo de energías compatibles con el medio ambiente, como puede ser la calefacción distrital.

Dimensión económica

La situación económica entorno a las características del uso de la leña y combustibles en la comuna de Chillán, se detalla en la sección de antecedentes. Destaca el hecho de que la población perteneciente a los más bajos quintiles, es la que consumo leña como combustible o derivados. Es debido a ello, que el proyecto seleccionado se emplaza en un proyecto inmobiliario de viviendas sociales, entregadas a familias de campamentos de la zona.

Actualmente, y como se detalla en este trabajo, la comuna de Chillán tiene su matriz energética de calefacción basada en el uso de la leña, teniendo más de 31 comerciantes inscritos en el registro de rentas y patentes del Municipio y tres proveedores certificados por el Sistema nacional de Certificación de Leña (SNCL) de los ocho que hay en toda la región.

Además de lo anterior, el mercado de la leña en la comuna cuanta con una gran preocupación que son los vendedores informales, quienes no cumplen con la normativa vigente y venden un producto de menor calidad (como pino u otro tipo de especies con menor poder calorífico).

Los precios de este combustible en la comuna son considerablemente menores, como se observa en la tabla 5 en apartados anteriores, pero depende mucho del formato de venta y especie, por lo que el Ministerio de energía desarrollo una tabla

de conversión de energía de la leña (Anexo G). Por lo anterior, el utilizar biomasa para el funcionamiento de la caldera del sistema de calefacción distrital es la opción más atinente a la realidad de abastecimiento y económica de la zona.

Por otro lado, el Ministerio del Medio Ambiente, considera entregar 20.000 programas de recambio de calefactores, que van como apoyo a las familias para obtener un nuevo calefactor, que cumple con la normativa actual a un bajo costo.

También, el Ministerio de Vivienda y Urbanismo entrega a 20.000 viviendas mejores de aislación térmica, lo cual busca disminuir las pérdidas de calor de las viviendas que no cumplen con la actual norma.

Dimensión social

Podría decirse que el olor de la madera quemada en el corazón humano es tan viejo como la humanidad misma, ya que muchos antropólogos sitúan el comienzo de la humanidad en el momento en que nuestros antepasados aprendieron a dominar el fuego. Incluso hoy, es probablemente cierto decir que los combustibles de la biomasa proporcionan la mayor parte de la energía para la mayor parte de la humanidad (Smith, 2005).

Los habitantes de la comuna de Chillán poseen un consumo de leña muy arraigado en su cultura, esto debido al gran desarrollo agrario y forestal de la zona.

Más del 78% de la leña utilizada en la comuna es para el uso residencial, durante los meses de mayo a septiembre.

A pesar de que la comuna cuenta con un promedio de años de escolaridad superiores al promedio nacional (10,2 años), esto sigue siendo muy bajo, ya que se proyecta solo el haber cursado educación básica completa o media incompleta.

Esto repercute en que un alto nivel de jefes de hogar o familias permanecen en sus casas durante gran parte del día, lo que condiciona el horario de uso de calefacción.

Por ello, sistemas más eficientes, se ven como una solución para el diario vivir de las familias, pero a pesar de ello, no algo accesible a corto plazo.

Dimensión tecnológica

Como se ha mencionado en el análisis de dimensiones anteriores o dentro del mismo trabajo, la tecnología de calefacción utilizada por excelencia en la comuna de Chillán es la leña a través de estufas de combustión lenta. La baja eficiencia de los calefactores junto al desconocimiento de su uso, generaron problemas críticos en la calidad del aire de la comuna desde el año 2012 (cuando la comuna es declarada zona saturada por material particulado 2,5).

El gobierno, desarrollo estrategias para la descontaminación de las comunas declaradas zona saturadas a través de la implementación de planes de prevención y descontaminación atmosféricas, el cual contempla como una de sus medidas el recambio de calefactores para 20.000 viviendas, pretendiendo entregar 10.000 calefactores eficientes que combustionen leña y otro 10.000 que combustionen gas, parafina o pellet, con el fin de diversificar la matriz de calefacción y disminuir la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera.

Además de lo anterior se contempla un subsidio para mejoramiento de aislación térmica de las viviendas, considerando gran parte de las construcción son anteriores a 2007 (normativa vigente de aislación térmica). Este subsidio, contempla disminuir las infiltraciones de aire en juntas de techo y muro, apegándose a una conducción térmica de la envolvente según la norma.

Por otro lado, también se contempla el fomento al uso de nuevas tecnologías como lo es la calefacción distrital y el uso de energías renovables no convencionales, lo cual se alinea con la estrategia de energía 2050 para Chile.

CAPITULO V. DISCUSIÓN

A partir de los análisis realizados en este estudio, se puede observar que la calefacción distrital es una alternativa ambientalmente eficiente en contraste al uso de otras fuentes de calefacción convencionales, bajo los supuestos de este estudio.

Como se observa en la sección 4.2 de resultados, la demanda de la caldera para calefacción del conjunto residencial seleccionado de viviendas sociales es de 2,6 MW, potencia cual fue definida bajo el supuesto del día más frío detectado, con -8°C , por lo que el sistema puede estar sobredimensionado para los meses menos fríos, pero se asegura que el suministro llegue de forma óptima al consumidor durante el día más frío del año.

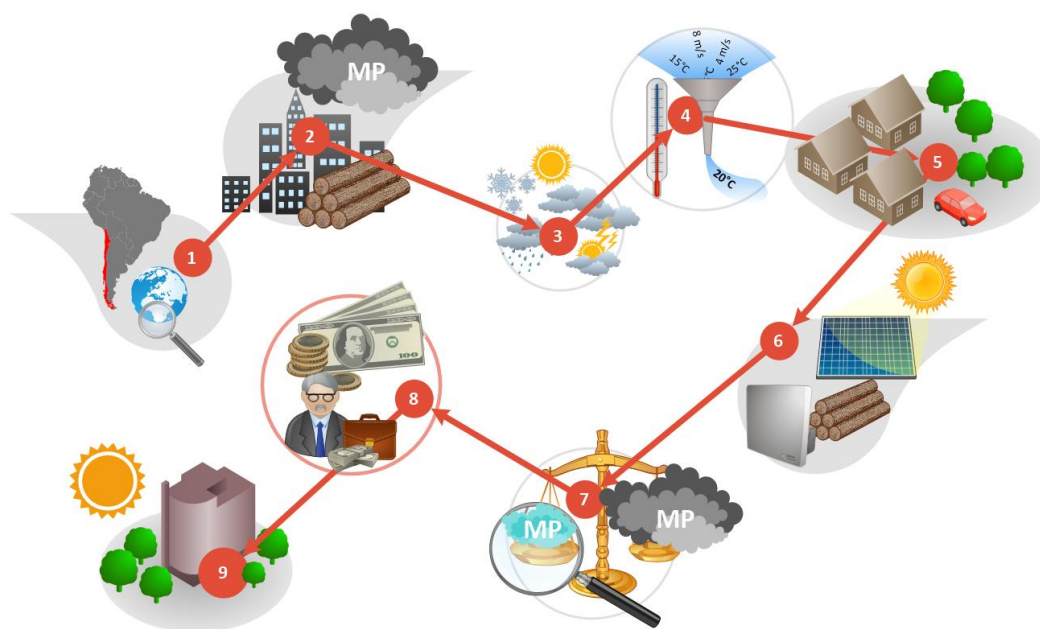


Figura 29. Esquema de trabajo.

- | | |
|---|---|
| 1. Recolección de información | 6. Selección de tecnologías y equipos. |
| 2. Determinación del problema de la zona de estudio. | 7. Determinación de reducción de contaminantes. |
| 3. Identificación de características climáticas de la zona. | 8. Determinación de reducción de costos. |
| 4. Determinación del confort térmico. | 9. Conclusiones y discusión del sistema seleccionado. |
| 5. Características del conjunto residencial. | |

Fuente: Elaboración propia.

En base al vigente plan de prevención y descontaminación atmosférica (Ministerio de Medio Ambiente, 2016) la planta determinada en este estudio, debe cumplir con límites máximos de emisión de MP, los cuales corresponderían a un máximo de 30 [mg/Nm³], eficiencia superior a 85% y realizar mediciones discretas de MP cada 6 meses (ya que la implementación se proyecta en una zona con uso de suelo del tipo industrial); medidas cuales fueron contempladas para la implementación del proyecto, sumándose a los costos de inversión, operación y mantención de la inversión económica (en todos los casos propuestos), y que generan un aumento considerable en el presupuesto a invertir por parte de las empresas, lo que se puede llegar a traducir en un aumento del cargo mensual para los consumidores, pero que a la vez no generaría complicaciones como la restricción del uso de calefacción a leña en condiciones de Alerta, Preemergencia y emergencia ambiental, que si ocurre para el caso de un calefactor a leña convencional (a excepción de los entregados en programas de recambio del Ministerio de Medio Ambiente o Certificados por la SEC).

Como se explica en el apartado anterior del diseño de la central, se descartaron los análisis de piping y fitting debido a que no formaba parte del objetivo del estudio; no obstante, se consideraron las pérdidas de calor y estimaron costos de inversión en base a la memoria de título de Seminario (2012) y el trabajo realizado por POCH (2010), contribuyendo a determinar los costos de inversión de manera realista para el proyecto.

En la sección 4.3 se observan las emisiones de GEI bajo los supuestos analizados en este trabajo, en donde existe una reducción del 7,04% de las emisiones de material particulado anual entre el conjunto residencial con calefacción a través de estufa convencional a leña y calefón para ACS y el caso de la central de calefacción distrital utilizando leña como combustible. Si bien el porcentaje no es considerablemente alto, si genera un impacto en la reducción, considerando los supuestos del uso de un calefactor que cumple con la normativa vigente establecida por el ministerio de energía para calefactores que combustionen leña,

un calor específico inferior para leña seca (menos de 25% de humedad en base seca) y el uso de gas para el suministro de ACS, en el caso de las viviendas tipo.

Así mismo, esta reducción en las emisiones, se ve claramente potenciada por el uso de sistemas solares térmicos, en donde se observan reducciones de emisión de material particulado que superan el 60%, cifra muy favorable para un proyecto de inversión de este tipo. Es muy notable destacar que esto lleva consigo la reducción de las consultas hospitalarias por IRAS y ERAS en la comuna de Chillán, problema cual ha ido en aumento durante los meses de invierno y que se atribuye a los altos niveles de contaminación atmosférica. Esta reducción generaría no solo beneficios para la salud de la ciudadanía, sino también una reducción del costo anual que se invierte en salud durante el año por las personas y el estado.

Estudios previos realizados en la comuna, como el de Brescó (2014) o Díaz (2014), determinan que la calefacción distrital con biomasa es una tecnología que reduce significativamente las emisiones de material particulado, además de que el energético es de producción descentralizada, ya que las localidades del sur son las mayores generadoras y consumidoras de biomasa, no obstante, al igual que el presente trabajo, llegan a la conclusión que la inversión es demasiado alta, haciendo que no sea una opción rentable sin considerar un sistema de fomento por parte del estado.

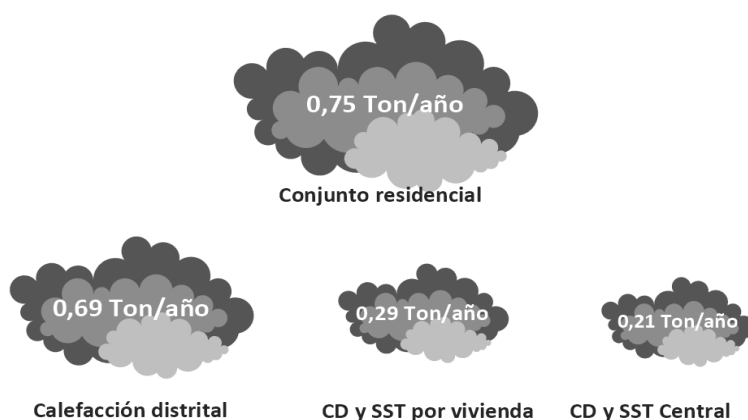


Figura 30. Emisiones de MP por caso evaluado.

Fuente: Elaboración propia.

Como era de esperar, los altos costos de inversión de estos proyectos generan la dificultad de que no sean competitivos con sistemas de calefacción convencionales en materia económica, superando en más de un 40% la inversión inicial, para el caso de la planta de calefacción distrital sin SST y en casi 300% para el caso de SST individual, costos muy elevados que complican el escenario de inversión para las empresas. Aunque existen estamentos de fomento para proyectos de inversión en viviendas sociales que contemplen sistemas solares térmicos, no fueron considerados relevantes en este estudio, ya que no se determinaron tarifas de consumo ni modelo económico del sistema.

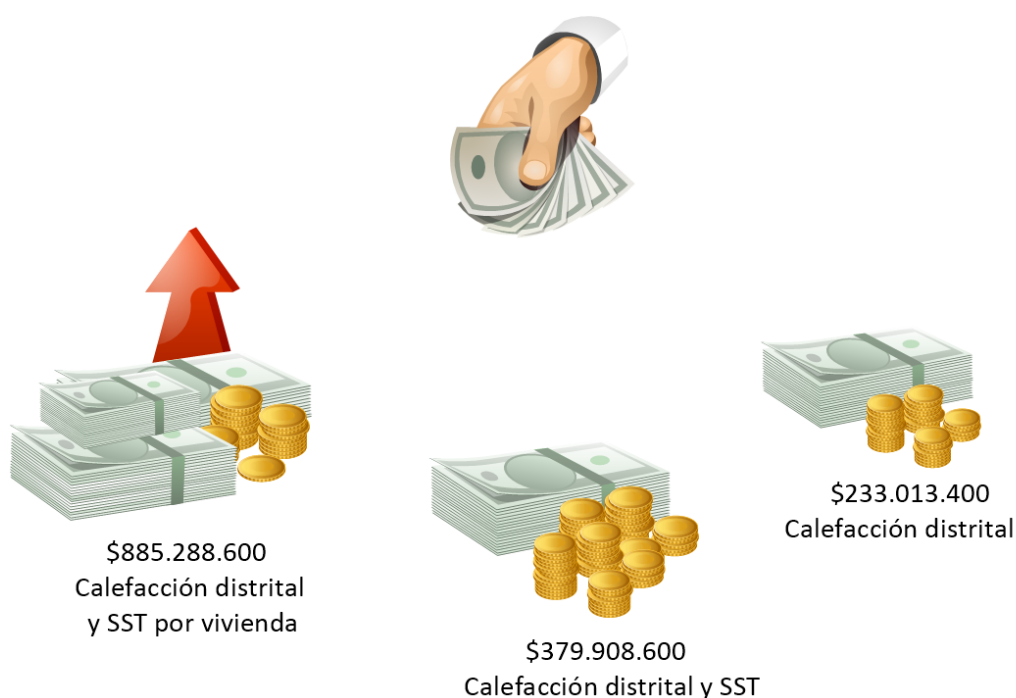


Figura 31. Inversión por cada caso evaluado.

Fuente: Elaboración propia.

No obstante a lo anterior, es destacable señalar que el plan de prevención y descontaminación atmosférico para la intercomuna de Chillán y Chillán Viejo (Ministerio de Medio Ambiente, 2016) contempla en sus artículos el desarrollo de un estamento de fomento a cargo de CORFO para la implementación de proyectos que contemplen la calefacción distrital para uso residencial (u otro), escenario cual posiblemente puede ser beneficioso para que las empresas estén

dispuestas a invertir en tecnologías de este tipo, que reducen el impacto ambiental a través de la reducción de emisiones de GEI.

Actualmente, las políticas del estado ejecutadas por el Ministerio del Medio Ambiente están enfocadas en la reducción y recuperación de los niveles de material particulado 10 y 2,5 a través del recambio y restricciones de uso de calefactores, diversificación de la matriz energética de calefacción que va en desmedro del uso de la leña, un combustible renovable, no considerado como tal, que contribuye con la renovación de los bosques, genera ingresos, es renovable y tiene bajas emisiones de GEI cuando se utiliza adecuadamente (seca y en calefactores eficientes).

Proyectos de inversión como estos en zonas declaradas saturadas por material particulado a raíz del mal uso de la leña como energético, pueden llegar a generar un gran impacto en la reducción y recuperación de la calidad ambiental de las comunas sin eliminar fuentes de ingresos para las familias que ven en la leña sus sustento.

REFERENCIAS

ASHRAE. 2008. ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems and Equipment (I-P Edition).E.E.U.U., 2008.

Aste, N., M. Buzzetti, P. Caputo & M. Manfren. 2014. Local energy efficiency programs: A monitoring methodology for heating systems. Sustainable Cities and Society 13 (2014): 69 - 77 pp.

Ayala, L., R. Arias. 2015. Gerencia de mercado. El análisis PEST. Recuperado en: <http://3w3search.com/Edu/Merc/Es/GMerc098.htm>.

Azócar, G., R. Sanhueza y C. Henríquez. 2003. "Cambio en los patrones de crecimiento en una ciudad intermedia: el caso de Chillán en Chile Central". Eure. Revista Latinoamericana de Estudios Urbano Regionales 29 (87): 79-82.

Bakovic & Balic Ingenieros Consultores. 2011. Actualización del Plan de Desarrollo Comunal 2011 - 2015. Ilustre Municipalidad de Chillán 17 p.

Brescó, J. 2014. Calefacción distrital con Biomasa. Tecnología competitiva y sustentable. Talleres de calefacción distrital Temuco y Chillán. 24 y 25 de septiembre de 2014.

Celis, J. & J. Morales. 2007. Estudio de la contaminación del aire urbano en una ciudad intermedia: El caso de Chillán (Chile). Atenea (Concepción) (495): 165-182 pp.

Celis, J., M. Morales, C. Zaror, J. Inzunza, N. Flocchini & O. Carvacho. 2003. Chemical characterization of the inhalable particulate matter in city of Chillán, Chile. Journal of the Chilean Chemical Society 48(2): 49-55 pp.

Chapman, A. 2004. Análisis DOFA y análisis PEST. Recuperado en: <http://www.degerencia.com/articulos.php>.

Comisión Nacional de Energía & Agencia Alemana de Cooperación Técnica (CNE & GIZ). 2008. Proyecto Fomento de la Eficiencia Energética Determinación de línea base “anual” para la evaluación de la inversión en eficiencia energética en el sector residencial invierno 2007 – verano 2008, Santiago de Chile.

Comisión Nacional de Energía (CNE). 2010. Ministro Raineri forma comité de seguridad energética. Comisión Nacional de Energía, <http://www.cne.cl/noticias/otros/301-ministro-raineri-forma-comite-de-seguridadenergetica>.

Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). 2007. Contaminación en Temuco. Temuco. Recuperado desde <http://www.meteomes.cl/cronica1.htm>.

Contreras, Carmen Gloria. 2008. Estimation of Emissions from Residential Wood Combustion (RWC) in Chile. Conama -Swedish International Development Cooperation Agency (Sida).

Corporación Chile Ambiente. 2008. Desarrollo y Maximización del Potencial Estratégico de la Leña en la Matriz Energética Chilena. Comisión Nacional de Energía.

Corporación de Desarrollo Tecnológico & Cámara Chilena de la Construcción (CDT & CChC). 2010. Informe Final y Resumen Ejecutivo, Estudio de usos finales y curva de la oferta de conservación de la energía en el sector residencial. Santiago de Chile. 15 de Septiembre de 2010.

Diario La Discusión. 2012. “Censo: Chillán tiene 175.405 habitantes y Chillán Viejo crece por sobre el 31%”. La Discusión. 31 de agosto de 2012.

Díaz, L. 2014. “Estudio de prefactibilidad de proyectos de calefacción distrital con biomasa en zonas saturadas por MP 2,5 en Chile: Chillán y Temuco”, Talleres Calefacción distrital Temuco y Chillán, 24 y 25 de Septiembre de 2014.

Gabillet, P. 2014. Energy supply and urban planning projects: Analysing tensions around district heating provision in a French eco-district. *Energy Policy* 78 (2015): 189 - 197 pp.

Gowers, A., P. Cullinan, J. Ayres, H. Anderson, D. Strachan, S. Holgate, I. Mills & R. Maynard. 2012. Does outdoor air pollution induce new cases of asthma? Biological plausibility and evidence; a review. *Respirology* 2012 (17): 887–898 pp.

Henríquez, C. 2014. Modelando el crecimiento de ciudades medias: Hacia un desarrollo urbano sustentable. Ediciones Universidad Católica de Chile, Textos universitarios. Facultad de Historia, geografía y ciencias políticas 116-117 pp.

Herrera, D. 2015. El modelo CANVAS en la formulación de proyectos. *Cooperativismo & Desarrollo*, 23(107): 118-142 pp.

Huerta, M., J. Portela & A. Pastor. 2010. Calefacción urbana o de distrito, ¿un sistema energéticamente más sostenible?. Asociación española de Ingeniería Mecánica, XVIII Congreso de Ingeniería Mecánica (2010): 2 - 5 pp.

Ilustre Municipalidad de Chillán. 2014. Decreto N°202 / 2.446. Deroga ordenanza municipal que regula la protección del medioambiente y de la salud ambiental en la comuna de Chillán y aprueba la que indica. Ilustre Municipalidad de Chillán. 23 abril 2014. Chillán, Chile.

Ilustre Municipalidad de Chillán. 2015. Encuesta de percepción de factores ambientales en el marco del Sistema Nacional de Certificación Municipal.

Ilustre Municipalidad de Chillán. 2016. Decreto N°7458. Promulga modificación Plan Regulador Comuna de Chillán, Región del Bio Bio. Ilustre Municipalidad de Chillán, 07 de Julio de 2016.

Instituto Forestal & Comisión Nacional de Medio Ambiente (INFOR & CONAMA). 2005. Estudio del mercado de la leña en la ciudad de chillan. Informe final, Santiago, Chile.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). 2012. Compendio estadístico, estadísticas proyectadas Censo 2002. Instituto Nacional de Estadísticas, Gobierno de Chile.

Jensen M. 2013. Large Thermal Energy Storage at Marstal District Heating. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 3351 - 3354 pp.

Lund, H., B. Möller, B. Mathiesen & A. Dyrelund. 2009. The role of district heating in future renewable energy systems. Energy 35 (2010): 1381 - 1390 pp.

Manahan, S. 2007. Introducción a la Química Ambiental. Reverté, Barcelona (2007)401 p.

Ministerio de Hacienda. 2009. Ley 20.365. Establece franquicia tributaria respecto de sistemas solares térmicos. Diario oficial de la república 11 de agosto de 2009. Santiago, Chile.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA). 2011. Informe del Estado del Medio Ambiente, Segunda Edición, Santiago de Chile.

Ministerio de Medio Ambiente. 2012. Decreto N°12. Establece norma primaria de calidad ambiental para material particulado fino respirable MP 2,5. Diario Oficial de la República de Chile. 09 mayo 2011. Santiago, Chile.

Ministerio de Medio Ambiente. 2013. Decreto N°36. Declara zona saturada por material particulado respirable mp10 y por material particulado fino respirable MP2, 5, ambas como concentración diaria; y declara zona latente por material particulado respirable MP10, como concentración anual, a las comunas de Chillán y Chillán Viejo. Diario Oficial de la República de Chile. 25 marzo 2013. Santiago, Chile.

Ministerio de Medio Ambiente. 2016. Decreto N°48. Establece plan de prevención y descontaminación atmosférica para las comunas de Chillán y Chillán Viejo. Diario Oficial de la República de Chile. 28 marzo 2016. Santiago, Chile.

Ministerio de vivienda y urbanismo. 2010. Resolución 4603 Exenta. Fija funciones del departamento de comunicaciones, dependiente de la subsecretaria de vivienda y urbanismo.

Ministerio secretaria general de la presidencia de la Republica. 1994. Ley N°19.300. Ley sobre bases generales del Medio Ambiente. Diario Oficial de la República de Chile. 09 marzo 1994. Santiago, Chile.

Ministerio secretaria general de la presidencia de la Republica. 1998. Decreto N°59. Establece norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia. Diario Oficial de la República de Chile. 25 mayo 1998. Santiago, Chile.

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2014. Información regional 2014, Región del Bío Bío. ODEPA, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile 3p.

Organización mundial de la Salud (OMS). 2006. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. OMS, Organización Mundial de la Salud, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza.

Organización mundial de la Salud (OMS). 2013. IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. Organización Mundial de la Salud, 20 Avenue Appia, 1211 Ginebra 27, Suiza (221): 1 -3 pp.

POCH Ambiental S.A. 2010. Evaluación de alternativas de calefacción distrital para las comunas de Temuco y Padre Las Casas. Santiago, Chile. Gobierno Regional de la Araucanía.

Romero, H. & A. Vásquez. 2009. El crecimiento espacial de las ciudades intermedias chilenas de Chillán y Los Ángeles y sus impactos sobre la ecología de paisajes urbanos. "América Latina: sociedade e meio ambiente". CLACSO Livros, Departamento de Geografía, Universidad de São Paulo, Brasil 284p.

Seminario, J. 2012. Evaluación técnico económica de calefacción distrital en Punta Arenas, memoria para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico e Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Chile, Santiago (2012).

Sistema de Información Nacional de Calidad ambiental (SINCA). 2009. Redes de monitoreo en línea. Recuperado desde <http://sinca.mma.gob.cl/index.php/redes>.

Smith, K., J. Rogers, & S. Cowlin. 2005. Household fuels and ill-health in developing countries: what improvements can be brought by LP gas (LPG)? Paris, Francia, World LP Gas Association & Intermediate Technology Development Group.

Song, J., F. Walling, H. Li & B. Karlsson. 2015. Price Models of District Heating in Sweden. Energy Procedia 2016 (88): 100 - 105 pp.

Unidad de desarrollo Tecnológico (UDT). 2013. Calefacción distrital con Biomasa en Chile, Evaluación de prefactibilidad técnica, económica y social de proyectos piloto en Rancagua. Universidad de Concepción (2013): 41 p.

Universidad Católica de Temuco. 2009. Inventario de emisiones atmosféricas para las ciudades de Chillan y Los Ángeles. Unidad de Calidad del Aire, Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile.

Vera, S. & M.Ordenes. 2002. Evaluación del desempeño energí-termico de una vivienda social en Chile, utilizando un programa de simulación energética de edificios. Revista Ingeniería de Construcción 17(3): 133-142 pp.

Vergara, P. 2015. "Sobreexplotación forestal en Chile". Portal online Piensachile.com. Recuperado desde <http://piensachile.com/2015/11/sobreexplotacion-forestal-en-chile/>

Webb, J. 2014. Improvising innovation in UK urban district heating: The convergence of social and enviromental agendas in Aberdeen. Energy Policy 78 (2015): 265 - 272 pp.

Wissner, M. 2014. Regulation of district-heating systems. Utilities Policy 31 (2014): 63 - 73 pp.

World weather online. 2012. Recuperado desde <http://www.worldweatheronline.com/Chillan-weather-averages/Bio-Bio/CL.aspx>.

ANEXOS

Anexo A: Demanda térmica bruta para ACS

Tabla A.1. Demanda bruta de ACS

	N° de días	Temperatura de Agua de Red	QACS	QACS	
	Días	°C	[kWh]	[kWh] mes	
Enero	31	14,2	7,16	221,93	2,73 kW
Febrero	28	13,6	7,30	204,36	
Marzo	31	13,6	7,30	226,26	
Abril	30	12,1	7,65	229,42	
Mayo	31	11,5	7,79	241,39	
Junio	30	10,7	7,97	239,18	
Julio	31	10,4	8,04	249,32	
Agosto	31	11	7,90	244,99	
Septiembre	30	11,1	7,88	236,39	
Octubre	31	12,1	7,65	237,07	
Noviembre	30	13,1	7,41	222,45	
Diciembre	31	13,6	7,30	226,26	
total	365	12,3	91,35	2779,01	

Anexo B: Calculo de demanda térmica neta

Rse [m2K/W]	Rsi [m2K/W]				
0,05	0,12				
0,05	0,17				
0,05	0,09				
0,05	0,12				
Vivienda	Área suelo [m2]	Área Ventana [m2]	Área Muro [m2]	Área Techo [m2]	Volumen interno [m3]
1 planta	45	14,7	55,3	76,4	100

Tipo de superficie	Material	Espesor [m]	Conductividad térmica [W/mK]	
Muro	Yeso Cartón	0,004	0,1	0,04 [K/W]
	Cinc Aluminio	0,002	40	0,27 [K/W]
	Ladrillo Chonchon	0,13	0,49	0,27 [K/W]
	Poliestireno	0,05	0,038	1,32 [K/W]
	Fibrocemento	0,008	0,24	0,03 [K/W]
Suelo	Baldosa Cerámica	0,01	0,81	0,01 [K/W]
	Cemento	0,1	1,047	0,10 [K/W]
Techo	Pino Radiata	0,03	0,25	0,12 [K/W]
	Cinc Aluminio	0,002	40	0,00 [K/W]
	Lana Mineral	0,1	0,046	2,17 [K/W]
Ventana	Vidrio Simple	0,003	0,02	0,15 [K/W]

$$U = 1 / R_t \quad R_t = R_{se} + \sum e/k + R_{si}$$

[m2K/W] 2,09

[m2K/W] 0,33

U Muro

U Suelo

0,48 [W/m2K]

3,05 [W/m2K]

[m2K/W]	2,43	U Techo	0,41 [W/m2K]
[m2K/W]	0,32	U Ventana	3,13 [W/m2K]

$$Q[W] = U * A * \Delta T \quad \Delta T = (T_{int} - T_{ext}) \quad \Delta T = (293,15 - 265,15) ^\circ K$$

Q Muro	741,17 [W]
Q Suelo	1647,06 [W]
Q Techo	878,90 [W]
Q Ventana	1286,25 [W]
Qtotal	4553,38 [W]
	4,55 [kW]

Anexo C: Calculo de demanda solar y dimensionamiento de termopaneles

Tabla C.1. Modelos de acumulador y colector utilizados para dimensionamiento de SST

Producto	Marca	Modelo	Coefficiente global de perdida K1 [W/m ² °C]	Rendimiento óptico %	Área de absorción	Peso del colector	Presión Máxima	Dimensiones
Colector solar térmico	SOLEPANEL	AKHII 1800/58-20	2,31	71	1,607	82,35	9	1920x1692x150
Colector solar térmico	ANDATER	GF120NV	3,375	79,6	10,723	273,5	10	2062x5828x123
Acumulador	ENERGEN	200 L						
Acumulador	ENERGEN	15000 L						

Fuente: Elaboración propia en base a datos de SEC.

Tabla C.2. Cálculo de la demanda térmica y energía aportada del SST para caso 1

Meses	Temperatura de red [°C]	Factor modificador de la radiación incidente a una superficie inclinada para el mes i.	Radiación solar diaria - horizontal [kWh/m²]	Radiación solar diaria - inclinada 40° [MJ/m²]	Demanda térmica diaria [MJ/día]	Demanda térmica mensual [MJ/mes]	D_1	D_2	Fchart	Energía mensual aportada por el SST [MJ]	Contribución solar del SST [%]
Enero	14,20	0,90	219,09	22,88	20,63	639,61	1,15	1,5	0,8	511,96	80,0
Febrero	13,60	1,01	169,23	21,96	21,03	588,97	1,09	1,5	0,8	450,34	76,5
Marzo	13,60	1,20	147,94	20,60	21,03	652,07	1,02	1,5	0,7	472,97	72,5
Abril	12,10	1,44	97,06	16,76	22,04	661,18	0,79	1,4	0,6	386,95	58,5
Mayo	11,50	1,69	57,03	11,18	22,44	695,68	0,52	1,3	0,4	268,88	38,6
Junio	10,70	1,83	44,11	9,68	22,98	689,31	0,44	1,3	0,3	223,53	32,4
Julio	10,40	1,76	49,83	10,18	23,18	718,52	0,46	1,3	0,3	244,75	34,1
Agosto	11,00	1,52	75,09	13,24	22,78	706,06	0,61	1,3	0,5	321,38	45,5
Septiembre	11,10	1,26	111,87	16,90	22,71	681,28	0,77	1,3	0,6	393,21	57,7
Octubre	12,10	1,05	161,02	19,62	22,04	683,22	0,93	1,4	0,7	460,29	67,4
Noviembre	13,10	0,92	189,92	20,95	21,37	641,08	1,02	1,4	0,7	466,57	72,8
Diciembre	13,60	0,86	211,76	21,13	21,03	652,07	1,05	1,5	0,7	483,20	74,1
Promedio Anual	12,25	1,29	127,83	17,09	21,94	8009,05				4684,03	58,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla C.3. Calculo de la demanda térmica y energía aportada del SST para caso 2

Meses	Temperatura de red [°C]	Factor modificador de la radiación incidente a una superficie inclinada para el mes i.	Radiación solar diaria - horizontal [kWh/m²]	Radiación solar diaria - inclinada 40° [MJ/m2]	Demanda térmica diaria [MJ/día]	Demanda térmica mensual [MJ/mes]	D_1	D_2	Fchart	Energía mensual aportada por el SST [MJ]	Contribución solar del SST [%]
Enero	14,20	0,90	219,09	22,88	7407,09	229619,65	1,30	2,3	0,8	190585,2	83,0
Febrero	13,60	1,01	169,23	21,96	7551,38	211438,63	1,22	2,3	0,8	167889,6	79,4
Marzo	13,60	1,20	147,94	20,60	7551,38	234092,76	1,15	2,3	0,8	176332,6	75,3
Abril	12,10	1,44	97,06	16,76	7912,11	237363,42	0,89	2,1	0,6	144321,2	60,8
Mayo	11,50	1,69	57,03	11,18	8056,41	249748,65	0,58	2,1	0,4	98652,4	39,5
Junio	10,70	1,83	44,11	9,68	8248,80	247464,00	0,49	2,0	0,3	81216,6	32,8
Julio	10,40	1,76	49,83	10,18	8320,95	257949,35	0,51	2,0	0,3	89374,6	34,6
Agosto	11,00	1,52	75,09	13,24	8176,65	253476,24	0,68	2,0	0,5	119151,2	47,0
Septiembre	11,10	1,26	111,87	16,90	8152,60	244578,12	0,87	2,0	0,6	146945,9	60,1
Octubre	12,10	1,05	161,02	19,62	7912,11	245275,54	1,04	2,1	0,7	172053,8	70,1
Noviembre	13,10	0,92	189,92	20,95	7671,62	230148,73	1,15	2,2	0,8	174119,4	75,7
Diciembre	13,60	0,86	211,76	21,13	7551,38	234092,76	1,18	2,3	0,8	180161,3	77,0
Promedio Anual	12,25	1,29	127,83	17,09	7876,04	2875247,86				1740804,0	60,5

Fuente: Elaboración propia.

Anexo D: Calculo de emisiones de GEI

Tabla D.1 Emisiones para calefacción con DH

Combustible	Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg Leña)	Emisiones ton/año
Leña	MP	0,003200	0,621
	MP10	0,002880	0,559
	MP2,5	0,002430	0,472
	CO	0,006800	1,319
	NOX	0,000750	0,146
	VOC	0,000110	0,021
	SOX	0,000040	0,008
	NH3	1,10E-03	0,213
	Arsénico	9,80E-08	0,000
	Plomo	2,14E-07	0,000
	Benceno	1,87E-05	0,004
	Tolueno	4,10E-06	0,001
	CO2	1,03000	199,855

Tabla D.2 Emisiones para suministro de ACS planta de calefacción distrital

Combustible	Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg Leña)	Emisiones ton/año
Leña	MP	0,003200	0,068
	MP10	0,002880	0,061
	MP2,5	0,002430	0,052
	CO	0,006800	0,145
	NOX	0,000750	0,016
	VOC	0,000110	0,002
	SOX	0,000040	0,001
	NH3	1,10E-03	0,023
	Arsénico	9,80E-08	0,000
	Plomo	2,14E-07	0,000
	Benceno	1,87E-05	0,000
	Tolueno	4,10E-06	0,000
	CO2	1,03000	21,890

Tabla D.3 Emisiones totales planta de calefacción distrital

Combustible	Contaminante	Factor de Emisión [kg/kg Leña]	Emisiones DH [ton/año]	Emisiones Caso 1 [ton/año]	Emisiones Caso 2 [ton/año]
Leña	MP	0,003200	0,69	0,29	0,27
	MP10	0,002880	0,62	0,26	0,23
	MP2,5	0,002430	0,52	0,22	0,19
	CO	0,006800	1,46	0,61	0,54
	NOX	0,000750	0,16	0,07	0,06
	VOC	0,000110	0,02	0,01	0,01
	SOX	0,000040	0,01	0,00	0,00
	NH3	1,10E-03	0,24	0,10	0,09
	Arsénico	9,80E-08	0,00	0,00	0,00
	Plomo	2,14E-07	0,00	0,00	0,00
	Benceno	1,87E-05	0,00	0,00	0,00
	Tolueno	4,10E-06	0,00	0,00	0,00
	CO2	1,03000	221,74	92,02	82,36

Tabla D.4 Emisiones para calefacción individual por vivienda *

Combustible	Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg Leña)	Emisiones ton/año
Leña	MP	0,003200	0,75
	MP10	0,002880	0,67
	MP2,5	0,002430	0,57
	CO	0,006800	1,58
	NOX	0,000750	0,17
	VOC	0,000110	0,03
	SOX	0,000040	0,01
	NH3	1,10E-03	0,26
	Arsénico	9,80E-08	0,00
	Plomo	2,14E-07	0,00
	Benceno	1,87E-05	0,00
	Tolueno	4,10E-06	0,00
	CO2	1,03000	239,83

* Uso de estufa de combustión lenta

Tabla D.5 Emisiones para suministro de ACS para cada vivienda

*

Combustible	Contaminante	Factor de Emisión (kg/kg GN)	Emisiones ton/año
Gas natural	MP	0,000170	0,00
	MP10	0,000170	0,00
	MP2,5	0,000170	0,00
	CO	0,001890	0,04
	NOX	0,002260	0,04
	VOC	0,000120	0,00
	SOX	0,000280	0,01
	NH3	3,90E-08	0,00
	Arsénico	1,01E-05	0,00
	Benceno	1,07E-05	0,00
	Tolueno	1,73E-05	0,00
	CO2	1,03000	19,70
	Hg	3,03E-10	0,00

* Uso de Calefont

Tabla D.6 Emisiones totales para cada vivienda *

Combustible	Contaminante	Emisiones [ton/año]
Leña y Gas	MP	0,75
	MP10	0,67
	MP2,5	0,57
	CO	1,62
	NOX	0,22
	VOC	0,03
	SOX	0,01
	NH3	0,26
	Arsénico	0,00
	Plomo	0,00
	Benceno	0,00
	Tolueno	0,00
	CO2	259,52

* Uso de estufa de combustión lenta y Calefont

Anexo E: Cálculos costos de central

Tabla E.1 Resumen VAN casos proyecto de calefacción

Supuestos	VAN
Caso DH	\$ 27.068.714
Caso 1 SST por vivienda	-\$ 340.234.700
Caso 2 SST en central	\$ 263.713.415

Anexo E.2 Determinación de ingresos para proyecto

Tabla E.2.1 Determinación de ingresos de proyecto en base a consumo de combustible de viviendas

Estufas en vivienda: Consumo 1940,3 ton/año			
Calefactor [vivienda]	Calefactor [CR]	Combustible [año/vivienda]	Combustible [año/CR]
\$ 199.900	\$ 71.764.100	\$ 270.237	\$ 97.015.000
ACS: Consumo 76,50 ton/año			
\$ 59.900	\$ 21.504.100	\$ 213.092	\$ 76.500.000
Calefacción y ACS			
		\$ 483.329	\$ 173.515.000

Tabla E.2.2 Supuesto para evaluación económica

Periodo	20 años
Tasa de descuento	16%
Tasa de impuesto	17%
Costo biomasa \$/ton	\$ 50.000
Rendimiento de caldera	90%
Financiamiento	100%

Anexo E.3 Calculo económico para planta de calefacción distrital (DH).

Tabla E.3.1 Consumo de combustible caldera DH

Estufas en vivienda: Consumo 1940,3 ton/año	
Combustible [año/vivienda]	Combustible [año/CR]
\$ 270.237	\$ 97.015.000
ACS: Consumo 212,52 ton/año	
\$ 29.609	\$ 10.629.500
Calefacción y ACS	
\$ 299.845	\$ 107.644.500

Tabla E.3.2 Inversión proyecto planta DH

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario [\$]	Total [\$]
Terreno	m2	700	\$ 2.762,00	\$ 1.933.400,00
Caldera		1	\$ 120.000.000,00	\$ 120.000.000,00
Cañerías	m	app	\$ 10.000.000,00	\$ 10.000.000,00
Aislación matriz	m	app	\$ 2.500.000,00	\$ 25.000.000,00
Fitting	m	app	\$ 8.000.000,00	\$ 8.000.000,00
Mano de obra		1	\$ 10.000.000,00	\$ 10.000.000,00
Valvulas, intercambiador y accesorios de montaje		app	\$ 15.000.000	\$ 15.000.000
Accesorios en viviendas				
Radiadores	m	718	\$ 60.000	\$ 43.080.000,00
Total inversión				\$ 233.013.400,00
Costos mantención				\$ 5.000.000,00
Costos operación				\$ 5.500.000,00

Tabla E.3.3 Calculo VAN proyecto DH

Tasa de retorno	18%
1	-\$ 272.625.678
2	50990500
3	50990500
4	50990500

5	50990500
6	50990500
7	50990500
8	50990500
9	50990500
10	50990500
11	50990500
12	50990500
13	50990500
14	50990500
15	50990500
16	50990500
17	50990500
18	50990500
19	50990500
20	50990500
VAN	\$ 27.068.713,79

Anexo E.4 Calculo económico para DH con SST por vivienda (Caso 1)

Tabla E.4.1 Inversión SST vivienda

Material	Precio CLP\$
Acumulador	\$ 400.000,00
Colector solar	\$ 600.000,00
Sistema hidraulico	\$ 200.000,00
Sistema eléctrico	\$ 100.000,00
Soporte	\$ 120.000,00
Mano de obra	\$ 400.000,00
	\$ 1.820.000,00
Total conjunto	\$ 653.380.000,00

Tabla E 4.2 Calculo VAN proyecto con SST por vivienda

Caso 1	
TIR	9%
Años	
1	-\$ 1.035.787.662,00
2	\$ 118.342.533
3	\$ 118.342.533

4	\$	118.342.533
5	\$	118.342.533
6	\$	118.342.533
7	\$	118.342.533
8	\$	118.342.533
9	\$	118.342.533
10	\$	118.342.533
11	\$	118.342.533
12	\$	118.342.533
13	\$	118.342.533
14	\$	118.342.533
15	\$	118.342.533
16	\$	118.342.533
17	\$	118.342.533
18	\$	118.342.533
19	\$	118.342.533
20	\$	118.342.533

VAN

-\$ 340.234.700,16

Anexo E.5 Calculo económico para DH con SST central (Caso 2)

Tabla E.5.1 Inversión para proyecto SST central (Caso 2)

Material	Cantidad	Precio CLP\$ Unitario	Precio CLP\$ Total
Acumulador	4	\$ 2.000.000,00	\$ 8.000.000,00
Colector solar	52	\$ 2.500.000,00	\$ 130.000.000,00
Sistema hidráulico		\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
Sistema eléctrico		\$ 1.000.000,00	\$ 1.000.000,00
Soporte		\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
Mano de obra		\$ 3.000.000,00	\$ 3.000.000,00
		\$ 14.500.000,00	\$ 148.000.000,00

Tabla E.5.2 Calculo VAN Caso 2

Caso 2	
Tasa de retorno	27%
1	-\$ 444.493.062,00
2	120.495.422,50
3	120.495.422,50
4	120.495.422,50
5	120.495.422,50

6	120.495.422,50
7	120.495.422,50
8	120.495.422,50
9	120.495.422,50
10	120.495.422,50
11	120.495.422,50
12	120.495.422,50
13	120.495.422,50
14	120.495.422,50
15	120.495.422,50
16	120.495.422,50
17	120.495.422,50
18	120.495.422,50
19	120.495.422,50
20	120.495.422,50
VAN	\$ 263.713.414,89

Anexo F. Tabla de factores para dimensionamiento de radiadores.

Tabla F.1. Factores de corrección para dimensionamiento de radiadores Ocean

Temperatura de entrada de agua de circuito [°C]	Temperatura de salida de agua de circuito domestico [°C]	Temperatura ambiente de recinto a calefaccionar [°C]						
		10	12	15	18	20	22	24
90	85	0,72	0,73	0,77	0,82	0,85	0,88	0,92
	80	0,75	0,77	0,81	0,86	0,89	0,93	0,97
	75	0,78	0,81	0,85	0,90	0,94	0,98	1,03
	70	0,82	0,85	0,90	0,96	1,00	1,05	1,10
85	80	0,78	0,80	0,85	0,90	0,94	0,98	1,02
	75	0,82	0,84	0,89	0,95	0,99	1,04	1,08
	70	0,86	0,89	0,94	1,01	1,05	1,10	1,16
	65	0,90	0,94	1,00	1,07	1,12	1,18	1,24
80	75	0,86	0,88	0,94	1,00	1,05	1,10	1,15
	70	0,90	0,93	0,99	1,06	1,11	1,17	1,22
	65	0,95	0,98	1,05	1,13	1,19	1,25	1,32
	60	1,00	1,05	1,12	1,21	1,27	1,35	1,42
75	70	0,95	0,98	1,05	1,12	1,18	1,24	1,30
	65	1,00	1,04	1,11	1,19	1,26	1,33	1,40
	60	1,06	1,10	1,19	1,28	1,35	1,43	1,52
	55	1,12	1,18	1,27	1,38	1,47	1,56	1,66
70	65	1,04	1,09	1,18	1,27	1,34	1,42	1,50
	60	1,12	1,17	1,26	1,36	1,44	1,53	1,63
	55	1,19	1,25	1,35	1,47	1,57	1,67	1,79
	50	1,27	1,35	1,47	1,61	1,72	1,85	1,99
65	60	1,19	1,24	1,34	1,46	1,56	1,66	1,77
	55	1,27	1,33	1,44	1,58	1,68	1,80	1,94
	50	1,35	1,43	1,57	1,73	1,85	1,99	2,15
	45	1,47	1,55	1,72	1,91	2,07	2,24	2,44
60	55	1,35	1,42	1,55	1,70	1,82	1,96	2,11
	50	1,45	1,53	1,68	1,87	2,02	2,18	2,36
	45	1,57	1,67	1,85	2,07	2,24	2,45	2,68
	40	1,72	1,85	2,07	2,34	2,56	2,82	3,14
55	50	1,55	1,65	1,82	2,03	2,20	2,39	2,61
	45	1,69	1,80	2,01	2,26	2,46	2,69	2,98
	40	1,85	1,99	2,24	2,56	2,82	3,12	3,50
	35	2,07	2,24	2,56	2,97	3,32	3,76	4,32

50	45	1,82	1,95	2,20	2,49	2,73	3,02	3,36
	40	2,02	2,17	2,46	2,83	3,14	3,51	3,97
	35	2,24	2,45	2,82	3,30	3,72	4,24	4,92
	30	2,56	2,82	3,32	4,02	4,66	5,52	6,78

Fuente: En base a Seminario, 2012.

Anexo G: Tabla de conversión de la leña

Tabla G.1. Conversión de la Leña.

	ESPECIE															
	ROBLE		COIGÜE		EUCALIPTUS NITENS		EUCALIPTUS GLOBULUS		AROMO		RADAL		ULMO		LENGA	
	HUMEDAD (% BASE SECA)															
	25	35	25	35	25	35	25	35	25	35	25	35	25	35	25	35
FORMATO	CONTENIDO ENERGÉTICO (kWh)															
BOLO																
	1926	1634	1501	1370	1846	1637	2181	1932	1956	1669	1508	1329	2014	1791	1672	1622
M3ST																
	1770	1501	1379	1259	1696	1504	2004	1775	1797	1534	1386	1221	1850	1646	1537	1491
M3GRANEL																
	1354	1148	1054	963	1297	1150	1532	1357	1374	1173	1060	934	1415	1259	1175	1140
VARA																
	390	331	304	278	374	332	442	392	396	338	306	269	408	363	339	329
CARRETILLA																
	182	155	142	130	175	155	206	183	185	158	143	126	190	169	158	153
CANASTO																
	133	113	103	94	127	113	150	133	135	115	104	92	139	123	115	112

SACO-25 	115	97,1	89,2	81,4	110	97,3	130	115	116	99,3	89,7	79	120	107	99,4	96,5
SACO-15 	78,1	66,2	60,8	55,5	73,8	66,4	88,4	78,3	79,3	67,7	61,1	53,9	81,6	72,6	68,7	65,8
ASTILLA 	8,07	6,84	6,29	5,74	7,73	6,86	9,13	8,09	8,19	6,99	6,32	5,57	8,44	7,5	7	6,8

Fuente: Ministerio de Energía.