
Evaluación de soluciones tecnológicas térmicas y eléctricas, marco regulatorio e instrumentos

Calefacción distrital con biomasa en Chile **Evaluación de prefactibilidad técnica, económica y social** **de proyectos piloto en Rancagua**

Desarrollado por:



Para:



Septiembre de 2013

Prefacio

Este informe pertenece a una serie de documentos generados como resultado del estudio “Evaluación de soluciones tecnológicas térmicas y eléctricas, marco regulatorio e instrumentos”, en el marco de un Convenio de Cooperación y Transferencia de Recursos entre la Subsecretaría de Energía, la Subsecretaría del Medio Ambiente y la Universidad de Concepción.

El objetivo general del Convenio fue generar antecedentes que apoyaran una estrategia para el uso de energías limpias, mediante la introducción de modelos, sistemas eléctricos y térmicos eficientes y amigables con el medio ambiente, a objeto de colaborar con el mejoramiento de la calidad ambiental de zonas saturadas de nuestro país.

En específico, se buscó evaluar la prefactibilidad de implementar sistemas de calefacción distrital y/o cogeneración con biomasa en zonas saturadas del país, como medida para reducir los niveles de contaminación atmosférica generados por la combustión residencial de leña en condiciones inadecuadas, sin dejar de fomentar el uso de biomasa como un energético local y renovable.

Para ello, el estudio consideró la evaluación de los aspectos técnicos relacionados a la instalación de plantas de generación y distribución centralizada de calor, inversiones y costos asociados, factores de mercado y modelos de negocio, aspectos normativos atinentes a la instalación y operación de estos sistemas, revisión y propuesta de instrumentos de fomento para rentabilizar los proyectos, análisis de la tarifa de venta del servicio, evaluación de la rentabilidad privada y social, y evaluación del potencial de reducción de emisiones en las zonas afectadas.

El estudio se materializó en 7 documentos. Los dos primeros contienen los análisis de prefactibilidad técnica, económica y social para las ciudades de Rancagua y Osorno, respectivamente. Se incluyó en estos documentos, el estudio de la oferta de biomasa de las Regiones de O’Higgins y Los Lagos, el análisis de modelos de negocio para los proyectos piloto seleccionados, el proceso de selección de proyectos piloto en ambas ciudades, las

evaluaciones de requerimientos térmicos en viviendas y edificios, el diseño conceptual de los proyectos seleccionados, y la evaluación económica y social. El tercer documento corresponde al análisis del marco normativo vigente y propuestas de perfeccionamiento, mientras que el cuarto corresponde a la revisión de los mecanismos de fomento y propuesta de nuevos instrumentos. El quinto documento entrega una revisión de las tecnologías comercialmente disponibles para la combustión de biomasa y abatimiento de gases. Finalmente, el sexto y séptimo documento arrojan una evaluación de la reducción de emisiones de material particulado y otros contaminantes gaseosos, por la implementación de proyectos de calefacción distrital con biomasa en toda la expansión urbana de las ciudades de Rancagua y Osorno, respectivamente, en comparación a la situación actual proyectada a 12 años.

En resumen, los documentos que componen la serie “Calefacción distrital con biomasa en Chile” son:

1. Evaluación de prefactibilidad técnica, económica y social de proyectos piloto en Rancagua
2. Evaluación de prefactibilidad técnica, económica y social de proyectos piloto en Osorno
3. Marco normativo vigente y propuestas de perfeccionamiento
4. Barreras de mercado e instrumentos de fomento
5. Tecnologías para la combustión de biomasa, cogeneración y abatimiento de gases
6. Evaluación del potencial de reducción de emisiones en Rancagua
7. Evaluación del potencial de reducción de emisiones en Osorno

Equipo de trabajo

Equipo ejecutor

Director de proyecto: Alex Berg, Unidad de Desarrollo Tecnológico

Jefe de proyecto: Javier Soubelet, Unidad de Desarrollo Tecnológico

Ejecución general:

Javier Soubelet, Unidad de Desarrollo Tecnológico

José Rafael Trejos, Unidad de Desarrollo Tecnológico

Simulaciones energéticas:

Adelqui Fissore, Universidad de Concepción

Evaluación ambiental/social y caracterización del consumo de leña:

Jorge Jiménez, Universidad de Concepción

Contraparte técnica

Viviana Ávalos, División de Energías Renovables, Ministerio de Energía

Ximena Ubilla, División de Energías Renovables, Ministerio de Energía

Viviana Ubilla, Departamento de Normas, Ministerio del Medio Ambiente

Tabla de Contenidos

1	Introducción.....	1
2	Propósito del estudio	3
2.1	Objetivo general	3
2.2	Objetivos específicos	3
3	Antecedentes	4
3.1	Clima	4
3.2	Economía	6
3.3	Vivienda	7
3.4	Consumo de combustibles para calefacción y agua caliente sanitaria.....	7
4	Oferta de biomasa.....	9
4.1	Disponibilidad de biomasa según fuente	11
4.1.1	Plantaciones forestales	11
4.1.1.1	Perspectiva regional.....	11
4.1.1.2	Proveedores identificados	13
4.1.2	Plantaciones de árboles frutales.....	15
4.1.2.1	Perspectiva regional.....	15
4.1.2.2	Perspectiva provincial: Cachapoal	15
4.1.2.3	Proveedores identificados	18
4.1.3	Viñedos.....	19
4.1.3.1	Perspectiva regional.....	19
4.1.3.2	Perspectiva provincial: Cachapoal	19
4.1.3.3	Proveedores identificados	21
4.1.4	Agroindustria.....	21
4.1.4.1	Perspectiva regional.....	21

4.1.4.2	Proveedores identificados	23
4.1.5	Podas urbanas	24
4.1.5.1	Proveedores identificados	25
4.1.6	Bosque nativo.....	26
4.1.6.1	Perspectiva regional y provincial	26
4.1.6.2	Proveedores identificados	29
4.2	Selección de escenarios logísticos	30
4.2.1	Escenario 1: autogestión del abastecimiento	30
4.2.1.1	Origen y características de la biomasa	30
4.2.1.2	Costos logísticos	32
4.2.2	Escenario 2: Contrato a largo plazo con proveedores	37
4.2.2.1	Origen de biomasa	37
4.2.2.2	Características de la biomasa.....	38
4.2.2.3	Estimación de los costos logísticos	39
4.3	Comentarios finales	39
5	Identificación y selección de proyectos piloto	41
5.1	Metodología.....	41
5.2	Fuentes industriales.....	42
5.3	Nuevos proyectos inmobiliarios	43
5.4	Proyectos identificados.....	43
5.5	Proyecto mixto	46
5.5.1	Hospital Fusat.....	47
5.5.2	Clínica Isamedica	48
5.5.3	Condominio Alto del Valle.....	49
5.5.4	Supermercado Jumbo	50
5.6	Proyectos residenciales.....	50
5.6.1	Conjunto La Compañía	50
5.6.2	Condominio Samuel Román.....	52
5.6.3	Parque Viña Santa Blanca	53

6	Modelos de negocio	56
6.1	Estructura del modelo de negocio	56
6.1.1	Mercado objetivo	57
6.1.2	Producto/servicio	58
6.1.3	Cadena de valor	58
6.1.3.1	Energía primaria	58
6.1.3.2	Energía secundaria	58
6.1.3.3	Servicio de energía útil	59
6.1.3.4	Servicio de ahorro energético	59
6.1.4	Actividades clave	59
6.1.4.1	Abastecimiento de biomasa	59
6.1.4.2	Instalación, operación y mantenimiento del sistema	60
6.1.4.3	Contrato entre empresa de servicios y consumidor final	60
6.1.4.4	Mediciones, cobro y servicio post-venta	61
6.1.4.5	Promoción de la tecnología	61
6.1.5	Participantes	61
6.1.6	Estructura de ingresos y costos	64
6.1.6.1	Financiamiento	64
6.1.6.2	Sistema tarifario	65
6.2	Modelo de negocio para proyectos seleccionados	66
7	Requerimientos térmicos	69
7.1	Requerimientos residenciales	69
7.1.1	Metodología general de cálculo	69
7.1.1.1	Eficiencia térmica del sistema	69
7.1.1.2	Requerimiento de calefacción	70
7.1.1.3	Requerimiento de ACS	71
7.1.1.4	Potencia de generación	73
7.1.2	Resultados	74
7.1.2.1	Calefacción	74

7.1.2.2	Agua caliente sanitaria.....	75
7.1.2.3	Resumen requerimientos térmicos	76
7.2	Requerimientos proyecto mixto.....	78
7.2.1	Metodología general de cálculo.....	78
7.2.2	Hospital Fusat.....	80
7.2.3	Clínica Isamedica	81
7.2.4	Condominio Alto del Valle.....	82
7.2.5	Supermercado Jumbo	83
7.2.6	Resultados	84
7.2.6.1	Consumo térmico.....	84
7.2.6.2	Consumo eléctrico	86
8	Diseño conceptual de proyectos piloto	88
8.1	Metodología proyectos residenciales	88
8.1.1	Planta de generación.....	88
8.1.2	Red de distribución	89
8.1.3	Distribución al interior de los recintos.....	90
8.2	Resultados de proyectos residenciales	90
8.2.1	Planta de generación.....	90
8.2.2	Red de distribución de calor	92
8.2.3	Distribución al interior de las viviendas.....	92
8.3	Proyecto mixto	93
8.3.1	Central de generación	93
8.3.1.1	Alternativa 1: Planta térmica	94
8.3.1.2	Alternativa 2: Planta CHP.....	95
8.3.2	Red de distribución de calor y frío	98
9	Evaluación económica	100
9.1	Proyectos residenciales.....	100
9.1.1	Inversión inicial.....	100

9.1.1.1	Estudios de preinversión.....	100
9.1.1.2	Central térmica	100
9.1.1.3	Red de distribución de calor	102
9.1.1.4	Elementos de distribución de calor en viviendas	102
9.1.1.5	Resumen de inversión inicial	104
9.1.2	Costos de operación.....	104
9.1.3	Depreciaciones.....	106
9.1.4	Ingresos por ventas	106
9.1.4.1	Estructura de costos.....	106
9.1.4.2	Composición de la tarifa de venta	109
9.1.5	Rentabilidad privada	112
9.1.6	Rentabilidad social	113
9.2	Proyecto mixto	114
9.2.1	Alternativa 1.....	114
9.2.1.1	Producción	114
9.2.1.2	Costos de inversión	114
9.2.1.3	Costos de operación.....	117
9.2.1.4	Depreciaciones.....	117
9.2.1.5	Ingresos por ventas.....	117
9.2.2	Alternativa 2.....	119
9.2.2.1	Producción	119
9.2.2.2	Costos de inversión	123
9.2.2.3	Costos de operación.....	124
9.2.2.4	Depreciaciones.....	126
9.2.2.5	Ingresos por ventas.....	126
10	Conclusiones	128
	Referencias bibliográficas.....	130

ANEXOS	131
ANEXO A SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE VIVIENDAS EN PROYECTOS RESIDENCIALES	132
ANEXO B ANÁLISIS DE CARGAS HORARIAS EN CALEFACCIÓN PROYECTOS RESIDENCIALES	135
ANEXO C SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE EDIFICIOS PROYECTO MIXTO	140
ANEXO D ANÁLISIS DE CARGAS HORARIAS PROYECTO MIXTO.....	143
ANEXO E DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR.....	146
ANEXO F PÉRDIDAS DE CALOR EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR.....	153
ANEXO G CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN DISTINTOS ESCENARIOS DE CALEFACCIÓN.....	158
ANEXO H ESTIMACIÓN DE UNA TARIFA REFERENCIAL DE CALEFACCIÓN Y ACS	160
ÍNDICE DE TABLAS.....	162
ÍNDICE DE FIGURAS.....	166

1 Introducción

La biomasa es considerada como una energía renovable, limpia y neutra en huella de carbono si proviene de fuentes sustentables, por lo que su uso masivo sería altamente positivo para el país. Sin embargo, las condiciones actuales de su consumo no son las mejores. De la biomasa que se consume para calefacción residencial, prácticamente la totalidad corresponde a leña propiamente tal; la biomasa densificada representa un mercado aún muy reducido. La combustión de leña en condiciones inadecuadas se convierte en una fuente altamente contaminante. En efecto, ya se han detectado varias zonas del país con problemas de calidad del aire por altas concentraciones de material particulado respirable, producto de la mala combustión de leña.

El 3 de febrero del 2009, se promulga el D.S.N°7 que declara al Valle Central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins como zona saturada debido a la alta presencia de material particulado respirable MP10. El 5 de agosto de 2013, se publica en el Diario Oficial de la República, el Plan de Descontaminación Atmosférica para el Valle Central de la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins. En el Capítulo I, letra C, tabla 3, del mismo documento, se señala que la combustión residencial de leña es responsable del 35% de las emisiones anuales de MP10 y de un 37% de las emisiones anuales de MP2,5 en el Valle Central de la Región de O'Higgins.

Debido a la gravedad actual del problema, todas las fuentes de contaminación atmosférica deben ser intervenidas. En este sentido, la combustión residencial de leña en las condiciones actuales debe terminar radicalmente, aun cuando la promoción de la biomasa como energético sea de interés nacional. Esto genera un problema adicional, debido a que este combustible está muy arraigado en la comunidad, por su bajo costo en comparación a otras alternativas. Afortunadamente, existen soluciones tecnológicas que permitirían seguir utilizando biomasa leñosa como energético para calefacción y, al mismo tiempo, reducir significativamente los actuales niveles de contaminación atmosférica.

El problema principal en la combustión residencial de leña se debe a la dificultad en controlar todas las fuentes de emisión para que operen en condiciones correctas. Aun cuando los equipos de combustión fueran los adecuados y la leña estuviera en óptimas condiciones de humedad, la operación de los artefactos influye notablemente en la calidad de las emisiones. Los sistemas de calefacción conocidos internacionalmente como *district heating* (DH), o calefacción distrital (CD), entregan calor a un grupo de edificios o viviendas a partir de una sola central de combustión, debidamente operada y controlada,

pudiendo incorporar equipos de abatimiento de gases de escape, que permiten controlar las emisiones de material particulado hasta en un 99%.

En este estudio, se reportan los resultados de las evaluaciones de prefactibilidad técnico-económica de la instalación y operación de una red de calefacción distrital con biomasa en cuatro proyectos seleccionados en la ciudad de Rancagua. Asimismo, se reportan los resultados de la evaluación de la calidad del aire por la implementación de sistemas de calefacción distrital con biomasa en las zonas de expansión urbana de la ciudad.

2 Propósito del estudio

2.1 Objetivo general

El objetivo general del estudio es determinar, en términos cuantitativos y cualitativos, los costos y los beneficios económicos, ambientales y sociales de instalar sistemas de calefacción distrital con biomasa en la ciudad de Rancagua.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, se definieron los siguientes:

- Determinar la disponibilidad de biomasa en la Región de O'Higgins, para abastecer plantas de calefacción distrital en la ciudad de Rancagua.
- Identificar los sectores más recomendables, desde un punto de vista técnico, para la instalación de sistemas de calefacción distrital con biomasa dentro de la ciudad de Rancagua.
- Evaluar los modelos de negocio más adecuados para los proyectos piloto seleccionados.
- Evaluar los requerimientos térmicos de los proyectos piloto seleccionados y dimensionar el tamaño de una planta térmica para suministrar el calor requerido.
- Determinar los costos de inversión y operación de un sistema de calefacción distrital con biomasa para los proyectos piloto seleccionados.
- Determinar la tarifa a cobrar por el servicio de venta de calor y agua caliente sanitaria.
- Determinar los beneficios en salud y el VAN social asociado, producto de la disminución de emisiones de material particulado en el largo plazo, por la implementación de proyectos de calefacción distrital con biomasa.

3 Antecedentes

La Región del Libertador Bernardo O'Higgins se ubica en la zona central del país. De acuerdo al Censo 2012 preliminar del Instituto Nacional de Estadística, su población es de 877.784 habitantes, de los cuales 620.245 (71%) habitan en zonas urbanas y 257.539 (29%) en zonas rurales.

La ciudad de Rancagua se ubica en el valle central de la Región del Libertador Bernardo O'Higgins, al norte de la provincia de Cachapoal. Es la capital regional y el principal centro urbano de la región, con una población de 232.524 habitantes (25% de la población regional) y con una dinámica económica basada en la industria minera y la agricultura.

Las plantaciones frutícolas y forestales son los cultivos con mayor superficie ocupada en la región, con una cobertura del 27% y 25%, respectivamente, con respecto a la superficie total de la región. Otros dos cultivos importantes son los cereales y los viñedos, con un 19% y 12% de cobertura cada uno.

La superficie de las explotaciones forestales asciende a 434.610 hectáreas, las que representan un 6,5% del total de explotaciones forestales del país. De éstas, un 62,3% corresponde a bosque nativo.

3.1 Clima

Su clima predominante es de tipo templado mediterráneo, con variaciones de acuerdo a la topografía. En la costa se presenta nuboso, mientras que en el interior experimenta fuertes contrastes térmicos, debido a la sequedad. Las precipitaciones son mayores en la costa y en la Cordillera de los Andes, debido a que el relieve no permite la entrada a los vientos húmedos oceánicos (BCN 2010).

En el litoral, predomina el clima templado nuboso, caracterizado por una mayor humedad y abundante nubosidad, debido a la influencia oceánica. En la depresión intermedia, predomina un clima templado mediterráneo cálido, con una estación seca de seis meses y un invierno lluvioso. A medida que se asciende por la cordillera, las temperaturas descienden bajo los cero grados en los meses de invierno. Sobre los 3.500 metros de altura se pasa al clima frío de altura con predominio de nieves eternas (BCN 2010).

Las precipitaciones alcanzan cifras cercanas a los 823,5 mm, casi el doble de las registradas en Valparaíso. La temperatura media anual alcanza a los 12,6° C y la amplitud térmica anual es de 4,8° C y la diaria de 6,4° C.

En la ciudad de Rancagua, se observan temperaturas máximas promedio mensuales que van desde los 16° C hasta los 31° C y temperaturas mínimas promedio mensuales que van desde los 2° C hasta los 12° C (ver gráfico a continuación).

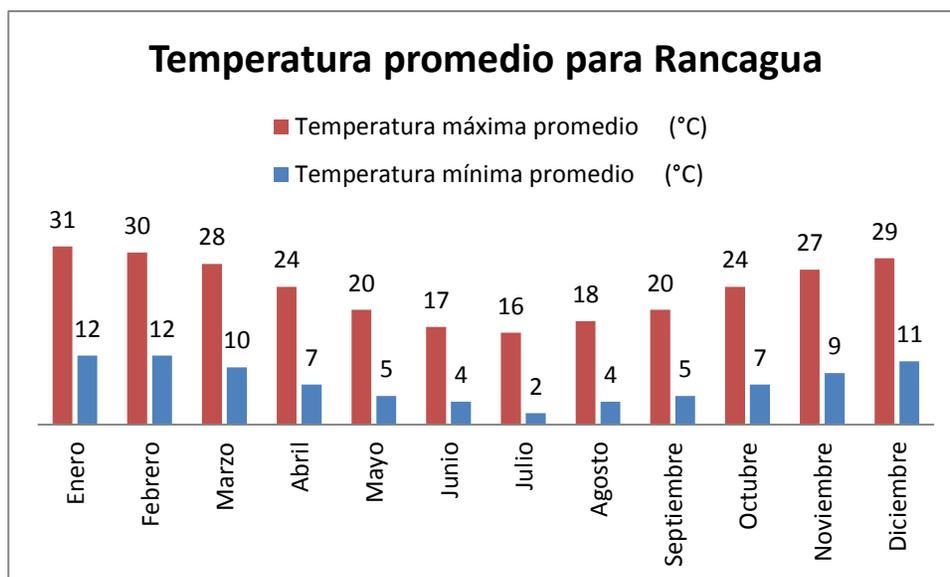


Figura 3.1: Gráfico de temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales para la ciudad de Rancagua

Fuente: World Weather Online

Las precipitaciones en Rancagua alcanzan los 67 mm en promedio, durante el mes de junio, mientras que en enero sólo alcanzan los 2 mm (ver gráfico a continuación).

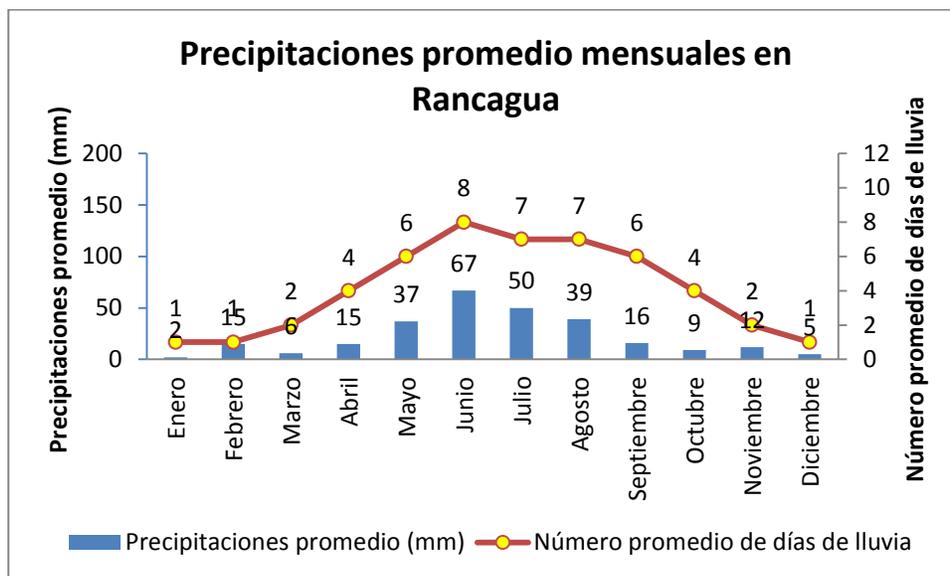


Figura 3.2: Gráfico de precipitaciones promedio mensuales y número promedio de días de lluvia para la ciudad de Rancagua

Fuente: World Weather Online

3.2 Economía

La Región de O'Higgins es la principal región frutícola del país. Se destaca la existencia de grandes cultivos industriales, dedicados a la producción de frutales para la exportación y el cultivo de vides, las que son usadas casi en su totalidad para la producción de vino. La Industria agropecuaria-silvícola representa el 22% del PIB (2009), mientras que la industria manufacturera representa el 14% del PIB regional (2009).

La región se caracteriza por su fuerte desarrollo agropecuario, gracias a la fertilidad de sus suelos y clima. A pesar de que es una de las regiones con menor superficie del país (2% del total nacional), concentra el 11,43% de las hectáreas cultivadas de Chile. Según el VII Censo Agropecuario (2007), la región posee el 28% de la superficie cultivada de viñas y parronales viníferos, y el 24% de la superficie plantada de árboles frutales del total país. Otro aspecto a destacar es la importancia económica que significa la actividad agropecuaria-silvícola para la región, la cual aportó en el año 2011¹, 498.019 millones de pesos, equivalente al 12% del producto interno bruto (PIB) regional. La industria minera representó el 28%, y la industria manufacturera el 12% del PIB regional.

¹ Banco Central de Chile (2011)

3.3 Vivienda

La comuna de Rancagua tiene un total de 76.725 viviendas, de acuerdo a cifras entregadas por el Censo 2012 preliminar. El 58% de las viviendas son del tipo pareado, 21% son casas no pareadas y un 20% son departamentos en edificios.

Tipo de vivienda	N° Viviendas	Porcentaje
Casa no pareada (independiente)	16.078	21%
Casa pareada	44.210	58%
Departamento en edificio	15.688	20%
Otras	749	1%
Total	76.725	100%

Tabla 3.1: Tipos de vivienda en la comuna de Rancagua

Fuente: Censo 2012 preliminar, INE

3.4 Consumo de combustibles para calefacción y agua caliente sanitaria

Para conocer más información sobre el consumo de combustibles para calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), se consultó los resultados del Censo 2012 preliminar del INE. Las fuentes energéticas más utilizadas en los hogares de la comuna de Rancagua, son la parafina (o petróleo), el gas y la leña (o derivados), con una participación del 37%, 25% y 23%. Para el caso de los hogares tipo casa, la parafina (o petróleo) se mantiene como el combustible más utilizado. La leña pasa a ser el segundo combustible en popularidad, seguido del gas. La tendencia cambia más sensiblemente para el caso de los departamentos, en donde la parafina sigue siendo el combustible más utilizado para la calefacción, con un 41% de participación, seguido del gas (30%) y de la electricidad (13%). Es interesante destacar que, para el caso de los departamentos, se registró un 15% que no utiliza combustibles para la calefacción.

Combustible	Todos los hogares		Casas		Departamentos	
	N°	%	N°	%	N°	%
Gas	17.819	25%	13.913	24%	3.818	30%
Parafina o petróleo	26.210	37%	20.816	36%	5.197	41%
Leña o derivados	16.391	23%	16.094	28%	141	1%
Carbón	184	0%	167	0%	0	0%
Electricidad	4.338	6%	2.659	5%	1.651	13%
Energía solar	19	0%	18	0%	1	0%
Otro	137	0%	87	0%	48	0%
Ninguno	5.658	8%	3.466	6%	1.953	15%
Total	70.756	100%	57.220	100%	12.809	100%

Tabla 3.2: Combustibles utilizados para la calefacción en Rancagua

Fuente: Censo 2012 preliminar, INE

En lo que respecta al agua caliente sanitaria (ACS), el gas es el combustible más utilizado tanto en las casas como en los departamentos con una participación del 92% y 86% respectivamente. La electricidad pasa ser el segundo energético más utilizado.

Combustible	Todos los hogares		Casas		Departamentos	
	N°	%	N°	%	N°	%
Gas	64.068	91%	52.664	92%	11.064	86%
Parafina o petróleo	52	0%	33	0%	18	0%
Leña o derivados	417	1%	364	1%	0	0%
Carbón	24	0%	23	0%	0	0%
Electricidad	1.676	2%	1.095	2%	537	4%
Energía solar	154	0%	151	0%	1	0%
Otro	189	0%	126	0%	47	0%
Ninguno	4.176	6%	2.764	5%	1.142	9%
Total	70.756	100%	57.220	100%	12.809	100%

Tabla 3.3: Combustibles utilizados para el ACS en Rancagua

Fuente: Censo 2012 preliminar, INE

4 Oferta de biomasa

La oferta de biomasa en la Región de O'Higgins se analizó a partir de tres fuentes principales:

- Biomasa residual lignocelulósica de origen agrícola
- Biomasa lignocelulósica de origen silvícola
- Biomasa residual lignocelulósica de origen agroindustrial

Las principales fuentes de biomasa residual agrícola corresponden a rastrojos de cereales, residuos de poda de plantaciones frutícolas, y viñas.

La biomasa residual de la silvicultura comprende las trozas, ramas, hojas y corteza de plantaciones forestales.

Otras fuentes evaluadas fueron los residuos secos agroindustriales y la biomasa residual de las podas urbanas.

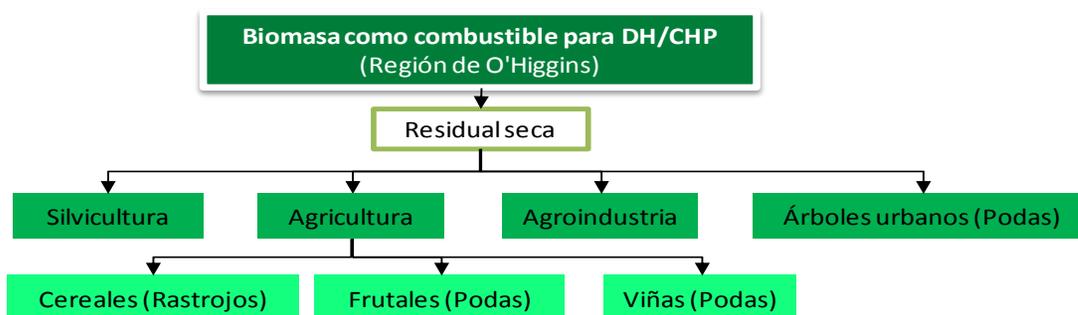


Figura 4.1: Fuentes de biomasa evaluadas

Fuente: elaboración propia

Las plantaciones frutícolas y las plantaciones forestales son los cultivos con mayor superficie ocupada en la Región, con una cobertura del 27% y 25% de la superficie utilizada con fines agrícolas y silvícolas, respectivamente. Otros dos cultivos importantes son los cereales y los viñedos, con un 19% y 12% de cobertura cada uno.

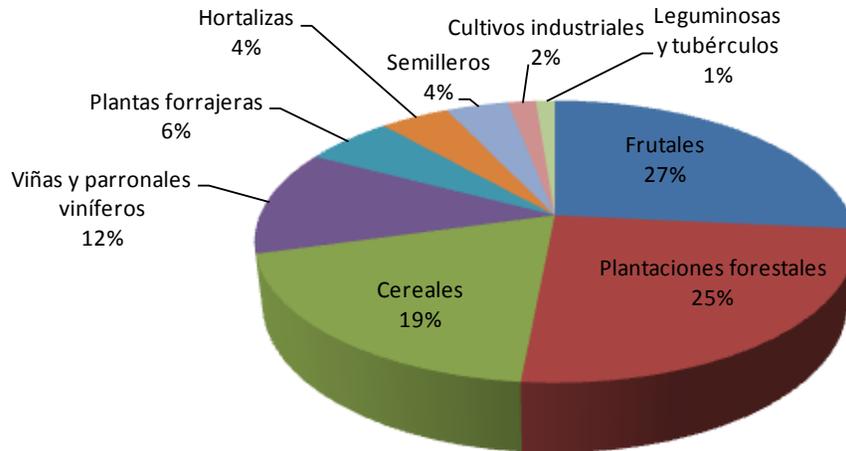


Figura 4.2: Distribución de tipos de cultivos en la Región de O'Higgins

Fuente: Censo Agropecuario 2007

En la provincia de Cachapoal, cuya capital es la ciudad de Rancagua, la importancia relativa a la superficie utilizada con fines agrícolas de cada cultivo sufre sensibles variaciones con respecto al escenario regional. El tipo de cultivo más importante sigue siendo las plantaciones de árboles frutales (45%). El segundo tipo de cultivo más importante son los cereales, con una cobertura relativa del 23%. Las viñas son el tercer cultivo en importancia (9%) y finalmente se tienen las plantaciones forestales que alcanzan apenas el 4% de cobertura relativa.

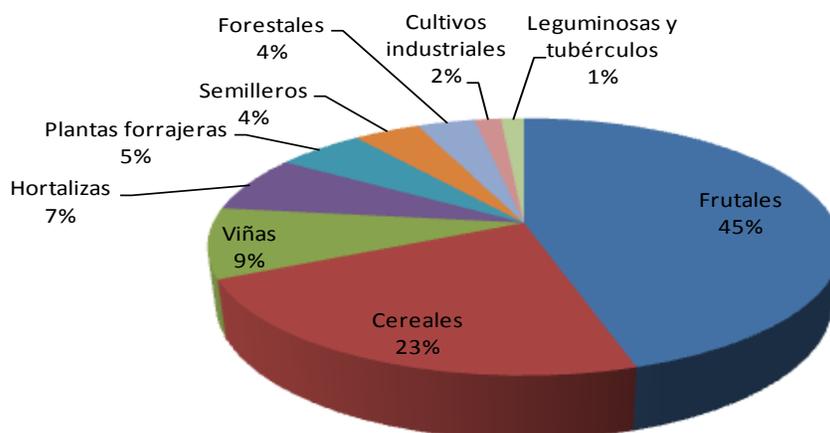


Figura 4.3: Distribución de tipos de cultivos en la Provincia de Cachapoal

Fuente: Censo Agropecuario 2007

4.1 Disponibilidad de biomasa según fuente

En esta sección, se analiza el potencial de biomasa relacionado a las plantaciones forestales, actividades agrícolas, bosque nativo y arborización urbana de la Región de O'Higgins. Se desea conocer la disponibilidad de biomasa con características adecuadas para su utilización como combustible en las plantas generadoras de los sistemas de calefacción distrital.

4.1.1 Plantaciones forestales

La biomasa proveniente de plantaciones forestales se puede obtener directamente de la cosecha o como residuo de la industria de la madera. Para estimar la disponibilidad de biomasa proveniente de la cosecha, se analizó la estructura, localización y propiedad de las plantaciones forestales en la Región de O'Higgins y en la Provincia de Cachapoal. El análisis de los residuos industriales se realizó a partir de información recolectada de los aserraderos localizados en la ciudad de Rancagua.

4.1.1.1 Perspectiva regional

En lo que respecta al uso de suelo, el 23% de la superficie de la Región de O'Higgins está cubierta por bosques, de los cuales un 39% corresponde a plantaciones forestales. Ahora, si se compara la superficie productiva de la región, las plantaciones forestales representan el 25% de la superficie (INE 2007). Según INFOR (2008), las principales especies forestales son el pino radiata y el eucalytus globulus, con una participación del 59% y 33% respectivamente. En la Provincia de Cachapoal, las especies forestales más comunes son el eucalyptus globulus y el álamo, con una participación del 42% y 34% respectivamente.

El 74% de las plantaciones forestales en la Región se localizan en la provincia de Cardenal Caro, destacando las comunas de Paredones, Pichilemu y Marchihue. Según datos del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal del INE (2007), la provincia de Cardenal Caro posee 104.476 hectáreas, mientras que las provincias de Colchagua y Cachapoal cuentan con 30.161 y 6.387 hectáreas de plantaciones forestales, respectivamente.

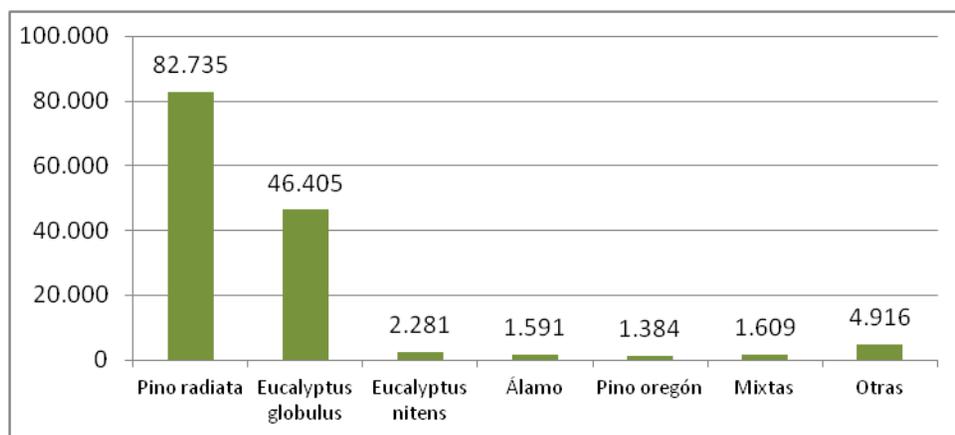


Figura 4.4: Estimación de la superficie regional de plantaciones forestales (ha)

Fuente: "Programa permanente de actualización de plantaciones forestales", INFOR (2008)

Provincia	Hectáreas	% Relativo
Cardenal Caro	104.476	74%
Colchagua	30.161	21%
Cachapoal	6.387	5%
TOTAL	141.023	100%

Tabla 4.1: Superficie regional de plantaciones forestales por provincia

Fuente: VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, INE (2007)

La propiedad de las plantaciones forestales de la Región de O'Higgins pertenece a:

- pequeños propietarios, con un patrimonio menor a las 200 ha;
- medianos propietarios, con un patrimonio entre las 200 ha y las 5.000 ha;
- empresas medianas, con un patrimonio entre las 5.000 ha y las 30.000 ha;
- empresas grandes, con un patrimonio mayor a las 30.000 ha.

Para el año 2010, INFOR contabilizó 1.294 pequeños propietarios, 58 medianos propietarios, 2 empresas medianas y 1 empresa grande.

4.1.1.2 Proveedores identificados

Comercializadores de biomasa:

El principal comercializador de biomasa de la Región de O'Higgins es TIRSA, empresa que forma parte del Grupo de Empresas COIPSA. TIRSA se dedica a la gestión de residuos de madera y agroindustria. Su principal cliente es la planta de generación de Energía Pacífico en San Francisco de Mostazal, a la que suministra 300.000 toneladas húmedas de biomasa al año. Ofrece astillas de madera de pino radiata y residuos de aserradero, entre otros tipos de biomasa residual.

Comercializadores de leña:

La leña tiene un papel importante dentro de la matriz energética de las 11 comunas incluidas dentro de la zona saturada del Valle Central de la Región de O'Higgins. Según EULA (2010), la fuente de biomasa más utilizada son las plantaciones forestales de eucalipto con un 45,5% de participación, por delante de la leña de árboles frutales (33%). Un total del 56,5% de los hogares de 11 comunas del valle central utiliza leña para la calefacción. En este mismo estudio, se identificaron 59 oferentes de leña de origen forestal, de los cuales la totalidad ofrece leña de eucalyptus y un 11%, leña de aromo.

Aserraderos forestales:

Según datos de INFOR (2011), existen 17 aserraderos a nivel regional con capacidad de producción mayor a 2.000 m³ anuales: 11 en Cardenal Caro, 3 en Colchagua y 3 en Cachapoal. El 70% corresponde a aserraderos permanentes. La comuna con mayor cantidad de aserraderos es Marchihue, con un total de 8. La comuna de Marchihue se encuentra a 115 km de la ciudad de Rancagua.

La tabla 4.2 resume las características de los principales aserraderos a nivel regional. El aserradero con mayor capacidad es Forestal Regional, con una capacidad de producción de 75.000 m³ sólidos sin corteza anuales, y se localiza en la comuna de Marchihue.

Centrales de astillado:

Según se publicó en el Anuario Forestal 2010 de INFOR, las dos principales centrales de astillado que se encontraban en funcionamiento en el año 2009 eran Virutas de Madera S.A. (89.100 m³/año) y Emsefor Ligna (90.000 m³/año), ambas localizadas en la comuna de Marchihue, a 115 km de Rancagua. Otras dos empresas que poseen un sistema de

astillado, pero integrado al aserradero, son las empresas Forestal Regional y Ferbas. Esta última fabrica pallets y cajas, y tiene despuntes y aserrín como residuos. Todas las centrales de astillado procesan pino radiata.

Aspecto		Cantidad	Porcentaje (%)
Tipo de aserradero	Móvil	5	29%
	Permanente	12	71%
Capacidades	2.001-3.000 m ³	5	29%
	3.001-5.000 m ³	5	29%
	5.001-10.000 m ³	4	24%
	10.001-20.000 m ³	2	12%
	50.001-100.000 m ³	1	6%
Especie	Pino radiata	16	94%
	Álamo ²	4	24%

Tabla 4.2: Síntesis de las características de los aserraderos en la Región de O'Higgins

Fuente: Directorio de la Industria Forestal Chilena, INFOR 2012

Nombre	Tipo	Capacidad (m ³ /año) ³	Especie	Comuna
Virutas de Madera	Central de astillado	90.000	Pino radiata	Marchihue
Emsefor Ligna	Central de astillado	90.000	Pino radiata	Marchihue
Forestal Regional	Integrado a aserradero	20.000-50.000	Pino radiata	Marchihue
Ferbas	Integrado a aserradero	Menos de 10.000	Pino radiata	Coltauco

Tabla 4.3: Centrales de astillado en funcionamiento (2011)

Fuente: Directorio de la Industria Forestal Chilena, INFOR 2012

² Tres aserraderos procesan ambas especies: pino radiata y álamo. Sólo un aserradero procesa exclusivamente álamo.

³ No se especifica si son m³ estéreo o m³ sólidos.

Empresa de gestión de residuos forestales:

INDEF (Biomasa Chile) es una empresa chilena con 20 años de operación, que presta servicios silvícolas y procesamiento de biomasa forestal. Actualmente, procesan 3,0 millones de m³/año estéreos, la mayoría bajo contratos de largo plazo. Tienen 9 líneas de producción con capacidad instalada de 4 millones m³/año estéreos. Suministran biomasa a 10 centrales de generación y cogeneración de las compañías forestales más grandes y generadoras de energía.

4.1.2 Plantaciones de árboles frutales

Las plantaciones de árboles frutales requieren, generalmente, de un periodo de poda al año, con el objetivo de asegurar una mejor renovación de la madera frutal. En este proceso, se genera una cantidad importante de biomasa residual, cantidad que depende de la especie cultivada.

4.1.2.1 Perspectiva regional

A nivel regional, las plantaciones más importantes según superficie cultivada son los ciruelos, manzanos y durazneros, con 10.860 ha (18%), 10.244 ha (17%) y 7.396 ha (12%) respectivamente. Estos tres cultivos representan cerca del 50% de la superficie destinada para las plantaciones de árboles frutales. Otros cultivos de importancia son los cerezos, olivos y kiwis.

4.1.2.2 Perspectiva provincial: Cachapoal

Gran parte de las plantaciones regionales de manzanos (74%), durazneros (91%) y ciruelos (54%) se encuentran en la provincia de Cachapoal.

Otros cultivos importantes en la provincia son los cerezos, nectarinos y kiwis.

Manzano

Duraznero

Ciruelo



Figura 4.5: Principales plantaciones de frutales en la provincia de Cachapoal

Fuente: elaboración propia

Se consideraron en esta parte del estudio todos los tipos de plantaciones frutícolas que se encuentran en las 19 comunas de la región del Libertador Bernardo O’Higgins. Las tasas de generación de residuos de poda por hectárea se tomaron del estudio “Mapeo Integrado de la Oferta y Demanda de Dendroenergía (WISDOM)”, liderado por la FAO e INFOR. En este estudio, se establecen coeficientes de generación de residuos de poda por hectárea para las principales plantaciones frutales de la región: duraznero (2 t/ha/año) y manzanos (1,4 t/ha/año). Para estimar los residuos de poda de los ciruelos y cerezos, se utilizó el coeficiente de los manzanos⁴. Los datos fueron aportados por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).

Con el propósito de estimar la cantidad de residuos de podas de las plantaciones frutícolas que estarían disponibles en zonas cercanas a la ciudad de Rancagua, se trazaron tres radios de cercanía (20 km, 30 km y 40 km). Los resultados pueden verse en la figura 4.6.

⁴ Voivontas et al (2001) consideran los siguientes rendimientos de generación de residuos de poda: manzano (4,77 t/ha/año), duraznero (5,61 t/ha/año), cerezos (5,11 t/ha/año) y olivos (2,82 t/ha/año). Las unidades están expresadas en toneladas húmedas. Se consideraron los valores de INIA, por ser más conservadores.

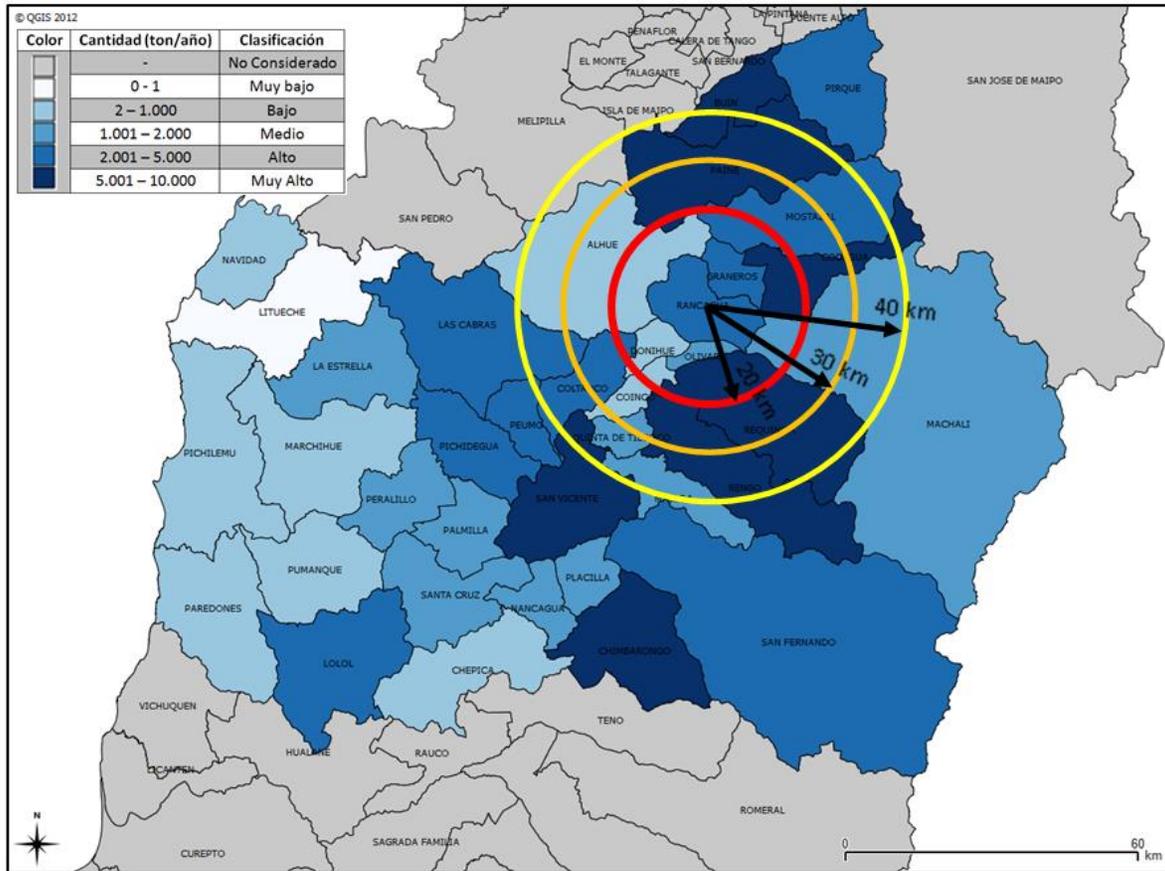


Figura 4.6: Radios de disponibilidad de residuos de podas de plantaciones frutales

Fuente: elaboración propia en base a Censo Agropecuario 2007

La disponibilidad teórica de residuos de poda según radio de cobertura se presenta en la tabla 4.4.

	Radio (Km)	Disponibilidad (ton/año base seca)
Zona 1	20	41.395
Zona 2	30	80.300
Zona 3	40	138.916

Tabla 4.4: Cantidad de biomasa disponible según radio considerado

Fuente: elaboración propia

Además de los residuos generados por las podas anuales, se aprovecha también la biomasa residual que queda de las limpiezas de predios, cuando las plantaciones de árboles frutales ya cumplieron su vida útil o van a ser repuestas por otra especie. Esta biomasa suele utilizarse como leña.

4.1.2.3 Proveedores identificados

Algunos de los proveedores de biomasa de árboles frutales identificados se describen a continuación.

Comerciantes de astillas de madera proveniente de árboles frutales:

La empresa TIRSA ofrece a sus clientes, astillas de madera proveniente de despejes y podas de árboles frutales. La biomasa residual se astilla en el mismo predio una vez que está recolectada. Posteriormente, transportan las astillas al contenedor móvil, en el que se transportan hasta la planta de generación. Los residuos de poda de árboles frutales representan el 10% de la matriz de biomasa de este proveedor.

Comercializadores de leña:

Según EULA (2010), en las 11 comunas incluidas dentro de la zona saturada del Valle Central de la Región de O'Higgins, se identificaron 46 oferentes de leña de árboles frutales.

Empresas agrícolas:

La empresa Viña La Roncière tiene 17 predios que suman un total de 568 hectáreas. Están distribuidos en las comunas de San Fernando, Rancagua, Graneros, Olivar y Coltauco. La mayor parte de la superficie de los predios está dedicada a viñedos, con un total de 312 hectáreas. Existen otras viñas importantes en la Región que no entregaron información. Las asociaciones de propietarios de plantaciones frutales tampoco entregaron información.

4.1.3 Viñedos

4.1.3.1 Perspectiva regional

A nivel regional, el sector de las viñas y vides de mesa representa cerca del 12% del total de hectáreas plantadas. La provincia de Cachapoal posee el 43% de las plantaciones de viñas y vid de mesa de la Región de O'Higgins, ocupando el segundo lugar después de la provincia de Colchagua.

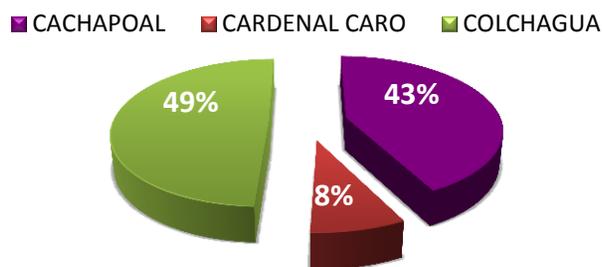


Figura 4.7: Distribución de la superficie cubierta por viñas y vid de mesa por provincia

Fuente: elaboración propia en base a Censo Agropecuario y Forestal de 2007

4.1.3.2 Perspectiva provincial: Cachapoal

De acuerdo a la superficie plantada para viña y vid de mesa reportada en el VII Censo Agropecuario y Forestal del año 2007, y utilizando el valor más conservador de la tasa de producción de biomasa residual por hectárea reportada en la metodología WISDOM, que se estima en 6 toneladas por hectárea, se calcula la disponibilidad de biomasa de este tipo para tres radios distintos de cercanía a la comuna de Rancagua. Los resultados se muestran en la figura 4.8 y las cifras se reportan en la tabla 4.5.

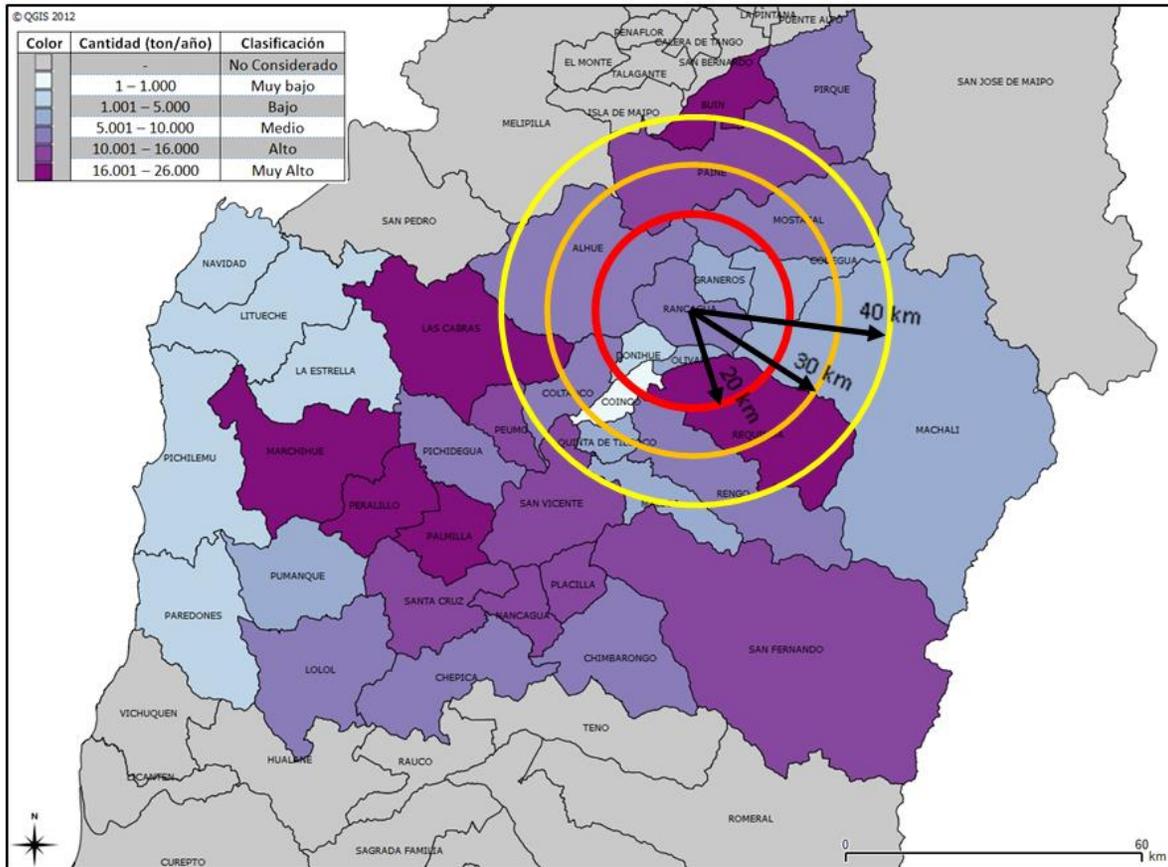


Figura 4.8: Radios de disponibilidad de residuos de podas de viñas y vides de mesa

Fuente: elaboración propia

	Radio (Km)	Cantidad total de biomasa disponible (ton/año base seca)
Zona 1	20	25.110
Zona 2	30	49.376
Zona 3	40	86.921

Tabla 4.5: Biomasa de viña y vid de mesa disponible en el radio de la comuna de Rancagua

Fuente: elaboración propia

4.1.3.3 Proveedores identificados

Se entrevistaron 5 empresas vitivinícolas, con superficies entre las 60 y 624 hectáreas, todas declaran incorporar los residuos al suelo. Otro uso reportado fue la producción de compostaje.

4.1.4 Agroindustria

La agroindustria genera importantes cantidades de residuos sólidos. En el 2010, se entrevistaron 176 industrias como parte de la “Actualización del Catastro de la Agroindustria Hortofrutícola Chilena”, de las que sólo 112 conocía la cantidad de residuos sólidos que se generan anualmente. Según los resultados del estudio, se generan 1.755.036 ton/año de residuos sólidos⁵, de las cuales el 54% es generado por la industria de congelados y el 40% por la industria aceitera.

4.1.4.1 Perspectiva regional

El sector agroindustrial de la Región de O’Higgins está conformado por 38 plantas de producción⁶: 10 de aceite de oliva, 6 de congelados, 3 de conservas, 3 de jugos y 16 de deshidratados.

Como parte del catastro realizado en el 2010, se le consultó a las plantas industriales el volumen de residuos sólidos que generan anualmente. Con la información recopilada, se obtuvo el total de residuos sólidos generados por año. Las plantas de aceite de oliva generan 23.738 ton/año, mientras que la única planta conservera que entregó información, reportó 14.000 ton/año de residuos⁷.

Con respecto al acceso a esta fuente de biomasa, se observa que el 50% de las plantas agroindustriales de la Región de O’Higgins se encuentran localizadas a lo largo de la Ruta 5. Otro número importante se encuentra en la carretera que conecta la ciudad de San Fernando con Santa Cruz. En lo que respecta a la industria del aceite de oliva, 8 de las 10 plantas se encuentran hacia la costa, específicamente en las comunas de Lolol, Pumanque y Peralillo, en la provincia de Colchagua, y Marchigue y La Estrella en la provincia de Cardenal Caro. En la figura 4.9, se presentan las localizaciones de las 38 plantas consideradas en el estudio.

⁵ No se especifica si el volumen está expresado en base seca o húmeda. Se presume que es en base húmeda.

⁶ Según datos del Directorio de la Agroindustria Hortofrutícola Chilena 2011.

⁷ No se especifica si el volumen está expresado en base seca o húmeda. Se presume que es en base húmeda.

	Plantas en O'Higgins	Plantas que entregan información	Residuos sólidos generados (ton/año) ⁸
Aceite	10	7	23.738
Congelados	6	No se especifica	4.266
Conservas	3	1	14.000
Deshidratados	17	8	8.427
Jugos	3	No se especifica	5.400

Tabla 4.6: Plantas que reutilización los residuos para generación energética

Fuente: Directorio de la Agroindustria Hortofrutícola Chilena 2011, ODEPA

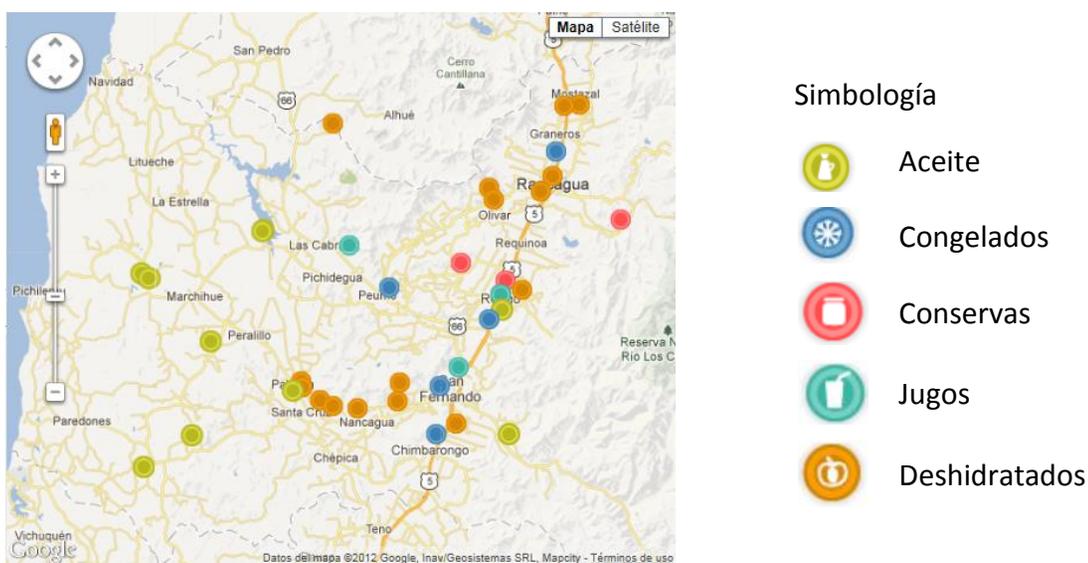


Figura 4.9: Localización de las plantas agroindustriales de la Región de O'Higgins

Fuente: Directorio de la Agroindustria Hortofrutícola Chilena 2011

Los residuos secos considerados en este informe, por su volumen y disponibilidad, son los cuescos de duraznos, de ciruelas y de aceitunas, además del orujillo de aceitunas.

Con respecto a los cuescos de ciruelas, la empresa agroindustrial Fruandex S.A., dedicada a la producción de frutas deshidratadas, comercializa el subproducto del cuesco de ciruelas limpio con un precio que oscila entre los \$7 y \$10 por kilogramo. La cantidad que obtienen son aproximadamente 40 toneladas de cuescos de ciruela mensuales. La

⁸ Mismo comentario anterior.

empresa comercializa actualmente este subproducto, pero sin un contrato de por medio. Se informó que estarían dispuestos a asegurar la disponibilidad de éste a través de la firma de un contrato.

El cuesco del durazno que se utiliza es el del durazno conservero, debido a que los otros tipos de cuescos de duraznos contienen una alta cantidad de azúcares, lo que complica su manejo, pues una vez iniciado el proceso de combustión se convierte en miel y cae sobre la parrilla de la caldera.

Del proceso de producción de aceite de oliva, se generan dos subproductos: el orujillo y el cuesco de la aceituna. El orujillo representa el 40% del residuo del proceso de extracción del aceite a partir de las aceitunas⁹. Así, de acuerdo a la producción de la empresa que proporcionó la información, se obtiene una cantidad de 13.000 toneladas húmedas de residuos, es decir, 5.200 toneladas de orujillos al año y 7.800 toneladas de huesos de aceituna. Actualmente, el precio de venta es de \$30/kg de hueso de aceituna y \$10/kg de orujillo seco.

En la tabla siguiente, se presenta una estimación de la cantidad de biomasa identificada, consultada sólo a una empresa por cada tipo de residuo, por lo que la cantidad disponible puede ser superior a la presentada.

Tipo de residuo	Disponible (ton/año base húmeda)
Cuesco de ciruela	480
Cuesco de durazno	2.600
Cuesco de aceituna	7.800
Orujillo de aceituna	5.200

Tabla 4.7: Disponibilidad de los residuos del sector de la agroindustria.

Fuente: elaboración propia

4.1.4.2 Proveedores identificados

Agroindustrias:

Se identificaron 6 empresas agroindustriales que generan residuos de cuescos de carozos y huesos de aceituna que pueden ser aprovechados como combustible. Se trata de las

⁹ Información entregada por el Gerente General de Almazara Olivos del Sur.

empresas Fruandex Ltda., Agrofoods Central Valley Chile S.A., Agrocomercial Las Tinajas Ltda., Patagonia Fresh (Planta de San Fernando), Almazara Olivos del Sur, Almazara Díaz Guerrero y Agrocomercial e Industrial Valle Arriba.

Almazara Olivos del Sur comercializa el 100% del orujo y el hueso de aceituna para ser aprovechado como combustible para hornos y calderas. Generan aproximadamente 13.000 toneladas de residuos secos al año. Este residuo se caracteriza por su elevado poder calorífico y su bajo nivel de humedad, sin embargo, la planta de generación debe estar diseñada especialmente para su combustión.

Otros proveedores:

La empresa TIRSA gestiona residuos de cuescos de carozos y huesos de aceituna, los que representan el 10% del volumen total del mix.

4.1.5 Podas urbanas

La poda de los árboles en los espacios públicos de las ciudades es responsabilidad de las municipalidades, dado que una de sus funciones, según los artículos 3 y 25 de la Ley 18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades (2002) es el aseo y ornato, y la construcción, conservación y administración de las áreas verdes de la comuna.

La poda contempla el manejo del arbolado urbano, tales como poda de despeje de luminarias, empalmes domiciliarios, despeje de zonas de tránsito peatonal elevado a 2,5m de altura y podas de raíz.

Trabajos realizados	Intervenciones
Poda de raíz	108
Poda despeje señalética en general	135
Poda despeje infraestructura urbana	118
Extracciones especies vegetales secas o irremediamente enfermos	162

Tabla 4.8: Trabajos realizados por la Municipalidad de Rancagua en árboles municipales

Fuente: Informe de Gestión del año 2009

Un estudio técnico realizado por la Dirección de Gestión Ambiental de la Ilustre Municipalidad de Rancagua, iniciado el año 2009 y continuado consecutivamente hasta la fecha, estableció la existencia de 13.537 árboles en la vía pública en los sectores

catastrados de la comuna, de los cuales 2.253 son declarados con estado mecánico o fitosanitario malo, por lo cual se requiere extracción.

En la figura 4.10, se presenta la estimación de la cantidad de biomasa que se generó en años anteriores, considerando una densidad estéreo de 300 kg/m³.

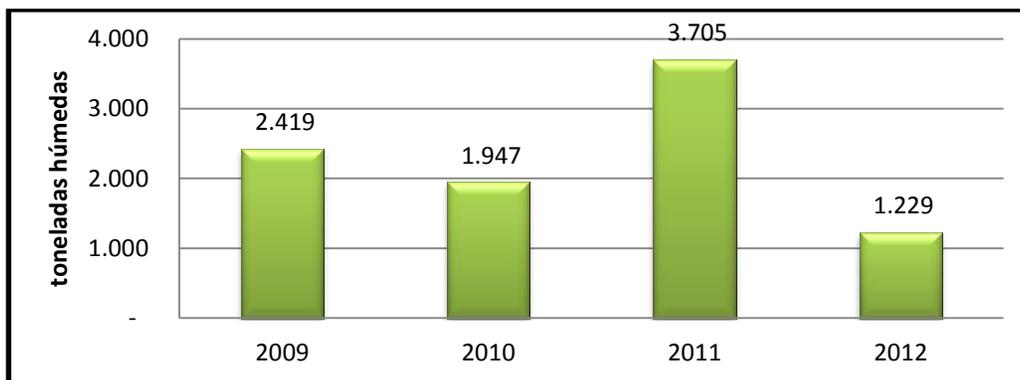


Figura 4.10: Estimación de residuos de poda generados en Rancagua

Fuente: Dirección de Gestión Ambiental de la Ilustre Municipalidad de Rancagua (2012)

En cuanto a la estacionalidad, las podas municipales se realizan, principalmente, entre los meses de mayo y agosto de cada año. El resto del año, sólo se realizan trabajos menores.

4.1.5.1 Proveedores identificados

Municipalidades:

La Municipalidad de Rancagua trata estos residuos como desechos y está interesada en encontrar algún uso para abaratar los costos de disposición, además de aumentar su capacidad de manipulación. Otras municipalidades con iguales intereses son aquellas que depositan los desechos en el relleno sanitario La Yesca: Codegua, San Francisco de Mostazal, Machalí, Graneros, Olivar, Requínoa, Rengo, Quinta de Tilco, Doñihue y Coínco. Todas estas municipalidades tienen problemas para disponer los residuos de poda y está buscando alternativas viables.

Empresas procesadoras y comercializadoras de biomasa:

INDEF (Biomasa Chile) es una empresa chilena con 20 años de operación, que presta servicios silvícolas y procesamiento de biomasa forestal. La empresa está interesada en

ofrecer servicios de procesamiento, almacenamiento y comercialización de biomasa residual de podas urbanas para abastecer sistemas de energías renovables no convencionales que se ubiquen en la ciudad y zonas aledañas.

4.1.6 Bosque nativo

EL bosque nativo representa el 81% de la cobertura boscosa de Chile, alcanzando una superficie de 13,6 millones de hectáreas (CONAF, 2011), distribuidas en la zona central y sur del país. La mayor parte del bosque nativo chileno son especies renovales (61%), mientras que el 30% es bosque primario. El 71% del bosque nativo es propiedad privada, principalmente compañías medianas y pequeños propietarios (INFOR 2012). El 29% restante, es propiedad pública que se gestiona a través de las reservas y parques nacionales.

4.1.6.1 Perspectiva regional y provincial

En la Región de O'Higgins, el bosque nativo representa el 77% de la cobertura boscosa regional. El dominio del bosque nativo sobre las plantaciones forestales aumenta en los alrededores de Rancagua, alcanzando un 98% y un 99,6% de la cobertura boscosa de la Provincia de Cachapoal y de la comuna de Rancagua, respectivamente.

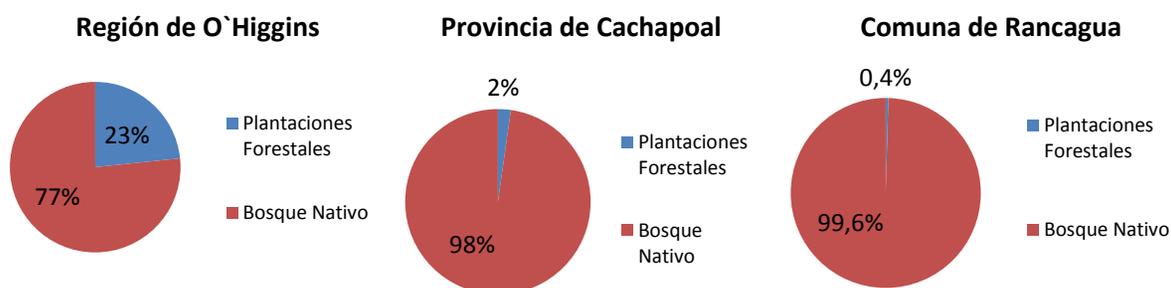


Figura 4.11: Distribución de la cobertura boscosa

Fuente: INE (2007)

Según INFOR (2012), la cosecha actual de biomasa del bosque nativo es de 14.500.000 metros cúbicos por año. Se espera que el manejo de los bosques nativos mejore

significativamente a corto, mediano y largo plazo, para mejorar la producción de madera de alta calidad y biomasa residual para generación de energía térmica y eléctrica.

Plazo	Superficie productiva (ha)	Cosecha (m ³)
Corto	2.000.000	16.000.000
Mediano	3.000.000 – 4.000.000	28.000.000
Largo	7.500.000	45.000.000

Tabla 4.9: Proyección de la cosecha de manejo sostenible de bosque nativo

Fuente: INFOR (2012)

La principal apuesta del sector es la aprobación de la Ley de Fomento Forestal, la cual busca fomentar la forestación de especies nativas, multifuncionales, que permitan recuperar los terrenos degradados e impedir la desertificación. Se busca proveer incentivos principalmente a los pequeños y medianos productores.

Según CONAF (2012)¹⁰, en la Región de O'Higgins se han aprobado 62 planes de manejo de bosque nativo durante el 2011, representando una superficie de 1.225 ha, y 56 planes en el año 2012, equivalente a una superficie de 2.187 ha. En total, 3.412 hectáreas se encuentran sometidas a planes de manejo.

En la Provincia de Cachapoal, se han aprobado 19 planes durante el año 2011, con una superficie de 354 ha, y 19 planes de manejo en 2012, con una superficie de 878 ha, totalizando 1.232 ha.

¹⁰ Patricio Jorquera, Oficina Regional de CONAF, Región de O'Higgins.

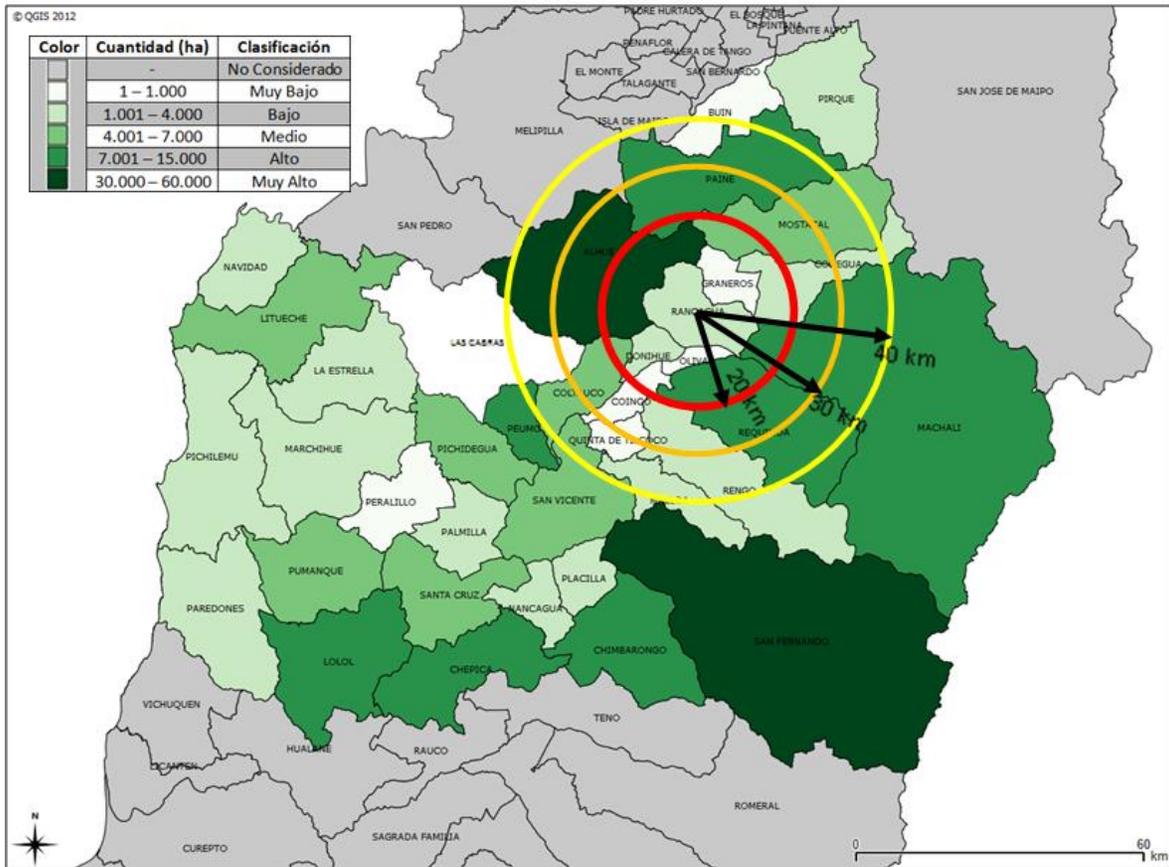


Figura 4.12: Distribución del bosque nativo de la Región de O'Higgins

Fuente: INE 2007

Con relación a los volúmenes de cosecha anual, esto dependerá del tipo forestal del que se trate y del producto que se vaya a obtener de la misma. En la sexta región, el tipo forestal que se explota es el esclerófilo, donde los volúmenes cosechados corresponden principalmente a las especies *Peumus boldus* y *Quillaja saponaria*, conocidas popularmente como Boldo y Quillay, respectivamente. La biomasa que se obtiene del boldo son las ramas y hojas, y la cosecha se realiza aproximadamente cada 5 años. En lo que respecta al Quillay, se obtiene desde 1 a 3 toneladas húmedas de corteza y ramas por hectárea. El período de cosecha es también cada 5 años.



Boldo (*Peumus boldus*)



Quillay (*Quillaja saponaria*)

Figura 4.13: Especies nativas más comunes en la Provincia de Cachapoal

Fuente: INE 2007

Respecto de los volúmenes aprovechables como energía, es factible utilizar los residuos de explotación, sobre todo en la especie boldo, ya que, luego de extraer las hojas, queda un volumen interesante de leña en el bosque, la que tiene excelentes características, principalmente por la baja emisión de contaminantes durante su combustión.

Los montos de leña por hectárea son muy variables, dada la gran heterogeneidad del tipo forestal esclerófilo, en cuanto a su composición florística como a las densidades y cobertura de las distintas especies que lo conforman.

Dependiendo de los objetivos del manejo, es posible contemplar la ejecución de podas, ya sea para obtención de madera libre de nudos (en bosques del sur, principalmente) o podas de formación con fines de facilitar el acceso a los rodales (para fines turísticos o silvopastoriles, por ejemplo). Cualquiera que sea el objetivo, efectivamente se genera una serie de residuos que pueden utilizarse para combustible o bien deben ordenarse para disminuir el peligro de incendios forestales.

4.1.6.2 Proveedores identificados

Se identificó un pequeño número de comercializadores de leña de origen nativo. A pesar de que es un recurso abundante en la provincia de Rancagua, con un 98% del total de la superficie cubierta por bosque, sólo el 4% de los comercializadores de leña identificados en EULA (2010), ofrecen leña proveniente de especies nativas.

La explotación del bosque nativo está condicionada a la autorización y vigencia de un plan de manejo por parte de CONAF. Por ejemplo, en la Provincia de Cachapoal, sólo se han aprobado 38 planes de manejo que cubren 1.232 ha.

4.2 Selección de escenarios logísticos

Se establecieron 2 escenarios logísticos para suplir los requerimientos de biomasa de proyectos de calefacción distrital en la ciudad de Rancagua. La definición de los escenarios se basa en el análisis de la disponibilidad teórica de biomasa, características de la biomasa identificada y proveedores identificados. Con base en estos aspectos, los escenarios definidos son:

- autogestión del abastecimiento
- contrato a largo plazo con proveedor

4.2.1 Escenario 1: autogestión del abastecimiento

En este escenario, la Empresa de Servicio Energéticos toma bajo su gestión el proceso logístico para obtener la biomasa y transformarla en el formato requerido por la planta de generación. Para esto, se analiza la disponibilidad de biomasa desde su origen y se estiman los costos de procesamiento en cada una de sus etapas, hasta su disposición final en planta.

4.2.1.1 Origen y características de la biomasa

En la tabla 4.10, se establecen las fuentes de biomasa y el rango de distancia desde el origen hasta la planta de generación.

En la tabla 4.11, se entrega una caracterización de las distintas fuentes de biomasa estudiadas, a partir de la base de datos *ECN Phyllis*, que reúne los análisis de las propiedades energéticas y químicas derivadas de la combustión de una gran variedad de biomásas.

Tipo de biomasa			Fuente de biomasa	Distancia (km)
Urbano	Podas	Árboles en áreas públicas	Municipalidad de Rancagua y comunas cercanas: Codegua, San Francisco de Mostazal, Machalí, Graneros, etc.	2 - 100
Agrícola	Despeje y podas	Árboles frutales	Superficie plantada en Cachapoal (del total regional): manzanos (74%), durazneros (91%) y ciruelos (54%)	10-40
	Industria	Cuescos de carozos	Fruandex, Agrofoods Central Valley, La Roncière y Patagonia Fresh	15 - 30
		Hueso de aceituna	Almazara Olivos del Sur	90
Forestal	Cosecha	Pino radiata	El 74% de las plantaciones se localizan en la provincia Cardenal Caro (Paredones, Pichilemu y Marchihue)	115 – 180
		Eucalyptus		
	Residuos de cosecha	Pino radiata		
		Eucalyptus		
Industria	Astillas (chips)	Virutas de Madera S.A. y Emsefor Ligna	115	

Tabla 4.10: Fuentes de biomasa identificadas para el Escenario 1

Fuente: elaboración propia

Origen	Tipo	Nombre	%CH (b.h.)	PCI (kcal/kg)	PCI (kWh/kg)	Densidad (kg/m ³)	Contenido de cenizas
Urbano	Astillas de podas urbanas		35%	2.545	2,96	340	3,98%
Agrícola	Despeje y podas	Árboles frutales	35%	2.530	2,94	340	6,86%
	Agroindustria	Cuescos de carozos	10%	4.140	5,43	200	0,96%
		Hueso de aceituna	7%	4.725	5,60	689	22,80%
Forestal	Cosecha	Pino radiata	35%	2.833	3,29	340	0,48%
		Eucalyptus	35%	2.391	2,78	340	1,50%
	Residuos de cosecha	Pino radiata	35%	2.800	3,26	340	1,06%
		Eucalyptus	35%	2.525	2,94	340	1,12%
	Industria	Astillas (chips)	35%	2.800	3,26	340	0,48%

Tabla 4.11: Características de biomasa identificada en Rancagua

Fuente: Adaptado de ECN Phyllis

4.2.1.2 Costos logísticos

La estimación del precio de la biomasa se realizó a partir de la valoración económica del proceso logístico, según las distintas biomásas seleccionadas para el análisis.

El proceso logístico se compone de cuatro etapas: recolección de la biomasa, tratamiento, almacenamiento de la biomasa procesada y transporte hasta la planta de generación.



Figura 4.14: Proceso logístico de la biomasa

Fuente: elaboración propia

Biomasa forestal:

Se clasifica como biomasa de origen forestal a aquella que proviene de madera de cosecha, residuos de cosecha y residuos de aserraderos.

El cálculo del costo de las operaciones de la cosecha forestal se realizó con base a los resultados de una evaluación técnico económica de la cosecha y astillado de bosques de eucalipto localizados en la comuna de Mulchén, Región del Biobío, realizado por la Universidad Austral de Chile (Jaramillo, 2005). En este estudio, se obtuvieron los siguientes costos en dólares (USD) por metro cúbico (sólido). Con base en el costo en pesos chilenos¹¹ y la densidad básica respectiva¹², se obtuvo el costo por tonelada húmeda (50% b.h.) de las especies forestales Pino radiata (400 kg/m³), Eucalyptus globulus (530 kg/m³) y Eucalyptus nitens (470 kg/m³).

¹¹ Tipo de cambio considerado fue de 500 pesos por dólar estadounidense.

¹² Información proporcionada por Xavier Carrión, Trans Pacific Fiber S.A.

		Costo (CLP/ton)			
		Volteo	Madereo	Astillado	Total
Costo por metro cúbico sólido					
(1)	Costo (USD/m ³)	0,68	1,36	6,55	8,59
(2)	Costo (CLP/m ³)	340	670	3.275	4.295
Costo por tonelada húmeda (CLP/ton)					
(3)	Pino radiata	850	1.675	8.188	10.738
(4)	Eucalyptus globulus	642	1.264	6.179	8.104
(5)	Eucalyptus nitens	723	1.426	6.968	9.138

Tabla 4.12: Costos logísticos de la cosecha forestal

Fuente: Universidad Austral de Chile (2005)

Residuos de cosecha forestal:

En lo que respecta al cálculo de los costos de las operaciones de recolección y tratamiento de residuos forestales, se tomó como referencia la publicación de IDAE (2008). Según IDAE (2008), el proceso logístico para la recolección de residuos forestales está conformado por las operaciones de amontonado, astillado y carga.

Operación	Rango	Costo (euros/ton b.h.)	Costo total (pesos/ton b.h.) ¹³
Amontonado	Valor único	16,54	11.578
Astillado	Máximo	10,21	7.147
	Medio	6,91	4.837
	Mínimo	6,76	4.732
Carga	Máximo	8,9	6.230
	Medio	6,84	4.788
	Mínimo	2,61	1.827
Total	Máximo	35,65	24.955
	Medio	30,29	21.203
	Mínimo	25,91	18.137

Tabla 4.13: Costos logísticos del procesamiento de residuos de cosecha de pino

Fuente: IDAE (2008)

¹³ Tipo de cambio considerado fue de 700 pesos por euro.

El rango de costos totales del procesamiento de residuos de cosecha de eucalipto va desde los 21,52 euros/ton a los 30,66 euros/ton, es decir en un rango de 15.064 – 21.462 pesos/ton.

Residuos de podas de árboles frutales

El proceso logístico para los residuos de podas de árboles frutales está compuesto por las operaciones de corte/poda, apilado de residuos y astillado con equipo móvil. Se utilizaron como referencia los costos del proceso logístico de los residuos de cosecha forestal. Los costos de poda y/o corte se asumen costos hundidos, ya que el agricultor debe ejecutar estas operaciones en cualquier caso. Para el cálculo del costo de astillado con equipo móvil, se corrigió el costo calculado para el proceso de cosecha forestal, utilizando una densidad de 340 kg/m³ estéreo.

Residuos de podas de árboles urbanos

El proceso logístico para los residuos de podas de árboles urbanos está compuesto por las operaciones de corte y recolección de residuos, transporte a planta de astillado y el astillado con equipo fijo. Para el cálculo del costo de astillado con equipo fijo, se corrigió el costo calculado para el proceso de cosecha forestal, utilizando una densidad de 340 kg/m³ estéreo. Todos los demás costos se asumen costos hundidos, ya que la municipalidad debe ejecutar estas operaciones en cualquier caso.

Residuos de la agroindustria

Los costos de los residuos agroindustriales están compuestos únicamente por los costos de adquisición.

Tipo de biomasa	Costo de adquisición (CLP/ton)
Cuesco de durazno	8.000
Hueso de aceituna	30.000
Cuesco de ciruela	8.000
Orujillo de aceituna	10.000

Tabla 4.14: Costos de residuos de la agroindustria

Fuente: Fruandex S.A. y Olivos del Sur S.A.

Costos totales

A los costos de disposición y tratamiento, se agregan costos de transporte, considerando un costo estándar de \$1.000/km que varía según el tipo de transporte de cada biomasa, y costos de almacenamiento, estimados en 11 USD/ton seca¹⁴. El objetivo del almacenamiento es reducir el contenido de humedad de un 50% a un 35%, aproximadamente. Los costos totales de adquisición de cada tipo de biomasa considerada en el análisis, bajo el escenario logístico 1, se indican en la tabla 4.15.

¹⁴ Wendt, Lynn et al. Idaho National Laboratory (2008)

Origen	Tipo de Biomasa	Adquisición (\$/ton)	Recolección (\$/ton)	Transporte (\$/ton)	Almacenamiento (\$/ton)	Total	
						(\$/ton)	(USD/ton)
Despeje y podas de árboles frutales	Árboles frutales	0	21.203	1.307	2.750	25.260	51
	Cuesco de durazno	8.000	0	1.111	0	9.111	18
Agroindustria	Hueso de aceituna	30.000	0	2.899	0	32.899	66
	Cuesco de ciruela	8.000	0	593	0	8.593	17
	Orujillo de aceituna	10.000	0	3.333	0	13.333	27
Madera de cosechas	Pino	16.000	10.738	3.922	2.750	33.410	67
	Eucalyptus	19.024	8.104	3.922	2.750	33.800	68
Residuos de cosecha	Residuo forestal	0	21.203	3.922	2.750	27.875	56
	Astillas de podas urbanas	0	9.084	163	2.750	11.997	24

Las unidades de volumen se expresan en toneladas base húmeda.

Tabla 4.15: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 1

Fuente: elaboración propia a partir de varias fuentes

4.2.2 Escenario 2: Contrato a largo plazo con proveedores

El escenario 2 se basa en el principio de que la Empresa de Servicios Energéticos delegue el suministro de biomasa puesto en planta a una empresa especializada en este rubro. Para esto, la ESCO deberá reducir el riesgo operativo del proyecto, estableciendo contratos a largo plazo con empresas que puedan demostrar capacidad suficiente para esto, sin perjuicio de que algún porcentaje del mix de biomasa sea suministrado por otros proveedores.

4.2.2.1 Origen de biomasa

Con base en el análisis presentado anteriormente, se establecen las fuentes de biomasa y el nombre de las empresas proveedoras identificadas.

Tipo de biomasa			Proveedor
Urbano	Podas	Astillas de árboles urbanos	TIRSA
			INDEF
Agrícola	Despeje y podas	Astillas de árboles frutales	TIRSA
	Industria	Cuescos de carozos	TIRSA
		Hueso de aceituna	TIRSA
Forestal	Cosecha	Astillas de pino radiata	TIRSA
		Astillas de eucalyptus	INDEF
	Residuos de cosecha	Triturados de pino radiata	INDEF
		Triturados de eucalyptus	
	Industria	Pellets de pino radiata	ECOMAS

Tabla 4.16: Fuentes de biomasa identificadas para el escenario 2

Fuente: elaboración propia

4.2.2.2 Características de la biomasa

En la tabla 4.17, se entrega una caracterización de las distintas fuentes de biomasa estudiadas, a partir de la base de datos *ECN Phyllis*, que reúne los análisis de las propiedades energéticas y químicas derivadas de la combustión de una gran variedad de biomasas.

Origen	Tipo	Nombre	%CH (b.h.)	PCI (kcal/kg)	PCI (kWh/kg)	Densidad (kg/m ³)	Contenido de cenizas
Urbano	Astillas de podas urbanas		35%	2.545	2,96	340	3,98%
Agrícola	Despeje y podas	Árboles frutales	35%	2.530	2,94	340	6,86%
	Agroindustria	Cuescos de carozos	10%	4.140	5,43	200	0,96%
		Hueso de aceituna	7%	4.725	5,60	689	22,80%
Forestal	Cosecha	Pino radiata	35%	2.833	3,29	340	0,48%
		Eucalyptus	35%	2.391	2,78	340	1,50%
	Residuos de cosecha	Pino radiata	35%	2.800	3,26	340	1,06%
		Eucalyptus	35%	2.525	2,94	340	1,12%
	Industria	Astillas (chips)	35%	2.800	3,26	340	0,48%
		Pellets	7%	4.596	5,76		0,78%

Tabla 4.17: Características de biomasa identificada en Rancagua

Fuente: elaboración propia

4.2.2.3 Estimación de los costos logísticos

Origen		Tipo de Biomasa	Proveedor	Adquisición (\$/ton)	Total (b.h.)	
					(\$/ton)	(USD/ton)
Urbano	Podas	Árboles urbanos	TIRSA	33.040	33.040	66
Agrícola	Despeje y podas	Árboles frutales	TIRSA	33.040	33.040	66
		Industria	Cuesco de durazno	TIRSA	33.040	33.040
		Hueso de aceituna	TIRSA	33.040	33.040	66
		Cuesco de ciruela	TIRSA	33.040	33.040	66
Forestal	Cosecha	Pino	TIRSA	39.648	39.648	79
		Eucalyptus	TIRSA	39.648	39.648	79
	Industria	Astillas de madera	TIRSA	39.648	39.648	79
		Aserrín / Viruta	TIRSA	33.040	33.040	66
		Pellets	ECOMAS	100.000	100.000	200

Tabla 4.18: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 2

Fuente: elaboración propia

El costo de la biomasa incluye el transporte a la planta. El contenido de humedad es 35%.

4.3 Comentarios finales

De todos los recursos evaluados en el escenario 1 de autoabastecimiento, los de menor costo final resultan ser los cuescos de ciruela (17 USD/ton), los cuescos de durazno conservero (18 USD/ton), las astillas de árboles urbanos (24 USD/ton) y el orujillo de aceituna (27 USD/ton). Éstos son justamente los recursos menos utilizados en Chile para combustión. Otros recursos de mayor costo son las astillas de podas de frutales (51 USD/ton), los residuos de cosecha forestal (56 USD/ton), los huesos de aceituna (66 USD/ton), las astillas de cosecha de pino radiata (67 USD/ton) y las astillas de eucaliptus globulus (68 USD/ton). Estos recursos, que resultan más costosos, son los de más fácil acceso comercial. Se presume que, a medida en que los recursos menos evaluados tengan una mayor demanda, su costo debiera tender a asemejarse al del resto.

En el escenario 2, los costos de adquisición en planta son similares a los recursos más costosos del escenario 1, con valores que van desde los 66 USD/ton hasta los 79 USD/ton. Los residuos forestales tienen el costo más bajo (39 USD/ton). El costo más elevado es el del pellet (200 USD/ton), aunque este combustible, al tratarse de una biomasa densificada

y con muy bajo contenido de humedad), es de mayor calidad y puede utilizarse en equipos de combustión menos costosos.

En resumen, considerando todas las alternativas evaluadas, se propone utilizar astillas de cosecha forestal como combustible para los primeros pilotos de calefacción distrital. La razón obedece a que, en los primeros proyectos demostrativos, es recomendable minimizar los riesgos asociados a la disponibilidad de biomasa, lo que se logra mediante un contrato a largo plazo con un proveedor establecido y con capacidad suficiente de suministro. Además, las astillas de cosecha forestal están disponibles durante todo el año, tienen una granulometría homogénea y los costos por este recurso no difieren significativamente entre los escenarios logísticos evaluados, lo que hace preferible delegar esta actividad en un actor experimentado y quitarle esa responsabilidad a la ESCO. El mayor proveedor identificado en la zona es TIRSA. Las astillas tienen un costo aproximado de 120 USD/tonelada seca, un porcentaje de humedad de 35% en base húmeda y un poder calorífico inferior de 2.800 kcal/kg en base húmeda.

5 Identificación y selección de proyectos piloto

5.1 Metodología

La rentabilidad de los proyectos intensivos en activo fijo está condicionada al factor de planta, tal es el caso de los proyectos de generación y distribución de calor a partir de biomasa. Por esta razón, los proyectos de calefacción distrital deben seleccionarse donde la densidad térmica sea importante e idealmente donde la demanda térmica sea estable durante todo el año.

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.

Desde un punto de vista de la rentabilidad económica de los proyectos, es preferible operar en ambientes productivos. Lógicamente, el interés de este estudio es la evaluación de proyectos residenciales. En consecuencia, se busca, en primera instancia, detectar una demanda mixta de calor, es decir, proyectos que involucren fuentes industriales, comerciales y residenciales al mismo tiempo, con el fin de disminuir la variabilidad conjunta.

Debido al mayor factor de planta y a economías de escala, el calor industrial puede generarse a menor costo. Por esta razón, se busca idealmente que las fuentes residenciales se encuentren cerca de fuentes industriales. Este tipo de proyectos mixtos pueden ganar en eficiencia y economía. Tomando en consideración lo anterior, se definió el siguiente protocolo de búsqueda de proyectos:

1. Identificación de las fuentes industriales y comerciales de calor
2. Identificación de nuevos proyectos inmobiliarios
3. Selección de proyectos piloto

5.2 Fuentes industriales

En la figura 5.1., se muestra la ubicación geográfica de las calderas registradas en los servicios de salud y medio ambiente de la comuna de Rancagua, clasificadas por rango de potencia nominal.

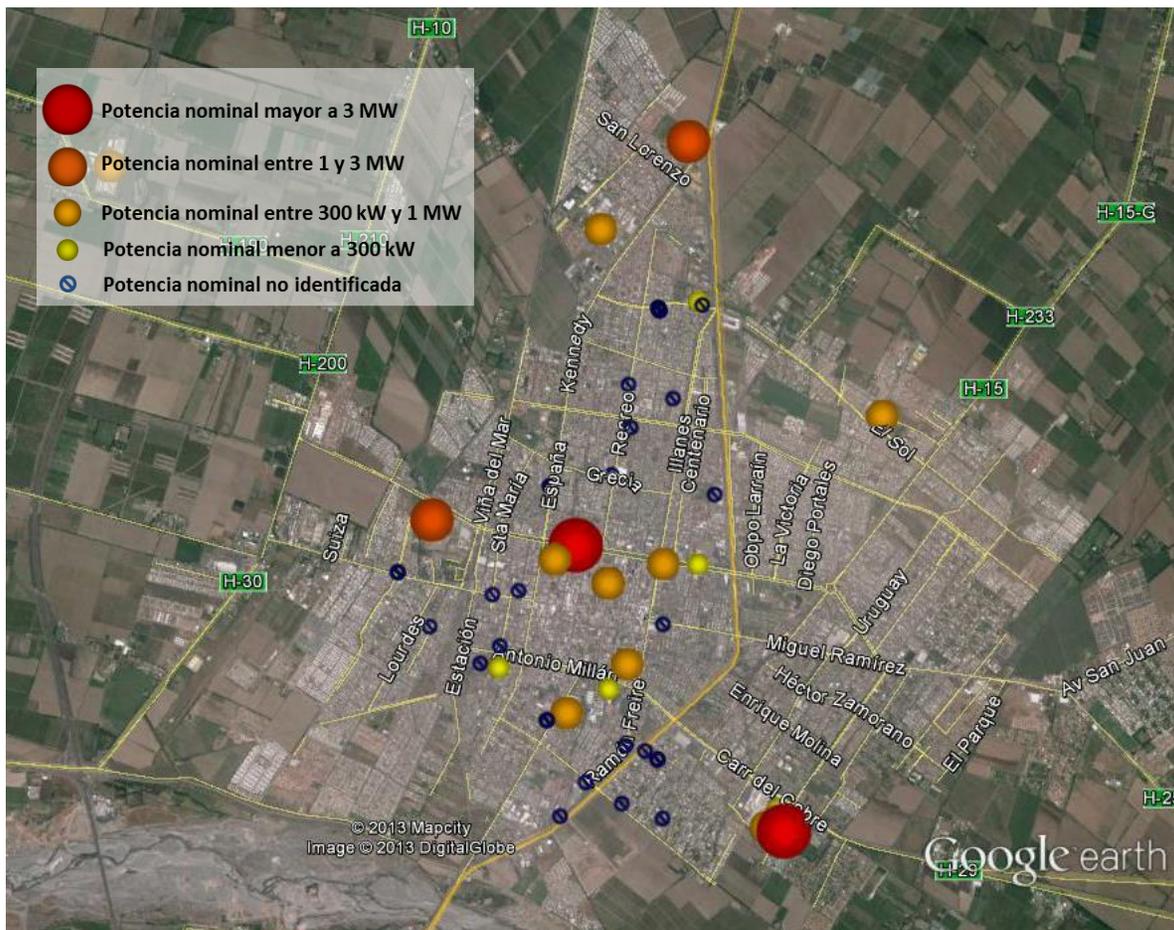


Figura 5.1: Ubicación de calderas registradas en el servicio de salud, Rancagua

Fuente: elaboración propia

A partir de este mapa, se identificaron 2 edificios con capacidad de generación de calor superior a los 3 MW. Éstos corresponden al Hospital Regional (sector centro) y el Hospital Fusat (sector suroriente). Estas dos zonas constituyen los mayores focos de consumo térmico no residencial de la ciudad, de acuerdo a los registros obtenidos. Otras fuentes

más pequeñas son la planta faenadora Comafri, en el sector poniente de la ciudad, y la planta agroindustrial Interagro, ubicada en el sector norte.

5.3 Nuevos proyectos inmobiliarios

En la figura 5.2, se muestra la ubicación geográfica de los proyectos habitacionales de la comuna de Rancagua, que se encuentran en etapa de planificación o en fase temprana de construcción, todos con permiso de edificación posterior al año 2007, fecha en que se reglamenta el mejoramiento térmico de las viviendas a través de la OGUC en su numeral 4.1.10. El objeto de evaluar proyectos nuevos sin construir es evitar costos de ruptura de pavimento y reposición para la instalación de la red subterránea de distribución de calor, trabajos que se pueden realizar en paralelo al resto de las obras civiles. La conveniencia de que los proyectos estén acogidos a la nueva OGUC se debe a una cuestión de eficiencia energética: un correcto aislamiento térmico de las viviendas es la primera medida que debe evaluarse para la reducción del consumo térmico y de emisiones de material particulado.

Como se observa en la figura 5.2, existen tres zonas principales de expansión urbana: hacia el nororiente, hacia el sur y hacia el surponiente.

5.4 Proyectos identificados

Como se puede ver en la figura 5.3, no se distingue cercanía entre fuentes industriales importantes y proyectos inmobiliarios nuevos.

En el sector suroriente de la ciudad (ver figura 5.3), se identifica una zona de alta demanda térmica conformada por el Hospital Fusat, la Clínica Isamedica y el condominio Alto del Valle. La magnitud de estas fuentes y la corta distancia que las separa, determinó la decisión de evaluar un proyecto de calefacción distrital en esta zona. De ahora en adelante, se identifica como proyecto mixto.

Además de este proyecto, se escogieron tres proyectos residenciales, uno en la zona nororiente, otro en la zona poniente y otro en la zona sur.

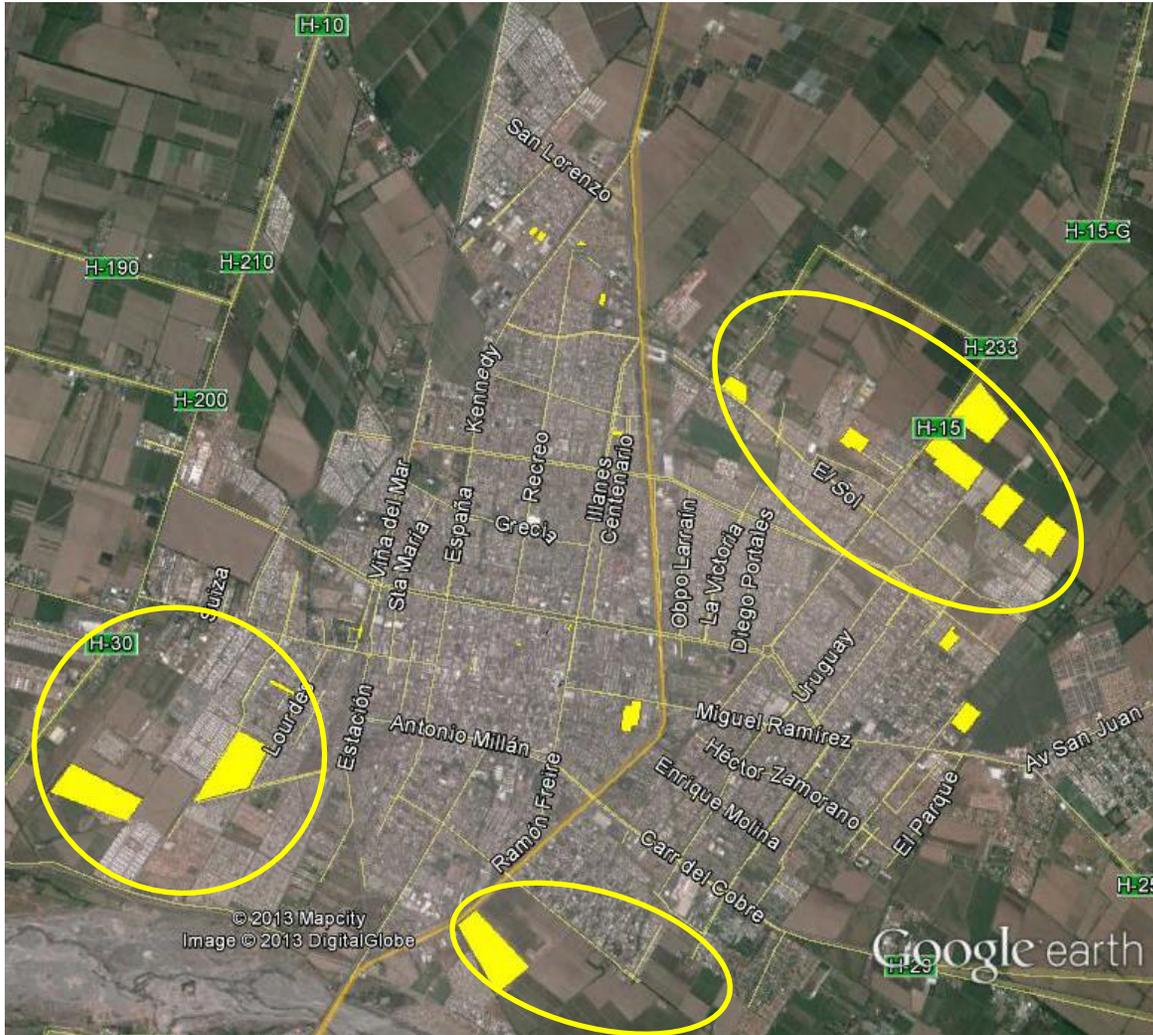


Figura 5.2: Nuevos proyectos inmobiliarios año 2012, Rancagua

Fuente: elaboración propia

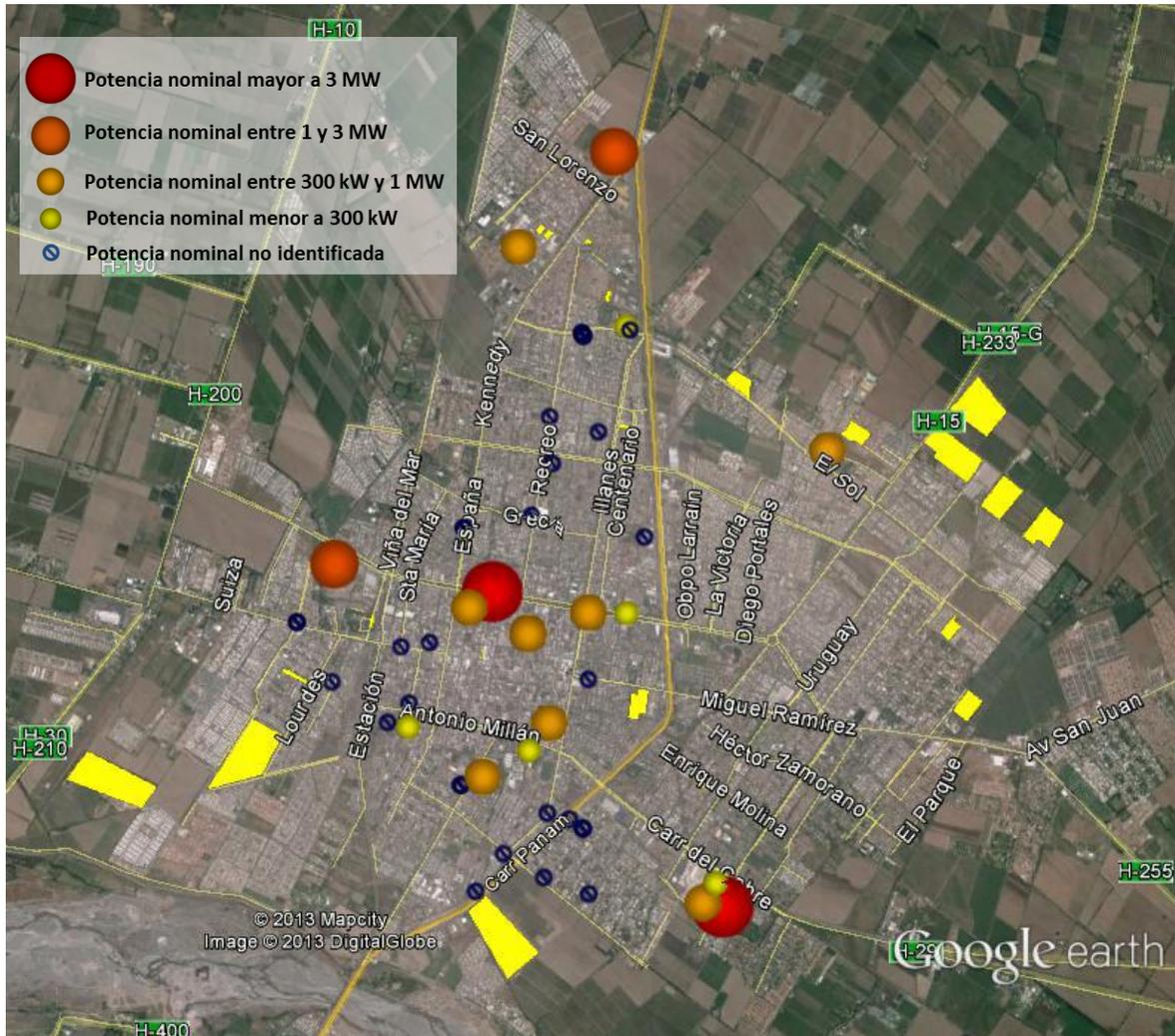


Figura 5.3: Focos de demanda térmica en la ciudad de Rancagua

Fuente: elaboración propia

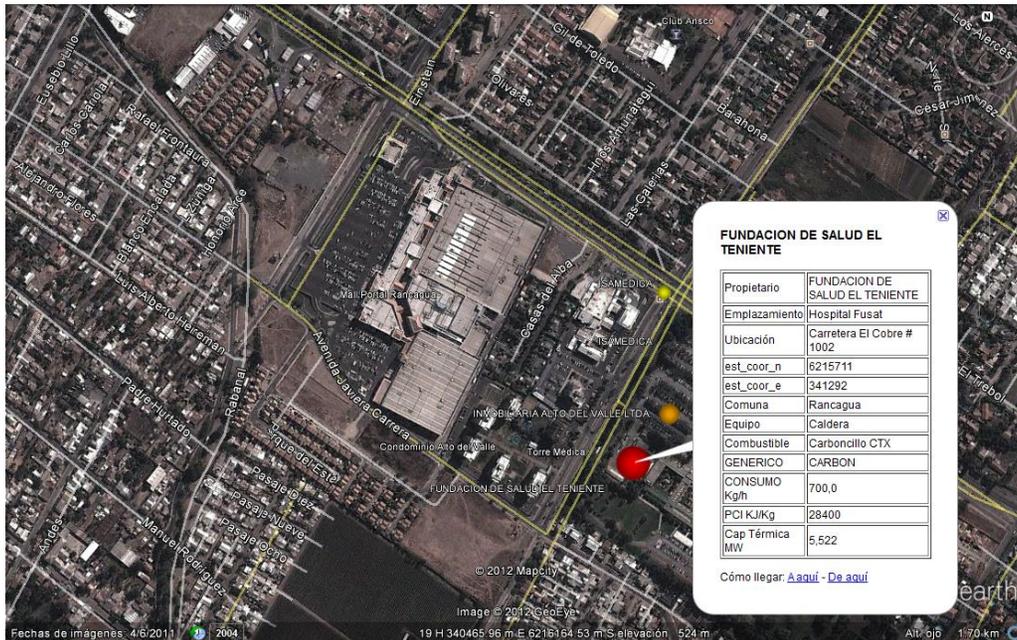


Figura 5.4: Plano de acercamiento Hospital Fusat

5.5 Proyecto mixto

Lo interesante de este proyecto es que existen tres fuentes de demanda de calor importantes en un radio de 150 m. En el lado oriente de la Avenida Bombero Villalobos, se encuentra el Hospital Fusat, el principal punto de consumo térmico de este proyecto. Del lado poniente de la misma avenida, se encuentran la Clínica Isamedica y el condominio Alto del Valle. Además, también en el sector poniente de la misma avenida, se encuentra el centro comercial Mall Portal Rancagua, que, a pesar de no presentar requerimientos de calor, consume importantes cantidades de aire acondicionado generado a partir de electricidad.

El proyecto que se propone es el recambio de calderas del Hospital Fusat por una central térmica a biomasa, que suministre calor al mismo hospital, a la Clínica Isamedica y al condominio Alto del Valle. Adicionalmente, se evaluaron los requerimientos de aire acondicionado y consumo eléctrico del supermercado Jumbo, ubicado en el Mall Portal Rancagua. En caso de resultar positivo desde un punto de vista económico, es posible la generación de frío para aire acondicionado a partir de una fuente de calor, mediante tecnologías de absorción de sales.

Esta alternativa ha demostrado su utilidad en el aprovechamiento de calores residuales para trigeneración (calor + electricidad + frío) o incluso cuando se busca generar sólo frío. Para que esta alternativa sea viable desde una perspectiva económica, el calor debe ser generado a bajo costo. En cuanto a aplicaciones de climatización, la generación de frío-calor tiene la ventaja de que se reduce la estacionalidad del consumo, debido a que los requerimientos de frío y de calor se intensifican en épocas opuestas del año. Esto permite una mayor utilización de los equipos y menores costos específicos.

5.5.1 Hospital Fusat



Figura 5.5: Centro Médico Fusat, Rancagua

Es un edificio con 29 años de existencia, con una superficie de 14.900 m², dividido principalmente en dos secciones: una sección de centro médico (consultas ambulatorias) que funciona de lunes a viernes durante el día (hasta aproximadamente las 21 hrs), con una superficie aproximada de 3.700 m², y la otra zona de hospital propiamente tal, que funciona las 24 horas del día.

Del punto de vista de la climatización, el edificio completo tiene calefacción entre los meses de mayo y octubre. Además, la zona del Centro Médico tiene también aire acondicionado entre diciembre y marzo. Además de la calefacción, el calor es consumido en autoclaves, casino, pabellones, esterilización e instalaciones en general.

El calor en el hospital se genera a partir de dos calderas a carboncillo GTX de parrilla móvil, con potencia nominal de 3.000 [kg/h] de vapor. El calor se transfiere al aire y éste es impulsado a los recintos en una serie de manejadoras ubicadas, la mayoría, en un semi-

piso de servicios. El agua caliente sanitaria se suministra a través de un sistema de bombeo independiente al utilizado para la red de calefacción.

No existe equipo de abatimiento de gases de combustión y material particulado. Como los niveles de emisiones exceden la normativa vigente, la administración del hospital está evaluando el recambio de quemadores por gas licuado.

El combustible se almacena actualmente en un foso a un costado de la sala de calderas y se carga manualmente, con capacho, a los hornos. La operación es realizada por personal dependiente del hospital. En vista de todo lo anterior, se puede concluir que existe infraestructura de almacenamiento y transporte necesaria para un recambio a biomasa.

5.5.2 Clínica Isamedica



Figura 5.6: Clínica Isamedica, Rancagua

Fuente imagen: Isamedica

La clínica tiene una superficie total de aproximadamente 7.000 m², sin considerar estacionamientos. En general, el edificio es de 1 piso, pero tiene un sector de 4 pisos y otro de 3 pisos.

El edificio cuenta con calefacción y aire acondicionado durante todo el año. Para la generación de calor, existen 2 calderas que funcionan con gas licuado y suministran calor para calefacción y agua caliente sanitaria en habitaciones, oficinas administrativas, casinos y pabellones. Las autoclaves y las zonas de esterilización son cubiertas con calor producido por corriente eléctrica.

El aire acondicionado se genera a partir de bombas de calor. En verano, funcionan en forma simultánea los sistemas de caldera y bombas de calor.

5.5.3 Condominio Alto del Valle



Figura 5.7: Condominio Alto del Valle, Rancagua

El Condominio Alto del Valle está compuesto por 5 edificios de 7 pisos cada uno. La superficie de cada planta es de 378 m², con una superficie total de 2.646 m² por edificio y 13.230 m² para todo el condominio.

Cada edificio posee un sistema centralizado de generación de agua caliente sanitaria y calefacción, por medio de un calentador de agua de 349 kW que funciona con gas licuado.

5.5.4 Supermercado Jumbo



Figura 5.8: Supermercado Jumbo, Rancagua

Este centro comercial no tiene sistema de calefacción, ya que las cargas internas (iluminación y tránsito de personas) son suficientes para mantener una temperatura adecuada en el invierno. En efecto, ésta es una práctica usada en casi todos los supermercados de la zona central del país.

El edificio tiene una superficie aproximada de 10.400 m² en el área de la tienda y 5.700 m² en el área de servicios. La altura del edificio es de 10 m con un cielo aislación de 10 cm de espesor.

5.6 Proyectos residenciales

5.6.1 Conjunto La Compañía

El Conjunto La Compañía está emplazado en un terreno de 9,94 ha en el sector Nororiente de la comuna de Rancagua (figura 5.9) y se compone de 538 viviendas de 49 m² de superficie, valoradas en 586 UF aprox., de las cuales 528 son de tipología pareada y 10 de tipología aislada.

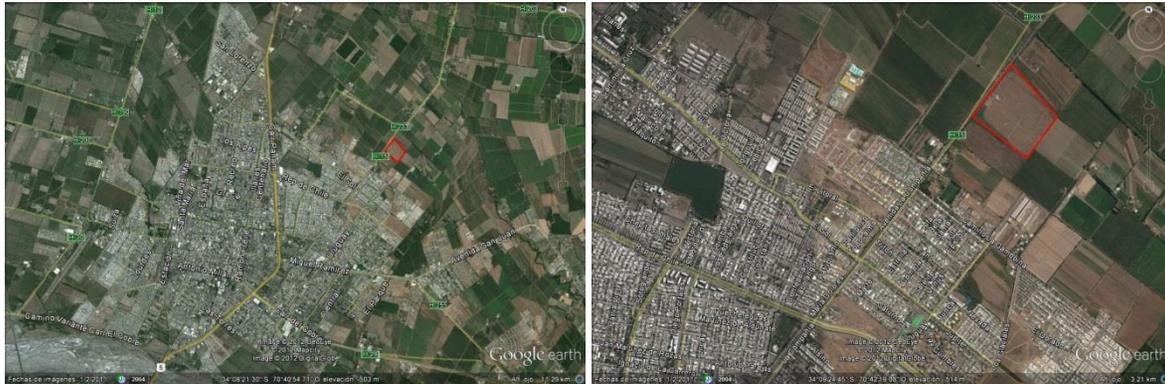


Figura 5.9: Ubicación del Conjunto La Compañía
Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)

La estructura está compuesta por muros de albañilería armada sobre vigas de fundación y confinada superiormente por una cadena de hormigón armado. Sobre la cadena, se apoyan cerchas de madera que constituyen la estructura de la techumbre. Las características de cada superficie de la vivienda se detallan a continuación:

- Los muros son de albañilería princesa titán extra con estuco interior y exterior. La conductividad térmica de este muro se considera $U=1,9$ (W/m^2K).
- Las ventanas son de aluminio, línea económica con vidrio plano monolítico. La superficie total de ventanas es de $5,7 m^2$, lo que corresponde a un 11,6% del área de piso y a un 8% de la superficie de muros que delimitan la vivienda.
- El cielo se compone de una placa de yeso cartón de 10 mm de espesor y una capa de aislante de poliestireno expandido de 80 mm de espesor. La transmitancia térmica del muro es de $U=0,47$ (W/m^2K).
- El piso está montado sobre el terreno y no tiene aislación.

Sección	U (W/m^2K)	Perímetro (m)	Superficie (m^2)
Piso	1,40	23,81	-
Paredes	1,90	-	35,00
Techumbre	0,47	-	23,46
Ventanas	2,88	-	3,96

Tabla 5.1: Características constructivas de la vivienda
Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto

5.6.2 Condominio Samuel Román

El Condominio Samuel Román se encuentra ubicado en el sector poniente de la ciudad de Rancagua, está emplazado en un terreno de 8.539 m² y conformado por 108 viviendas de dos pisos, tres dormitorios, emplazadas en modo hilera, con una superficie construida de 51 m² por vivienda.



Figura 5.10: Ubicación del Condominio Samuel Román
Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)



Figura 5.11: Representación visual del Condominio Samuel Román
Fuente: Conavicoop

Las características de cada superficie de la vivienda se detallan a continuación:

- Los muros son de albañilería princesa titán reforzado estructural térmico. La conductividad térmica de este muro se considera $U=1,87$ (W/m^2k).
- Las ventanas son de aluminio, línea económica con vidrio simple incoloro. La superficie total de ventanas es de $8,15 m^2$, lo que corresponde a un 16% del área de piso y a un 9% de la superficie bruta de muros que delimitan la vivienda.
- El cielo se compone de una placa de Volcanita de 10 mm de espesor y una capa de aislante de poliestireno expandido de 80 mm de espesor. La transmitancia térmica del muro es de $U=0,47$ (W/m^2k).
- El piso está montado sobre el terreno y no tiene aislación.

Sección	U (W/m^2k)	Perímetro (m)	Superficie (m^2)
Piso	1,40	21,19	-
Muros	1,87	-	25
Techumbre	0,47	-	32,14
Ventanas	2,88	-	9,65

Tabla 5.2: Características constructivas de la vivienda

Fuente: Información técnica del proyecto

5.6.3 Parque Viña Santa Blanca

El conjunto habitacional Parque Viña Santa Blanca se encuentra ubicado en un terreno de 17,7 ha en el sector sur de la ciudad de Rancagua, a un costado de la Ruta 5. Está conformado por 699 viviendas de tres dormitorios, estar-comedor, cocina y baño. La superficie de las viviendas individuales es de $56m^2$ y la de las viviendas pareadas, de $51m^2$.

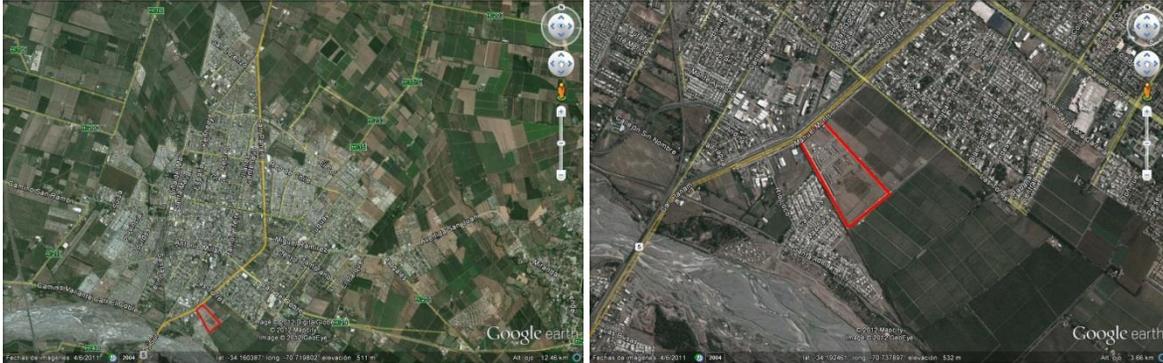


Figura 5.12: Ubicación del Parque Viña Santa Blanca
Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)



Figura 5.13: Representación visual del Parque Viña Santa Blanca
Fuente: www.parquesantablanca.cl

Las características de cada superficie de la vivienda se detallan a continuación:

- Los muros del primer nivel son de albañilería de ladrillo aprobado por el Minvu. Se entiende que corresponde a un valor de $U=1,9$ (W/m^2K), aunque no se indica en las especificaciones técnicas.
- Los muros del segundo nivel corresponden a una tabiquería liviana donde tampoco se indica el espesor de aislante. Sólo se indica que el espesor debe cumplir con la reglamentación térmica. Como el poliestireno expandido se vende en rangos de 1 cm y como para 1 cm de espesor no cumple la reglamentación y para 2 sí, se consideró 2 cm de aislación, lo que se traduce en un $U=1,5$ (W/m^2K).
- Las ventanas son de aluminio, línea económica con vidrio simple incoloro. La superficie total de ventanas es de $10,6 m^2$, lo que corresponde a un 21% del área de piso y a un 10,5% de la superficie bruta de muros que delimitan la vivienda.
- El cielo se compone de una placa de Volcanita de 10 mm de espesor y una capa de aislante según reglamentación térmica (tampoco se especifica claramente este

punto). Por lo tanto, se asume 80 mm de espesor de poliestireno expandido. El U del muro es de $U=0,47$ (W/m^2K).

- El piso está montado sobre el terreno y no tiene aislación.

Sección	U (W/m^2K)	Perímetro (m)	Superficie (m^2)
Piso	1,40	21,78	-
Albañilería	1,90	-	62,91
Techumbre	0,47	-	27,14
Ventanas	2,88	-	11,15

Tabla 5.3: Características constructivas de la vivienda

Fuente: Información técnica del proyecto

6 Modelos de negocio

6.1 Estructura del modelo de negocio

Un modelo de negocio se entiende como la arquitectura mediante la cual los distintos participantes en un negocio interactúan entre sí y se benefician de la entrega de un producto o servicio al consumidor final.

Diseñar un modelo de negocio consiste en determinar las actividades que ejecuta cada uno de los participantes, desde las materias primas hasta el producto/servicio final, qué responsabilidades y riesgos recaen en cada uno y cómo se distribuyen las utilidades obtenidas. El instrumento mediante el cual se dictan las reglas de operación de este modelo es el contrato. A su vez, el tipo de contrato va a depender del modelo de negocio diseñado.

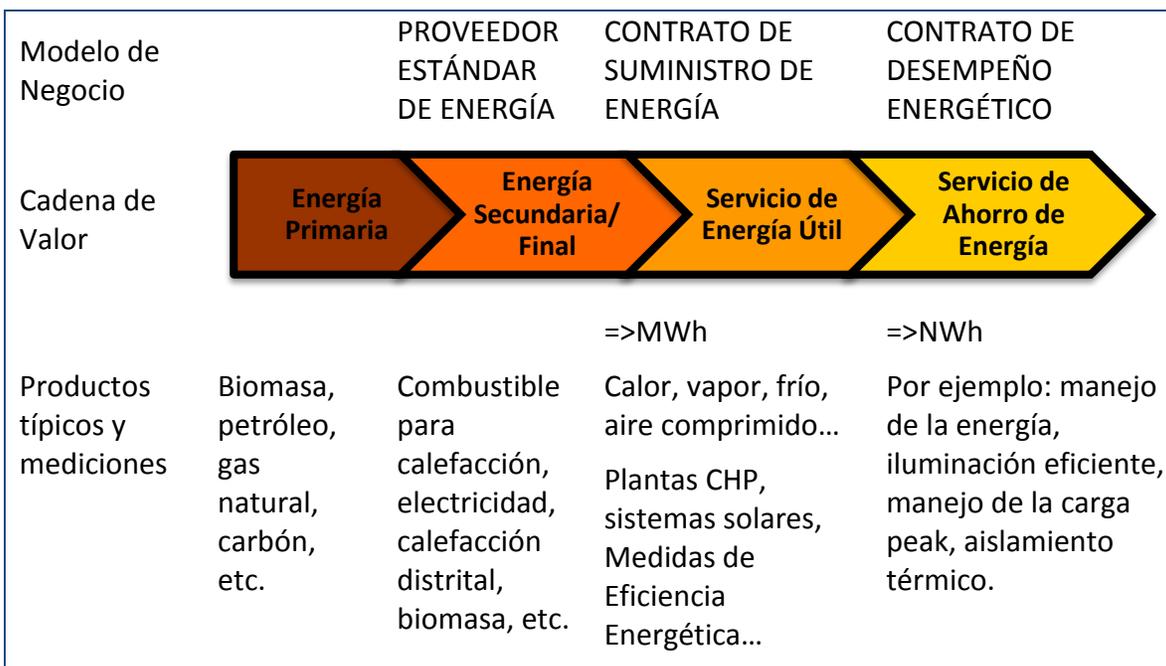


Figura 6.1: Cadena de valor de los servicios energéticos, modelos de negocio, productos típicos y mediciones

Fuente: Bleyl y Schinnerl (2008)

La estructura general de un modelo de negocio se puede resumir en los siguientes puntos:

- Mercado objetivo
- Producto/servicio
- Cadena de valor
- Actividades clave
- Participantes
- Estructura de ingresos y costos

6.1.1 Mercado objetivo

Los consumidores podrían ser hogares, edificios comerciales, centros de salud u otros servicios, edificios públicos e industrias. El principal parámetro que caracteriza al mercado objetivo de un sistema de calefacción distrital es la naturaleza de los edificios conectados. Esto define si los clientes serán personas naturales, instituciones o ambas.

En el caso de los proyectos exclusivamente residenciales, el mercado objetivo está compuesto también por dos tipos de clientes. En un primer caso, la Empresa de Servicios Energéticos (ESCO, del inglés *Energy Service Company*) establecerá contratos de prestación de servicios con cada uno de sus consumidores, de la misma forma como ocurre en el mercado eléctrico residencial o de agua potable. Una segunda alternativa es que la comunidad de vecinos se agrupe y conforme una sola persona jurídica, en cuyo caso la ESCO firmará un contrato de prestación de servicios con esa agrupación. Este último caso es típico en condominios o edificios comunitarios.

En los proyectos comerciales, industriales o de edificios públicos, el número de clientes equivale, generalmente, al número de instalaciones atendidas, con un consumo elevado por cliente. Por esta razón, es generalmente conveniente incluir por lo menos un cliente de esta naturaleza dentro de un proyecto de calefacción distrital.

Otros aspectos relevantes para describir el perfil de los consumidores y del modelo de negocio son: número de edificaciones, estrato socioeconómico de los consumidores, disposición al pago, hábitos de consumo.

En un proyecto mixto (clientes residenciales y de otra naturaleza), los clientes podrían ser personas naturales, asociaciones vecinales, juntas administrativas de condominios o edificios, el sistema de administración público, la administración de empresas privadas y centros comerciales, entre otros.

6.1.2 Producto/servicio

El producto consiste en el suministro de un servicio integral de calefacción, agua caliente sanitaria y energía eléctrica (si existe cogeneración). Los servicios se caracterizan por su excelente desempeño, tarifas convenientes y bajo impacto ambiental.

A diferencia de los sistemas de calefacción individuales, en los que las actividades relacionadas al abastecimiento de combustible, operación y mantenimiento de los equipos son responsabilidad del usuario, en un sistema de calefacción distrital, el cliente paga una única factura mensual por los servicios energéticos suministrados.

Lo mismo ocurre en el caso de clientes industriales. La venta por el servicio de calor no se restringe a calefacción y ACS, también puede incluir el suministro de calor para procesos térmicos industriales.

En cualquier caso, es importante definir las características específicas que se requieren para el servicio suministrado. Los requerimientos industriales de calor son distintos a los residenciales, aunque existen formas de integrar consumos de distinto tipo en una sola red de calor.

6.1.3 Cadena de valor

La cadena de valor reúne todas las fases del negocio, desde la materia prima inicial hasta el cliente final, pasando por transformaciones intermedias que van agregando valor al producto. En el caso de la calefacción distrital con biomasa, la cadena de valor se compone de las fases que se describen en la figura 6.1.

6.1.3.1 Energía primaria

La energía primaria está compuesta por la oferta de biomasa disponible para producir energía e incluye todas las actividades de recolección, tratamiento y transporte de la biomasa hasta la planta de transformación.

6.1.3.2 Energía secundaria

A partir de la energía primaria suministrada, se obtiene la energía secundaria/final mediante la producción de calor en una central térmica.

6.1.3.3 Servicio de energía útil

Corresponde a la distribución de calor hasta el cliente final, además del servicio integral de venta de calefacción y ACS.

6.1.3.4 Servicio de ahorro energético

En el caso de los clientes grandes, como industrias, centros comerciales o centros de salud, entre otros, la tarifa puede acogerse a un sistema de ahorro energético, que calcula el cobro de acuerdo a un porcentaje de la reducción de costos en relación a una situación previa.

6.1.4 Actividades clave

Son actividades clave de este negocio, aquellas que corresponden a la producción de energía útil a partir de biomasa y aquellas que corresponden a la distribución del servicio, gestión de venta y servicio al cliente.

Dentro de la lógica de la cadena de valor de servicio de energía útil y servicio de ahorro energético descrita en la figura 6.1, se podrían clasificar como actividades productivas las que tienen relación con las dos primeras fases de energía primaria y energía secundaria (suministro de biomasa y transformación en calor). Las actividades de servicio corresponderían a las dos últimas fases de la cadena. Las dos primeras fases de la cadena se relacionan con los proveedores, mientras que las últimas dos, con los clientes.

En la operación del negocio, se distinguen las siguientes actividades claves:

6.1.4.1 Abastecimiento de biomasa

El abastecimiento del combustible es una actividad clave para el correcto funcionamiento de un sistema de calefacción distrital y cogeneración. Se debe cumplir con los estándares requeridos por el sistema en términos de calidad, volumen, tiempo de entrega y costo. Se identificaron dos alternativas para el abastecimiento de los proyectos formulados: autogestión y tercerización.

Autogestión del abastecimiento por parte de la ESCO:

La entidad responsable de la operación del sistema gestiona también la logística de abastecimiento de combustible, directamente con los propietarios de las fuentes de biomasa (energía primaria), lo cual comprendería la negociación, recolección, tratamiento y almacenamiento.

Tercerización a través de un contrato de abastecimiento de biomasa entre proveedor y generador:

Para disminuir el riesgo del abastecimiento, que comprometa la continua gestión del servicio, se requiere establecer un contrato entre el generador y el proveedor de la biomasa. En el contrato, se definen las características del combustible, como por ejemplo: origen, especie, humedad, granulometría y presencia de impurezas. También se establece el precio, el cual debería estar asociado al cumplimiento de los estándares de calidad y puntualidad de la biomasa comercializada. Esta alternativa tiene la ventaja de que, al delegar esta responsabilidad en una empresa especializada y con experiencia, es posible firmar contratos a largo plazo, disminuyendo el riesgo de eventuales problemas con el desabastecimiento de biomasa.

6.1.4.2 Instalación, operación y mantención del sistema

La instalación, operación y mantenimiento del sistema es responsabilidad de la ESCO, para lo cual cuenta con el conocimiento técnico y equipos tecnológicos para ello.

6.1.4.3 Contrato entre empresa de servicios y consumidor final

Para disminuir el riesgo de la prestación del servicio, se requiere establecer un contrato entre el generador y el consumidor final. El contrato debe especificar las características del servicio, la regulación del cálculo de la tarifa, las responsabilidades de las partes, las condiciones de servicio, sanciones y arbitrajes.

La mantención y la reparación de la red de distribución de calor deben ser realizadas por la empresa de servicios, garantizando la calidad del servicio para los clientes finales.

Los clientes finales deben respetar las condiciones de servicio establecidas, promoviendo el uso eficiente del sistema y la protección del mismo.

La prestación del servicio estará sujeta al cumplimiento del contrato; el incumplimiento de cualquiera de las partes resultará en sanciones para la parte infractora. En el caso del usuario, el uso inapropiado, la falta de pago, el intento de estafa, entre otros, serán sancionados a través de multas incluidas en las boletas de pago mensual o en procedimientos legales según sea el caso. En el caso de la empresa de servicios, se seguirá un riguroso control del servicio prestado y se sancionará que el servicio se provea fuera de rangos permisible o el servicio no se encuentre disponible; las sanciones serán efectivas a través de compensaciones en la boleta de pago mensual. Casos extraordinarios y fuera de lo contemplado deberán ser arbitrados por una tercera parte.

6.1.4.4 Mediciones, cobro y servicio post-venta

El cobro del servicio será conducido por la empresa de servicios energéticos o una empresa externa con las capacidades para ello. El servicio debería ser regulado por una institución pública, tal como la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) supervisa los servicios de electricidad y combustibles líquidos y gaseosos.

6.1.4.5 Promoción de la tecnología

La estrategia de la relación con los clientes se debe orientar a la retención de éstos y un aumento de la demanda de servicios. Es importante concientizar al cliente sobre los beneficios de un sistema de calefacción distrital, lo que generará lealtad y evitará la fuga de clientes.

6.1.5 Participantes

Los participantes del negocio son todas aquellas entidades, privadas o públicas, que gestionan, financian o promocionan cada una de las actividades clave del negocio. Cada participante tiene la responsabilidad de asumir por lo menos una parte de alguna de las actividades clave del negocio, pudiendo integrarse hacia atrás o adelante en la cadena de valor. En un caso extremo, un solo participante podría asumir completamente la cadena de valor, si es que posee el know-how necesario y las herramientas técnicas para hacerlo.

En general, se identifican los siguientes participantes:

- el gestor del suministro de biomasa
- el operador de la planta de generación
- el supervisor de la red de distribución
- el operador del sistema de medición y cobro
- el gestor del servicio al cliente

El éxito del desarrollo de la calefacción distrital en Chile se basará en el trabajo conjunto de los siguientes aliados estratégicos: empresas de servicios energéticos (ESE o ESCO), proveedor de biomasa, sector inmobiliario, municipalidad, gobierno local y la comunidad.



Figura 6.2: Participantes un sistema de calefacción distrital residencial

Fuente: elaboración propia

Cada uno de estos aliados tiene un rol clave para la correcta ejecución de la planificación, implementación y operación de un sistema de calefacción distrital.

Entidad	Descripción del rol dentro del modelo de negocio
Empresa de Servicios Energéticos (ESCO)	<p>Son organizaciones que proporcionan servicios energéticos en las instalaciones de un usuario determinado.</p> <p>Tienen a cargo la instalación, operación y mantenimiento de la planta de calefacción distrital y cogeneración.</p> <p>Generalmente, tienen a cargo el financiamiento de la planta de calefacción distrital y cogeneración.</p>
Proveedor de biomasa	<p>Incluye a productores e intermediarios de biomasa.</p> <p>Abastecimiento seguro y confiable de biomasa que cumpla con los estándares de calidad requeridos por la central térmica.</p>
Empresa inmobiliaria	<p>Incluye a las empresas inmobiliarias y constructoras.</p> <p>Deben estar informadas sobre los beneficios de los sistemas de calefacción distrital, de tal forma de que éstos se incorporen como una alternativa segura y confiable para los nuevos proyectos inmobiliarios.</p>
Comunidad	<p>Los usuarios/clientes deben estar conscientes de los beneficios económicos, técnicos y ambientales de los sistemas de calefacción distrital a partir de biomasa.</p> <p>Es necesario contar con mecanismos efectivos que motiven la conexión a sistemas de calefacción distrital y buenos hábitos de consumo.</p>
Gobierno	<p>Desarrollo de mecanismos de fomento para el desarrollo de sistemas de calefacción distrital.</p> <p>Creación de programas para financiar proyectos piloto (GORE, CORFO)</p> <p>Promover proyectos como parte del Plan de Descontaminación Ambiental del Valle Central de la Región de O'Higgins (SEREMI Medio Ambiente).</p> <p>Evaluación ambiental de proyectos (Servicio de Evaluación Ambiental).</p>

Tabla 6.1: Rol de los participantes de un proyecto residencial

Fuente: elaboración propia

6.1.6 Estructura de ingresos y costos

Para cada uno de los participantes del negocio, se evalúa su nivel de participación, el nivel de riesgo que está asumiendo y la rentabilidad que se esperaría de sus inversiones. El margen total obtenido de toda la cadena de valor, debe ser distribuido en base a este criterio, de forma que todas las partes vean un interés en participar de este negocio. Se distingue, en este sentido, la rentabilidad privada de la social, en este último caso si participa el Estado a través de alguno de sus organismos.

6.1.6.1 Financiamiento

A continuación se presentan algunas alternativas de financiamiento de un sistema de calefacción distrital residencial.

Componente	Alternativa de financiamiento	
Planta de generación	Propiedad de ESCO	Están dispuestas a financiar la inversión.
Red de distribución	Copropiedad de los dueños del condominio o edificio	Inversión incluida en el valor de la vivienda/departamento (Ley Nº 19.537, Ley de Copropiedad Inmobiliaria).
	Aporte del Estado	Inversión subsidiada parcial o totalmente por el Estado.
Equipamiento de vivienda	Propietarios de vivienda	Inversión es realizada por el propietario de la vivienda.
	Aporte del Estado	Inversión subsidiada parcial o totalmente por el Estado.

Tabla 6.2: Alternativas de financiamiento del sistema DH/CHP

Fuente: elaboración propia

Dentro de las barreras de entrada de la calefacción distrital al sector residencial en Chile bajo el modelo ESCO, se debe mencionar la aversión por parte de las ESCO a financiar la red de distribución subterránea de calor y los elementos de distribución al interior de las

viviendas¹⁵. La razón es que no existe seguridad suficiente sobre la fidelización de los clientes y la disposición a pago, lo que se suma al hecho de que la red de calor es una inversión que no se puede rescatar si el proyecto fracasa, a diferencia de lo que ocurre con los equipos de una central térmica.

6.1.6.2 Sistema tarifario

Se consideran distintos elementos para el cálculo de la tarifa mensual, el que será conducido mensualmente por la empresa de servicios. Los elementos considerados son:

- **Tarifa base:** destinada a garantizar la recuperación de la inversión inicial hecha por la empresa de servicio. Es necesario definir un rango permisible para la tasa de retorno de la inversión del proyecto, en el plazo pactado con los usuarios, de modo de que éstos no paguen cuotas mensuales excesivas y que la empresa de servicios cuente con garantías legales que disminuyan los riesgos de inversión.
- **Cuota de mantención:** destinada a cubrir los costos de mantención del sistema, necesarios para garantizar un servicio continuo al cliente. El tiempo de respuesta ante eventualidades debe ser lo más reducido posible, lo que hace necesario contar con un stock, equipo y personal capacitado. Entre las condiciones del servicio, debe incluirse las responsabilidades de la empresa de servicio y plantearse los elementos que deben ser incluidos en esta categoría (por ejemplo, cambiar un intercambiador de calor por defectos de fábrica).
- **Costo de la energía:** valor que el cliente final cancelará por el consumo de energía térmica empleada en el periodo de un mes. Para el cálculo de dicha parte de la tarifa, se debe considerar al menos las siguientes variables:

$$\text{Costo de la Energía} = \frac{\text{Costos de operación} + \text{Retorno fijo garantizado}}{\text{Consumo mensual de energía térmica del cliente (en kWh)}}$$

- **Retorno fijo garantizado:** Se incluye un retorno fijo garantizado por dos razones principales: primero, para disminuir los riesgos asociados y fomentar la inversión de los proyectos, y segundo, como una herramienta de control y monitoreo. Si la empresa desea tener un retorno fijo mayor, deberá mejorar aspectos como la eficiencia de la planta y calidad de servicio; si una planta de generación no cumple con los mínimos establecidos, puede ser sancionada disminuyendo su retorno fijo.

¹⁵ Entrevistas con representantes de dos Empresas ESCO que operan en el sector industrial en Chile (Energía del Sur y Vapores del Sur). Ambas empresas proponen que la inversión debe ser cubierta por la empresa inmobiliaria, cuyos montos se transfieren posteriormente al avalúo de las viviendas. La infraestructura sería administrada por una junta de vecinos según la Ley de Copropiedad Inmobiliaria (Nº 19.537).

- **Amortización de pérdidas térmicas:** todo sistema tiene pérdidas energéticas, esa energía térmica que se pierde y no puede ser aprovechada sigue representando un costo para la empresa de servicios. Se puede plantear que las pérdidas por eficiencia del sistema sean absorbidas por la empresa de servicios y las pérdidas por transmisión sean absorbidas por los usuarios. Las empresas de generación deben tener algún tipo de auditoría sobre eficiencia energética donde cuantifiquen y reporten las pérdidas energéticas del sistema.
- **Amortización del Invierno:** durante el verano, se puede incluir una cuota para amortizar los costos del invierno, permitiendo tener una tarifa más uniforme a lo largo del año.
- **Impuestos:** Los impuestos aplicables al rubro deben ser incorporados también a la tarifa, pues constituyen costos operativos del sistema.
- **Otros:** Además es necesario fijar las políticas de ajustes (redondeo de valores a cobrar) y de multa de retrasos e intereses.

6.2 Modelo de negocio para proyectos seleccionados

En la tabla 6.3, se presenta el modelo de negocio para los proyectos residenciales seleccionados. En la tabla 6.4, se presenta el modelo de negocio para el proyecto mixto seleccionado.

	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Modelo de negocio	Servicio de energía útil.	Servicio de energía útil.	Servicio de energía útil.
Mercado objetivo	Proyecto de viviendas sociales dirigido a familias de clase socioeconómica baja, con avalúos de 586 UF por vivienda. Por el bajo nivel de ingresos de estas familias, la disposición a pago puede ser un tema complejo.	Proyecto dirigido a familias de clase socioeconómica media o media-baja, con avalúos de 950 UF por vivienda. Aunque no está dirigido a familias vulnerables, necesariamente, la disposición a pago debe considerarse como un factor de riesgo.	Proyecto dirigido a familias de clase socioeconómica media, con avalúos de entre 1.000 y 1.200UF por vivienda. Aunque no está dirigido a familias vulnerables, necesariamente, la disposición a pago podría complicarse.

Producto/ servicio	<ul style="list-style-type: none"> ■ Calefacción y ACS por circulación de agua caliente.
Actividades clave y Participantes	<ul style="list-style-type: none"> ■ Abastecimiento de biomasa: proveedor de astillas de cosecha forestal ■ Instalación, operación y mantenimiento de la planta térmica: ESCO ■ Instalación, operación y mantenimiento de la red primaria: inmobiliaria ■ Instalación equipos de distribución interior: inmobiliaria ■ Operación equipos distribución interior: cliente final ■ Mediciones, cobro y servicio post-venta: ESCO ■ Seguros, contratos y financiamiento: ESCO ■ Supervisión de correcta prestación de servicio: cliente/autoridades públicas ■ Promoción de tecnologías: ESCO/Gobierno Regional
Estructura de ingresos y costos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Suministro de biomasa: intercambio comercial entre ESCO y proveedor de biomasa ■ Se establece un contrato de prestación de servicios con cada cliente. Se instala un medidor de consumo en cada vivienda y se cobra tarifa establecida en contrato, ajustable según lo señalado en el mismo. ■ Tarifa incluye toda la gestión de la operación: energía primaria (abastecimiento de biomasa), energía secundaria (generación de calor en central térmica) y servicio de energía útil (distribución hasta las viviendas y en circuito de distribución al interior de las viviendas). ■ En caso de haber subsidio estatal, este monto no será traspasable a la tarifa, lo que se traduce en un beneficio económico para el cliente final y un beneficio social para el Estado.

Tabla 6.3: Modelo de negocio para los proyectos residenciales seleccionados

Fuente: elaboración propia

	Hospital Fusat	Clínica Isamedica	Condominio Alto del Valle	Supermercado Jumbo (opcional)
Modelo de negocio	Servicio de ahorro de energía	Servicio de ahorro de energía	Servicio de energía útil	Servicio de ahorro de energía
Mercado objetivo	Superficie total de 14.900 m ² . Actualmente, el calor se genera a partir de dos calderas a vapor que funcionan con carbón. Existe infraestructura para un recambio a biomasa.	Superficie total de 7.000 m ² . Actualmente, existen 2 calderas que funcionan con gas licuado.	Superficie total de 13.230 m ² , repartida entre 5 edificios de 7 pisos cada uno, con 2.646 m ² por edificio y 378 m ² por planta.	Superficie de 10.400 m ² en área de tienda y 5.700 m ² en área de servicios. No tiene sistema de calefacción, gran consumo de electricidad para aire acondicionado.
Producto/servicio	Calefacción y ACS por circulación de agua caliente.			A/C por circulación de agua caliente.
Actividades clave y Participantes	<ul style="list-style-type: none"> ■ Abastecimiento de biomasa: proveedor de astillas de cosecha forestal ■ Instalación, operación y mantenimiento de la planta térmica: ESCO ■ Instalación equipos de distribución interior: equipos ya instalados ■ Operación equipos distribución al interior de edificios: cliente final ■ Mediciones, cobro y servicio post-venta: ESCO ■ Seguros, contratos y financiamiento: ESCO ■ Supervisión de correcta prestación de servicio: cliente/autoridades públicas ■ Promoción de tecnologías: ESCO/Gobierno Regional 			
Estructura de ingresos y costos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Suministro de biomasa: intercambio comercial entre ESCO y proveedor de biomasa ■ Se establece un contrato de prestación de servicios con cada cliente. Se instala un medidor de consumo en cada edificio y se cobra tarifa establecida en contrato, ajustable según lo señalado en el mismo. ■ Tarifa incluye toda la gestión de la operación: energía primaria (abastecimiento de biomasa), energía secundaria (generación de calor en central térmica) y servicio de energía útil (distribución hasta los edificios y en circuito de distribución al interior de éstos). ■ En caso de haber subsidio estatal, este monto no será traspasable a la tarifa, lo que se traduce en un beneficio económico para el cliente final y un beneficio social para el Estado. 			

Tabla 6.4: Modelo de negocio para el proyecto mixto seleccionado

Fuente: elaboración propia

7

Requerimientos térmicos

7.1 Requerimientos residenciales

7.1.1 Metodología general de cálculo

La calefacción y el agua caliente sanitaria siguen patrones de consumo distintos. La razón se debe a la temperatura de consumo en ambos casos: para calefacción, se establece una temperatura de consumo final de 21°C, con un nivel mínimo de 15°C durante la noche, mientras que el ACS se consume a 60°C. Esta diferencia se traduce en que la calefacción sólo se observa en aquel periodo del año en que la temperatura ambiente desciende de los niveles establecidos como confortables, mientras que la temperatura requerida para el ACS será superior a la temperatura ambiente durante todo el año.

7.1.1.1 Eficiencia térmica del sistema

Estimar la eficiencia global del sistema es un tema complejo, que depende de muchos factores. En la central térmica, las principales pérdidas se dan en la caldera y en los depósitos de inercia. La eficiencia de las calderas es muy variable y depende de sus características constructivas, de su carga de trabajo y de la calidad de la biomasa. Se puede asumir una eficiencia probable de un 90%, aunque, en condiciones óptimas de operación, puede ser mayor.

Las pérdidas en la red de distribución se dan por transferencia de calor en la superficie de éstas. Debidamente aisladas, las pérdidas de eficiencia por la distribución de calor están en rangos del 3% al 5% de la potencia térmica del proyecto, como puede verse en los cálculos reportados en capítulos posteriores.

En las viviendas no existen pérdidas por distribución, ya que cualquier calor cedido al ambiente es útil.

En general, la eficiencia global del sistema puede estar en un rango de 75-85%, por lo cual se asume un valor conservador de un 75%. Esto quiere decir que, de un 100% del contenido calórico del combustible utilizado, por lo menos un 75% se aprovechará como calor útil en las viviendas. Teniendo una estimación más precisa de la eficiencia global del

sistema, el cálculo de los requerimientos térmicos y la potencia de generación son fácilmente corregibles.

7.1.1.2 Requerimiento de calefacción

El cálculo del requerimiento de calefacción de las viviendas se realiza en base a un programa de cálculo de simulación térmica dinámica de edificios llamado TRNSYS.

En general, la modelación se hace en base a dos zonas térmicas (vivienda y entretecho), se incorpora la geometría en forma detallada de cada tipología de vivienda (superficies de cada elemento en cada orientación), así como las propiedades térmicas de los elementos de la envolvente.

Junto con eso, se ha considerado un modelo de comportamiento humano que es, en un sentido amplio, el efecto que tiene el ser humano sobre el consumo de energía en una vivienda. Éste es un efecto muy importante para las condiciones de Chile, ya que puede diferir en más de un 300% respecto a las condiciones estándares de cálculo que se usan actualmente. Este tema ha tomado mucho énfasis a nivel mundial, en el sentido de mejorar los modelos, de tal forma de que permitan obtener el consumo de energía real en una vivienda y no sólo referencial.

En este proyecto, nos enfocamos en el elemento principal del modelo, que es el más importante y que se refiere a cómo maneja la gente el encendido y apagado de la calefacción. Para ello, se consideran 4 patrones de consumo. Esto está basado en un estudio realizado sobre 75 viviendas de bajo costo entre Talca y Coyhaique¹⁶, poniendo especial énfasis en 15 viviendas estudiadas en Talca, que corresponde a la misma zona térmica que Rancagua (zona 3).

Modelo	Características
A	Uso continuo de calefacción día y noche, 24 horas al día
B	Calefacción encendida durante 15 horas al día, entre las 8 y 23 horas
C	Calefacción encendida durante 11 horas al día, entre las 12 y 23 horas
D	Calefacción encendida durante 4 horas al día, entre las 18 y 22 horas

Tabla 7.1: Modelos de comportamiento humano en consumo de calefacción

Fuente: Fissore (2013)

¹⁶ Fissore (2013)

El uso de cada uno de estos patrones depende de una serie de factores: tipo de energía, costo, tipo de calefactor, composición de la familia, tiempo de estadía en la vivienda, nivel socioeconómico, etc.

En un esquema de calefacción por leña, deben descartarse los modelos A y B, por no representar un comportamiento observable en las viviendas estudiadas, mientras que se considera el caso C como el más representativo para los proyectos en estudio: este patrón de comportamiento se observó en viviendas similares de la ciudad de Talca, que se encuentra en la misma zona térmica que Rancagua. El caso D se observa en viviendas que utilizan un combustible de mayor costo para calefaccionar, como sistemas a gas o parafina.

Es difícil predecir cuál de estos patrones se observaría con una calefacción distrital, ya que no se tiene experiencia al respecto en Chile. Si el costo de la energía es similar al de la leña, podría esperarse un patrón similar al C; sin embargo, dependiendo de cómo se realice el detalle del sistema distrital, el patrón de consumo podría cambiar un poco, en función de la facilidad que se tenga para encender y apagar el sistema, entre otras variables.

Por otra parte, para una óptima operación de la caldera, se esperaría un consumo lo más estable posible, ya que la combustión pierde eficiencia en paros y arranques. Por este motivo, también se evaluó un esquema de tarifa diferenciada que estimule el consumo nocturno. Esto permite un mayor nivel de confort, a la vez que estabiliza la operación diaria de la central térmica y reduce la intensidad de los peaks de consumo, ya que la vivienda no pierde inercia térmica durante la noche. Esto se traduce en una reducción de la potencia de diseño de la caldera.

En síntesis, se evaluaron los siguientes escenarios de consumo:

- Temperatura de 21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs, sin calefacción el resto del día
- Temperatura de 21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs y de 15°C el resto del día

7.1.1.3 Requerimiento de ACS

Los requerimientos de ACS se determinaron a partir de los valores reportados en el Código Técnico de Edificación (CTE)¹⁷, de la normativa española.

¹⁷ El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), España.

Criterio de demanda	Litros al día de ACS a 60 °C	
Viviendas unifamiliares	30	por persona
Edificios de viviendas	22	por persona
Hospitales y clínicas	55	por cama
Hotel ****	70	por cama
Hotel ***	55	por cama
Hotel/Hostal **	40	por cama
Camping	40	por emplazamiento
Hostal/Pensión*	35	por cama
Residencia (ancianos, estudiantes, etc.)	55	por cama
Vestuarios/Duchas colectivas	15	por servicio
Escuelas	3	por alumno
Cuarteles	20	por persona
Fábricas y talleres	15	por persona
Administrativos	3	por persona
Gimnasios	20 a 25	por usuario
Lavanderías	3 a 5	por kilo de ropa
Restaurantes	5 a 10	por comida
Cafeterías	1	por almuerzo

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	7	Más de 7
Número de personas	2	3	4	6	7	8	9	Nº de dormitorios

Tabla 7.2: Consumos referenciales de ACS

Fuente: Código Técnico de Edificación (CTE), normativa española

Para calcular las necesidades de ACS de los conjuntos habitacionales presentados en el capítulo previo, se consideró un promedio de 4 habitantes por vivienda y, de acuerdo a la tabla 7.2, un consumo per cápita promedio anual de 30 l/día a 60°C. La temperatura de consumo se consideró en 45°C, la que se obtiene mezclando el agua caliente de alimentación con agua fría de la red. Considerando un consumo estable durante el año de agua a 45°C, el consumo de agua a 60°C varía en el año según la temperatura del agua de la red. Las temperaturas de la red de agua potable se obtuvieron de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) de la Cámara Chilena de la Construcción. Como no existen datos para la ciudad de Rancagua, se tomaron como aproximación los correspondientes a la comuna de Pudahuel, Región Metropolitana.

El consumo térmico para el volumen de ACS establecido equivale a determinar la energía necesaria para llevar ese volumen de agua desde la temperatura de la red hasta los 60°C y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo} = \frac{\dot{v} \cdot c_p (T_{ref} - T_{red})}{\eta_{sistema}},$$

donde

\dot{v} es el flujo volumétrico de ACS,

c_p es el calor específico del agua, que se considera constante e igual a 1 ($\text{cal} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),

T_{ref} es la temperatura de referencia del ACS, que corresponde a 60°C,

T_{red} es la temperatura de la red de agua potable,

$\eta_{sistema}$ es el rendimiento térmico del sistema, que se considera en un 75%.

7.1.1.4 Potencia de generación

La potencia de calefacción para una vivienda o edificio se determina, generalmente, mediante una metodología estandarizada, que consiste en un cálculo en forma estática, considerando una temperatura exterior, llamada temperatura exterior de cálculo, para un año típico (promedio), de tal forma que el 5% de las horas de invierno, la temperatura exterior real sea menor a la temperatura exterior de cálculo. Por ejemplo, la diferencia entre estas dos temperaturas en la ciudad de Rancagua es de 1°C. Esto no significa que el 5% del tiempo, el sistema no sea capaz de entregar la temperatura de confort al interior del recinto, ya que se supone que la carga faltante la absorbe la inercia del edificio.

En este informe, se utilizó una metodología de cálculo a partir de simulaciones térmicas dinámicas de las viviendas. En estricto rigor, las simulaciones dinámicas, como se han hecho acá, no se usan para dimensionar la potencia del sistema. Sin embargo, una buena aproximación a la potencia requerida de calefacción es usar el día más desfavorable del año. Este valor no está necesariamente sobrestimado, como podría pensarse, ya que se está trabajando en base a un año promedio, lo que elimina la existencia de datos atípicos.

La potencia de generación se obtiene a partir de las cargas horarias promedio de calefacción para el día más frío de un año típico (promedio), corregidas por el factor de eficiencia térmica del sistema.

Por otro lado, la potencia de generación de ACS se obtiene de tal forma de satisfacer el consumo durante el mes en el cual la temperatura de la red de agua potable se encuentra

más fría y, por lo tanto, se requiere mayor energía para llevarla a 60°C. Las estimaciones se realizaron considerando un volumen de consumo estable durante 18 horas/día, lo que puede lograrse almacenando el volumen de agua necesario para cubrir las horas punta.

7.1.2 Resultados

7.1.2.1 Calefacción

Los resultados de las simulaciones térmicas dinámicas de las viviendas en estudio, indicaron que la máxima carga de calefacción se daría a las 14 horas. En consecuencia, la potencia de calefacción calculada equivale a la energía necesaria para llevar la temperatura de la vivienda hasta 21°C durante el día más frío de un año promedio, a las 14 horas.

De acuerdo a los resultados que se muestran en detalle en el Anexo A, mantener la calefacción encendida durante las horas de baja demanda permite reducir la carga de calefacción máxima diaria, ya que se requiere menos tiempo para llevar la temperatura interior hasta los 21°C establecidos como nivel de confort.

En la tabla 7.3, se resumen los requerimientos de calefacción de cada proyecto y las variaciones en el consumo y la potencia al cambiar entre un escenario de consumo y otro.

Proyecto	Escenario 1		Escenario 2	
	Consumo calefacción (kWh/año)	Potencia de generación (kW)	Consumo calefacción (kWh/año)	Potencia de generación (kW)
Conjunto La Compañía	2.466.594	3.439	3.078.679 ↑ 24,8%	2.781 ↓ 19,1%
Condominio Samuel Román	331.347	506	464.776 ↑ 40,3%	415 ↓ 18,0%
Parque Viña Santa Blanca	2.214.529	3.665	2.937.578 ↑ 32,7%	2.984 ↓ 18,6%

Tabla 7.3: Consumo anual en calefacción y potencia de generación

Fuente: elaboración propia

Como es de esperarse, el escenario 2 de calefacción se traduce en un aumento en el consumo y una disminución en la potencia, en relación al escenario 1. El aumento en el consumo no muestra la misma proporción en los tres proyectos evaluados, mientras que no existen diferencias significativas en la tasa de disminución de potencia de calefacción entre estos tres proyectos. Estas diferencias se deben a las condiciones particulares de arquitectura de cada vivienda: se requeriría la misma proporción de energía para romper la inercia térmica de las viviendas, mientras que las pérdidas de calor en un régimen de calefacción continua serían distintas. Las curvas diarias de consumo promedio en calefacción se reportan en el Anexo A.

7.1.2.2 Agua caliente sanitaria

En la tabla 7.4, se reportan las estimaciones de consumo térmico en ACS y potencia de generación para los 3 proyectos estudiados. De acuerdo al flujo de ACS necesario por cada vivienda, se estima una potencia de 0,55 kW por vivienda para llevar el agua potable desde la temperatura de la red hasta los 60°C.

	Temperatura de la red (°C)	Conjunto La Compañía		Condominio Samuel Román		Parque Viña Santa Blanca	
		Consumo (kWh)	Potencia (kW)	Consumo (kWh)	Potencia (kW)	Consumo (kWh)	Potencia (kW)
Ene	19,4	119.092	213,4	23.907	42,8	154.731	277,3
Feb	20,3	103.786	205,9	20.834	41,3	134.845	267,6
Mar	19,8	117.232	210,1	23.534	42,2	152.314	273,0
Abr	17,7	122.903	227,6	24.672	45,7	159.683	295,7
May	14,7	140.957	252,6	28.296	50,7	183.139	328,2
Jun	11,6	150.368	278,5	30.185	55,9	195.366	361,8
Jul	9,5	165.147	296,0	33.152	59,4	214.569	384,5
Ago	9,2	166.542	298,5	33.432	59,9	216.381	387,8
Sep	10,0	157.570	291,8	31.631	58,6	204.723	379,1
Oct	12,0	153.519	275,1	30.818	55,2	199.461	357,5
Nov	14,6	136.860	253,4	27.474	50,9	177.817	329,3
Dic	17,2	129.326	231,8	25.961	46,5	168.028	301,1
Anual	14,7	1.663.302	298,5	333.897	59,9	2.161.057	387,8

Tabla 7.4: Consumo térmico y potencia de generación en ACS por proyecto

Fuente: elaboración propia

7.1.2.3 Resumen requerimientos térmicos

En las tablas 7.5 y 7.6, se resumen los consumos térmicos de los 3 proyectos estudiados, bajo los escenarios 1 y 2 de calefacción, respectivamente. Se observa que el ACS representa entre un 40% y un 50% del consumo total de calor para el escenario 1 y entre un 35% y un 42% para el escenario 2. La calefacción representa el resto.

	Conjunto La Compañía			Condominio Samuel Román			Parque Viña Santa Blanca		
	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total
Ene	0	119.092	119.092	0	23.907	23.907	0	154.731	154.731
Feb	0	103.786	103.786	0	20.834	20.834	0	134.845	134.845
Mar	0	117.232	117.232	0	23.534	23.534	0	152.314	152.314
Abr	0	122.903	122.903	0	24.672	24.672	0	159.683	159.683
May	447.628	140.957	588.585	59.248	28.296	87.544	393.578	183.139	576.718
Jun	556.486	150.368	706.854	78.097	30.185	108.282	533.072	195.366	728.438
Jul	630.135	165.147	795.282	88.007	33.152	121.160	593.366	214.569	807.935
Ago	521.532	166.542	688.074	69.318	33.432	102.750	459.146	216.381	675.527
Sep	310.813	157.570	468.383	36.677	31.631	68.309	235.367	204.723	440.091
Oct	0	153.519	153.519	0	30.818	30.818	0	199.461	199.461
Nov	0	136.860	136.860	0	27.474	27.474	0	177.817	177.817
Dic	0	129.326	129.326	0	25.961	25.961	0	168.028	168.028
Anual	2.466.594	1.663.302	4.129.896	331.347	333.897	665.244	2.214.529	2.161.057	4.375.586

Tabla 7.5: Consumo (kWh) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto

Fuente: elaboración propia

	Conjunto La Compañía			Condominio Samuel Román			Parque Viña Santa Blanca		
	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total
Ene	0	119.092	119.092	0	23.907	23.907	0	154.731	154.731
Feb	0	103.786	103.786	0	20.834	20.834	0	134.845	134.845
Mar	0	117.232	117.232	0	23.534	23.534	0	152.314	152.314
Abr	0	122.903	122.903	0	24.672	24.672	0	159.683	159.683
May	547.328	140.957	688.285	88.984	28.296	117.280	531.331	183.139	714.470
Jun	694.986	150.368	845.353	118.258	30.185	148.443	719.647	195.366	915.013
Jul	806.088	165.147	971.236	137.035	33.152	170.188	801.044	214.569	1.015.613
Ago	658.004	166.542	824.546	107.579	33.432	141.011	619.847	216.381	836.228
Sep	374.133	157.570	531.702	55.661	31.631	87.292	317.746	204.723	522.469
Oct	0	153.519	153.519	0	30.818	30.818	0	199.461	199.461
Nov	0	136.860	136.860	0	27.474	27.474	0	177.817	177.817
Dic	0	129.326	129.326	0	25.961	25.961	0	168.028	168.028
Anual	3.080.538	1.663.302	4.743.841	507.517	333.897	841.414	2.989.615	2.161.057	5.150.671

Tabla 7.6: Consumo (kWh) en calefacción y ACS para escenario 2, por proyecto

Fuente: elaboración propia

En las tablas 7.7 y 7.8, se reporta la potencia de generación de calor para cada uno de los 3 proyectos estudiados, bajo los escenarios 1 y 2 de calefacción, respectivamente. Se observa que el ACS representa entre un 8% y un 11% de la potencia total de generación calor para el escenario 1 y entre un 10% y un 12% para el escenario 2. La calefacción representa el resto.

	Conjunto La Compañía			Condominio Samuel Román			Parque Viña Santa Blanca		
	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total
Ene	0	213	213	0	43	43	0	277	277
Feb	0	206	206	0	41	41	0	268	268
Mar	0	210	210	0	42	42	0	273	273
Abr	0	228	228	0	46	46	0	296	296
May	2.538	253	2.791	355	51	406	2.623	328	2.951
Jun	3.052	278	3.331	433	56	489	3.206	362	3.568
Jul	3.439	296	3.735	506	59	565	3.665	385	4.049
Ago	2.979	298	3.277	429	60	489	3.176	388	3.564
Sep	2.152	292	2.443	289	59	348	2.241	379	2.620
Oct	0	275	275	0	55	55	0	357	357
Nov	0	253	253	0	51	51	0	329	329
Dic	0	232	232	0	47	47	0	301	301
Anual	3.439	298	3.735	506	60	565	3.665	388	4.049

Tabla 7.7: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto

Fuente: elaboración propia

	Conjunto La Compañía			Condominio Samuel Román			Parque Viña Santa Blanca		
	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total
Ene	0	213	213	0	43	43	0	277	277
Feb	0	206	206	0	41	41	0	268	268
Mar	0	210	210	0	42	42	0	273	273
Abr	0	228	228	0	46	46	0	296	296
May	2.159	253	2.411	317	51	367	2.230	328	2.558
Jun	2.490	278	2.768	373	56	429	2.725	362	3.087
Jul	2.818	296	3.114	426	59	486	3.115	385	3.500
Ago	2.474	298	2.772	373	60	433	2.700	388	3.087
Sep	1.825	292	2.117	263	59	322	1.904	379	2.284
Oct	0	275	275	0	55	55	0	357	357
Nov	0	253	253	0	51	51	0	329	329
Dic	0	232	232	0	47	47	0	301	301
Anual	2.818	298	3.114	426	60	486	3.115	388	3.500

Tabla 7.8: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto

Fuente: elaboración propia

En la figura 7.1, se resumen las gráficas de consumo y potencia de calefacción y ACS bajo los escenarios 1 y 2 de calefacción. Estas gráficas corresponden al proyecto Conjunto La Compañía, los otros dos proyectos evaluados muestran patrones muy similares.

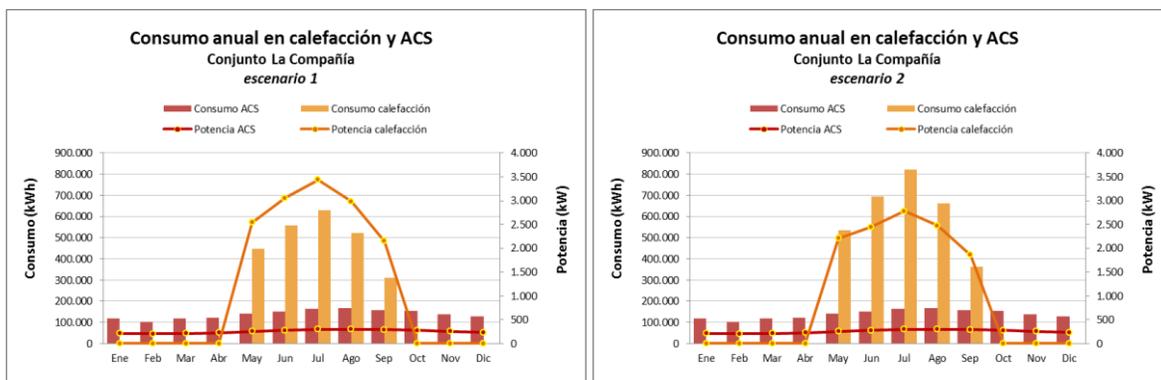


Figura 7.1: Consumo residencial en calefacción y ACS

Fuente: elaboración propia

7.2 Requerimientos proyecto mixto

7.2.1 Metodología general de cálculo

En esta sección, se define el perfil de consumo térmico y eléctrico de los edificios que componen este proyecto. La metodología, en cada caso, depende del tipo de consumo y de la información disponible. En general, la información disponible es muy escasa y, en algunos casos, contradictoria. Sin embargo, se puede definir un procedimiento general.

Inicialmente, se realiza una estimación teórica de los diferentes consumos, basada en elementos como planos, especificaciones técnicas y datos de distinta índole, recopilados en terreno. Para obtener estos valores a un nivel horario, se utilizan diferentes técnicas, dependiendo de cada caso en particular. Algunas de las técnicas utilizadas son:

- Para la calefacción y aire acondicionado, se utiliza un programa de cálculo dinámico de energía en edificios (TRNSYS).
- Para la iluminación, se utiliza información obtenida en terreno sobre el tipo de artefactos utilizados, y los resultados de las mediciones de intensidad de iluminación y perfil de uso.
- Para otros tipos de cargas, se utilizan diferentes publicaciones de otros trabajos similares, ya sea a nivel nacional o internacional, información que se adapta a las condiciones de este estudio.
- Se utiliza también información de terreno de diferente índole.

Además de este modelo teórico, se intenta conseguir información dura de los consumos de los diferentes energéticos, en base a las cuentas y facturas de uso de éstos. Estos valores de consumo se comparan con los resultados de los modelos teóricos y se realizan las correcciones necesarias. Estas correcciones se hacen en base a dos aproximaciones. En la primera corrección, se realiza lo que se llama una sintonización de los parámetros del modelo, de tal forma de tener una mejor concordancia de los resultados. Esto implica sólo una pequeña modificación de los parámetros de entrada y siempre dentro del rango razonable para cada uno de estos parámetros. Una vez hecha esta sintonización, se hace una corrección en base a un factor empírico único.

Sin embargo, esto no siempre se pudo hacer en forma satisfactoria, ya que, en algunos casos, la información de las facturas no estaba disponible y, en otros casos, ésta no pasó la prueba de consistencia. En efecto, por ejemplo, para el caso de la clínica Isamedica, los valores de consumo de gas eran al menos 10 veces menores a lo esperado, por tanto se desearon. En el caso del condominio Alto del Valle, sólo se tenían valores estimados de las cuentas, por tanto, éstos se usaron sólo para hacer la sintonización de parámetros y no para la corrección final.

En los cuatro edificios evaluados en este proyecto, existe un sistema de generación de calor basado en una caldera. Como no se tenía información sobre la eficiencia real de cada uno de estos equipos, se consideró una eficiencia del 80% para todos ellos.

Para el caso de los equipos de climatización, éstos son todos de la gama de equipos tradicionales como equipos split aire – aire. En todos los casos, se consideró un COP = 2.2.

7.2.2 Hospital Fusat

Para el cálculo del consumo de calefacción, se realiza un modelo dinámico de todo el edificio, separándolo principalmente en 3 zonas: hospital, centro médico y subterráneo. El centro médico se diferencia del hospital, principalmente, en que se atienden consultas ambulatorias y sólo de lunes a viernes. En base a los planos del edificio (se dispone sólo de una planta) y a un levantamiento en terreno, se logra configurar toda la geometría del edificio.

Uno de los aspectos más relevantes en la simulación térmica son las infiltraciones de aire. Como no se pudo conseguir esta información, se utilizaron valores recomendados para este tipo de edificios. Para pasillos, habitaciones y locales en general, se recomienda un valor de 2 ren/h. En los quirófanos, se recomienda 20 ren/h y en las salas de urgencia y procedimientos, 12 ren/h. Por tanto, una gran parte de la superficie del edificio requiere 2 ren/h y el resto, esporádicamente, valores mayores. Para las simulaciones, se consideró un flujo de ventilación promedio de 2,5 ren/h en el periodo de uso y de 0,5 ren/h en periodo en que no se utiliza, como, por ejemplo, el sector de las consultas ambulatorias durante los días en que no se encuentra operando.

La iluminación debe considerarse tanto desde el punto de vista del consumo eléctrico como del aporte de calor interno que entrega al balance térmico del edificio. En general, los espacios están iluminados con tecnología de nivel medio, cuyo índice VEEI se estimó en valores del orden de 4 [W/m² por cada 100 lúmenes de iluminación]. Considerando los niveles de iluminación medidos y requeridos, que fluctúan entre 80 a 130 lux, y la relativamente baja mantención de las luminarias, se considera un valor para la potencia de iluminación de 6,4 [W/m²]. El valor anterior se usa en todos los sectores, excepto en el sector de las consultas ambulatorias, donde claramente es diferente. En este sector, remodelado recientemente, se usan tecnologías más eficientes, pero con intensidades de iluminación mucho más altas (entre 250 a 300 lux medidos). Considerando estos elementos, se estimó un valor de 14 [W/m²] en iluminación de este sector.

A estos valores de potencia máxima disponible de iluminación, se le asigna un patrón de uso, en el que se define qué porcentaje de las luces permanecen encendidas para cada hora del día y cada periodo del año.

Las cargas internas de las personas se consideran en base a dos indicadores. Durante el día, se considera una ocupación de 8 m² por persona y una disipación de calor de 60 W/persona. Durante la noche, se consideran 200 personas (el hospital tiene 140 camas). En la zona de consulta ambulatoria, no se considera ocupación ni en la noche ni los fines de semana. Las cargas debido a las personas, se multiplicaron por un factor igual a 1,5 para tener en cuenta las otras cargas internas.

Considerando todos los valores anteriores, se realiza la simulación dinámica del consumo de calefacción mediante el software TRNSYS. Al compararlo con el resultado de las cuentas, se obtiene una diferencia de 2%, la que se corrige mediante un factor simple. Se debe aclarar que para llegar a la diferencia del 2%, antes se debió realizar una sintonización de parámetros, modificando aquellos de mayor incertidumbre, pero siempre dentro de un rango totalmente posible. Con esto, se obtiene un modelo validado del consumo de energía en calefacción en el hospital, lo que resulta útil en las próximas etapas del proyecto.

Del análisis de las cuentas de consumo, se puede ver que el ítem “otros consumos térmicos” (aquellos que no son calefacción) corresponden a un 32% del consumo total de energía térmica. Para los cálculos se mantiene este valor, pero con un patrón de uso diferente. En efecto, se considera un patrón de uso relacionado con el porcentaje de ocupación del edificio en lugar del patrón de consumo de calefacción.

Para el caso de los “otros consumo eléctricos”, aquellos que no corresponden ni a iluminación ni a aire acondicionado, se han tomado datos referenciales de la literatura. Se ha encontrado que el consumo de iluminación en este tipo de edificios tiene una ponderación de entre un 20 a un 30% del consumo total de energía eléctrica. Considerando este rango y considerando el consumo eléctrico de las cuentas, se ajustan los valores de “otros consumos eléctricos” para alcanzar el valor de 20%, que es el más próximo al rango según los datos disponibles. Con esto, se tiene de todas maneras una diferencia del 5% entre lo calculado y las cuentas. Por tanto, el valor final a considerar se corrige por este factor en forma constante.

Con todo lo anterior se configura el perfil de consumo hora a hora, tanto para los consumos térmicos (carbón) como para los consumos eléctricos.

7.2.3 Clínica Isamedica

Para la generación de calor, se cuenta con 2 calderas que funcionan con gas licuado y suministran calor para calefacción y agua caliente sanitaria en habitaciones, oficinas administrativas, casinos y pabellones. Las autoclaves y las zonas de esterilización son cubiertas con calor producido por corriente eléctrica. El estanque de almacenamiento de agua caliente tiene una capacidad de 1.000 kg.

Para el aire acondicionado, se dispone de equipos del tipo bomba de calor. En verano, funcionan en forma simultánea los sistemas de caldera y bomba de calor.

Tanto los consumos de gas como los de electricidad entregados por la administración del edificio, están completamente fuera de rango de lo esperado, por tanto, no se

consideraran en el análisis. Dado que, en este caso, no se dispone de valores para la verificación, se asumirán en general los mismos parámetros y condiciones en que se simuló el hospital, pero manteniendo las individualidades de cada uno.

El calor para calefacción es suplido tanto por las bombas de calor como por la caldera. No se tiene información fidedigna respecto a cuál es el aporte de cada uno. Sin embargo, se conoce que el aporte de las bombas de calor es menor, ya que se usa sólo en los lugares donde no hay calefacción. Por tanto, se considera que un 80% de la calefacción lo aporta la caldera y el otro 20% la bomba de calor. El frío es aportado en un 100% por la bomba de calor.

Se considera una tasa de iluminación de 8 W/m^2 y una tasa de ocupación de personas de $10 \text{ m}^2/\text{persona}$.

Las tasas de ventilación, ocupación, otras cargas térmicas se consideraron igual que para el caso del hospital, ya que, en este caso, no se tienen los datos de las cuentas y no se puede verificar ni corregir. Para el valor de otras cargas eléctricas, se consideró un poco menos que para el caso del Hospital Fusat, ya que el consumo eléctrico total es proporcionalmente mayor debido a que se utiliza aire acondicionado en toda la clínica (para el hospital era sólo una parte) y parte de la calefacción también es eléctrica.

7.2.4 Condominio Alto del Valle

El edificio posee un sistema centralizado de generación de agua caliente sanitaria y calefacción por edificio.

Para estimar el consumo de agua caliente, se sabe que el gasto en gas durante los meses de verano es de 800.000 pesos al mes. Se asume que se mantiene constante durante el año, por tanto se considera un gasto de 9.600.000 pesos al año por edificio. Esto equivale a 124.600 kWh/año (considerando el poder calorífico y el precio del gas). Por tanto, para las 5 torres, se tiene un consumo de 623.000 kWh/año en agua caliente sanitaria.

Por otra parte, el propietario estima en $1.500.000 \text{ [$/mes por cada torre]}$ el consumo total de gas en invierno (con calefacción). Considerando que el periodo de calefacción residencial en Rancagua es del orden de 5 meses, el consumo anual por torre sería de $5 \times 1.500.000 + 7 \times 800.000 = 13.100.000$ por torre. Por tanto, restando el consumo anual en ACS, queda un consumo anual en calefacción de $\$3.500.000$ por torre, lo que equivale a un consumo de calefacción de 45.000 kWh/año por cada torre y 225.000 kWh/año por las 5 torres. Los valores indicados acá sólo se utilizan como órdenes de magnitud para verificación, ya que los datos entregados por el administrador son sólo aproximados y estimativos.

Para la determinación del consumo eléctrico, se consideraron los mismos perfiles de consumo por vivienda que se consideraron en los proyectos residenciales.

A partir de la simulación dinámica de los edificios, considerando el escenario D de consumo de calefacción (calefacción entre las 18 y las 22 horas, ver tabla 7.1), que es el más probable por el tipo de combustible utilizado (GLP), se obtiene un consumo calculado de 50.356 [kWh/año] para cada edificio, el cual es sólo 10% superior al estimado en base a los costos entregados por el administrador. Esto valida que el escenario utilizado es el correcto. Para los resultados finales, se consideran los resultados de la simulación sin corrección, ya que se considera este valor más correcto que la estimación cualitativa de los dineros promedio gastados por mes que entregó el administrador.

7.2.5 Supermercado Jumbo

El edificio no dispone de calefacción. Sólo cuenta con aire acondicionado. El administrador señala que no es necesario calefaccionar, ya que, con las cargas internas, es suficiente para mantener una temperatura adecuada en el invierno. En efecto, ésta es una práctica usada en casi todos los supermercados de la zona central del país.

El nivel de iluminación medido promedió 800 lux, pero con luminarias de alta eficiencia y buena mantención. Se considera una carga de iluminación de 20,8 W/m². En las zonas de servicio, los niveles de iluminación son más bajos (300 lux) y la eficiencia de los equipos más baja, por tanto se utiliza una carga de iluminación de 10,8 W/m². Adicionalmente, se consideró una reducción de las cargas de iluminación de 35% después de las 17 hrs. Esto corresponde a una medida de eficiencia energética que se está aplicando para reducir el consumo del supermercado.

Para las ganancias por circulación de personas, se considera una ocupación máxima de 10 m²/persona y un patrón de número de personas presentes que varía con la hora del día y si se trata de día de semana o fin de semana. El calor disipado es de 60 W/persona. Tanto la tasa máxima de ocupación como la variación de ocupación se obtienen de un estudio previo del consultor, en que se fijaron estos valores de común acuerdo con la gente de la administración de un Jumbo de Santiago.

Para la ventilación, se considera una tasa promedio de 7 l/s de aire por persona y una cantidad de personas nominal de 1000. Esto implica una cantidad de 0,243 renovaciones por hora. Durante la noche, se considera que la ventilación mecánica no funciona y que ésta disminuye su valor a 0,05 ren/h, cifra también obtenida del estudio anterior.

Del punto de vista de los elementos de la envolvente, se considera una capa de aislante de 10 cm en el techo. Los muros se consideran sin aislación.

Como no se dispone de los valores de las cuentas, no se puede utilizar esta información para corroborar la precisión de los resultados. Sin embargo, se dispone de dos medios para comprobar los resultados.

El primero, es un estudio realizado en Chile, donde se analizan los consumos de más de 50 supermercados. De acá, se obtiene los valores relativos y sobre todo se obtiene el valor de las cargas que no es posible obtener con los modelos utilizados. Por ejemplo, en general, entre el aire acondicionado y la iluminación se consume aproximadamente el 50% de la energía eléctrica del supermercado. Esto se utiliza para definir el otro 50% que es más incierto y difícil de calcular en forma teórica.

El otro medio de verificación es el cálculo de las temperaturas del aire, donde se comprueban los valores subjetivos que se indicaron por parte de los usuarios.

Por tanto, este edificio también se tiene bastante acotado en cuanto a la buena aproximación de los resultados.

7.2.6 Resultados

A continuación, se reportan los resultados globales del proyecto. Para ver el análisis de cada uno de los edificios por separado, revisar el Anexo C.

7.2.6.1 Consumo térmico

En la curva de consumo térmico, se obtienen 2 puntas, una que está dada, principalmente, por el inicio de las actividades de la mañana y la otra que refleja, principalmente, el aumento de consumo en la tarde, cuando comienzan las actividades en el condominio Alto del Valle.

En los gráficos de la figura 7.3, se puede observar la estacionalidad anual de la curva de consumo. También se incluyó el consumo en aire acondicionado, con el propósito de comparar la intensidad de consumo, en relación al requerimiento de calefacción. Como es lógico, el consumo en calefacción se intensifica durante los meses de invierno, mientras que con el consumo de aire acondicionado, esto ocurre durante los meses de verano.

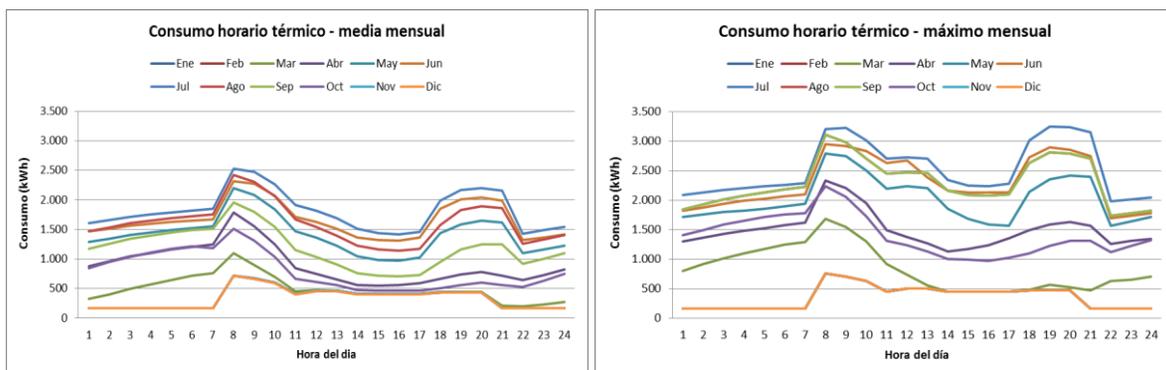


Figura 7.2: Consumo horario mensual en energía térmica, total proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

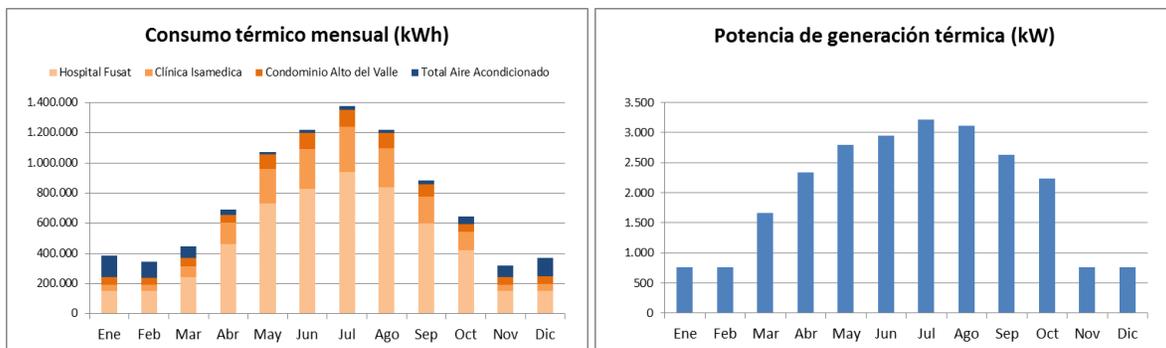


Figura 7.3: Consumo y potencia mensual en energía térmica, total proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Esta diferencia en la estacionalidad de consumo hace interesante la evaluación de un proyecto de DHC (del inglés District Heating Cooling), en el que se satisfacen tanto los requerimientos de calor como de frío para aire acondicionado, ya que uno de los principales problemas de la calefacción distrital residencial es el bajo consumo térmico en verano.

Sin embargo, como se observa de los gráficos, la intensidad de consumo de aire acondicionado es muy baja en comparación a los requerimientos de calefacción, por lo que el efecto en estabilizar el consumo anual no es tan notorio.

Tanto en la Clínica Isamedica como en el Hospital Fusat, el consumo en calefacción es más intensivo que en ACS y otros usos. En el condominio Alto del Valle, el consumo en calefacción no es muy alto, debido a que actualmente se utiliza un combustible caro.

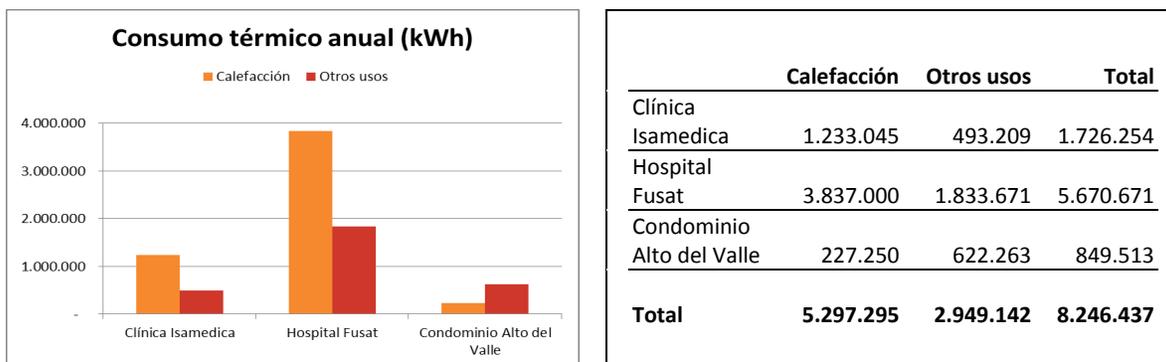


Figura 7.4: Tipo de uso del calor consumido por edificio

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, se realizó un análisis del histograma de consumo, con el fin de diferenciar entre la base de la curva de consumo y la punta. Los detalles se pueden ver en el Anexo C.

De los resultados de este análisis, se puede concluir que con una potencia nominal de 2.000 kW (62% del total), se puede suministrar el calor requerido en un 92% de las horas totales de calefacción al año, lo que equivale, en términos energéticos, a un 97% del total de energía requerida al año. El 3% restante (216.437 kWh/año), se cubriría con el combustible de respaldo (gas licuado). Si la caldera a biomasa se reduce a 1.500 kW (47% del total), entonces se puede suministrar el calor requerido en un 77% de las horas totales de calefacción al año, lo que equivale, en términos energéticos, a un 90% del total de energía requerida al año.

7.2.6.2 Consumo eléctrico

El consumo eléctrico, de acuerdo a lo que muestran las figuras 7.5 y 7.6, es estable durante el transcurso del día y del año, mostrando un nivel de consumo más elevado entre las 8 y las 22 horas, que es cuando están todos los edificios utilizando energía eléctrica simultáneamente.

De acuerdo a la figura 7.7, en la Clínica Isamedica, el Hospital Fusat y el supermercado Jumbo, el consumo eléctrico en aire acondicionado y en iluminación es más bajo que en el resto de los usos. El consumo correspondiente al condominio Alto del Valle es significativamente más bajo que el resto de los edificios evaluados.

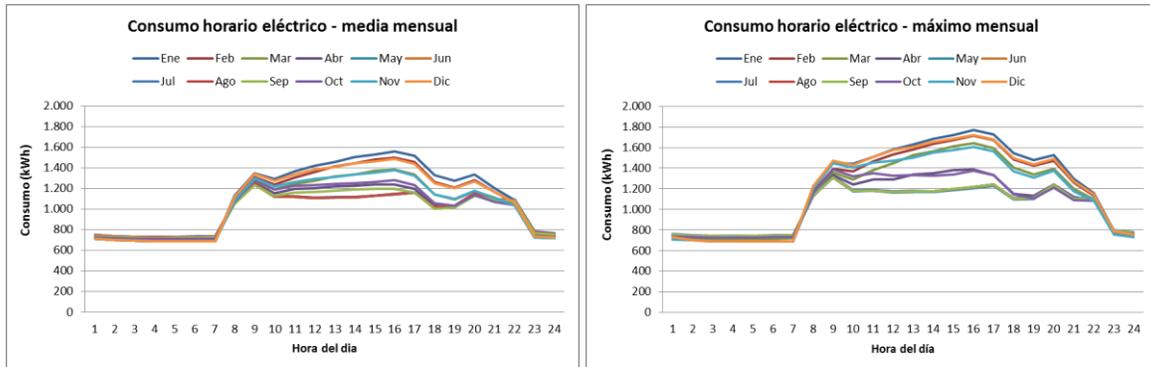


Figura 7.5: Consumo horario mensual en energía eléctrica, total proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

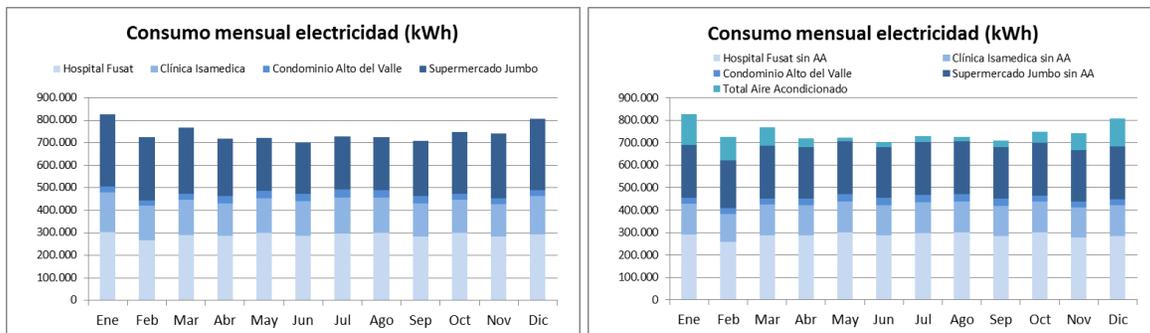


Figura 7.6: Consumo mensual en energía eléctrica, total proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

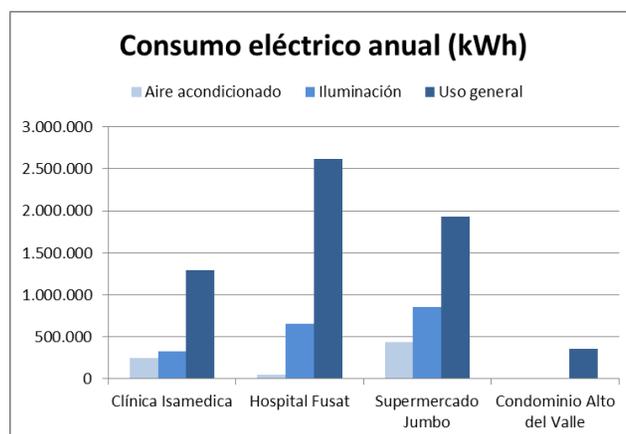


Figura 7.7: Usos de la electricidad consumida por edificio

Fuente: elaboración propia

8 Diseño conceptual de proyectos piloto

8.1 Metodología proyectos residenciales

En esta sección, se definen las características de los equipos de generación y de distribución de calor de los proyectos seleccionados. La definición de las características se basa en el análisis de la curva de demanda energética, la que establece los requerimientos de potencia para el suministro de calor.

8.1.1 Planta de generación

De acuerdo a las potencias en calefacción y ACS reportadas en las tablas 7.7 y 7.8, se define el tamaño de la planta térmica bajo los escenarios 1 y 2 de consumo de calefacción. Debido a que los patrones de consumo de calefacción y ACS son muy distintos, se opta por definir una caldera para cubrir la demanda de ACS durante todo el año, y otra caldera para cubrir la demanda de calefacción durante los 5 meses de frío, ambas funcionando con biomasa. Para dar garantía de suministro en casos de emergencia, paros por mantención o escasez en el suministro de biomasa, se incluye también una caldera de respaldo a gas licuado.

El histograma de distribución de cargas horarias en calefacción durante el año, cuyo análisis en detalle se reporta en el Anexo B, indicó que, en el escenario 2 de consumo, menos de un 10% de las horas anuales de calefacción pueden responder más de un 40% de la potencia de calefacción total del sistema. Por lo tanto, se evaluó también la alternativa de utilizar la caldera de gas licuado como respaldo a la de biomasa durante las horas más intensivas del año en calefacción. La justificación es puramente económica, ya que el costo de inversión por unidad de potencia de una caldera a biomasa es significativamente mayor que en el caso de una caldera a gas licuado. En cambio, el costo por unidad de calor es significativamente mayor en el caso del gas licuado, en comparación a la biomasa considerada.

También con el fin de reducir la potencia de la caldera a biomasa, el activo más costoso de la central térmica, se evaluó la incorporación de depósitos de inercia térmica. Para ello, se analizaron volúmenes de inercia de 70 l/vivienda, 100 l/vivienda, 150 l/vivienda y 200 l/vivienda, para niveles de operación de la caldera de un 60% y un 80%. El análisis en

detalle se reporta en el Anexo B. Los estanques de inercia sirven para estabilizar la operación diaria de la caldera: cuando la caldera no es capaz de suministrar el calor requerido, el calor que falta es extraído de la inercia y la temperatura de los estanques empieza a disminuir; cuando la demanda de calor desciende, la caldera sigue entregando calor a los estanques hasta que éstos recuperan su temperatura inicial.

En síntesis, para los escenarios 1 y 2 de consumo en calefacción, se evaluaron 3 esquemas de generación de calor:

- consumo exclusivo de biomasa
- consumo con respaldo de gas licuado en horas punta
- consumo con respaldo de gas licuado y estanques de inercia

8.1.2 Red de distribución

La red de distribución se diseña a partir del consumo de calor demandado por cada proyecto, lo que determina el flujo de agua caliente que debe pasar por el circuito para llegar a los puntos de consumo a la temperatura de diseño establecida. La arquitectura de la red está condicionada por la ubicación de los distintos puntos de consumo y los trayectos de más fácil acceso para su instalación. En proyectos residenciales, las redes de calor, al igual que las redes de agua potable, siguen los accesos viales, para facilitar posteriormente las labores de mantención y reparación.

El trazado de la red se dividió en un circuito primario y uno secundario, cada uno con líneas de ida y retorno. La red primaria distribuye el agua caliente a los distintos tramos de la red secundaria y ésta a los puntos de consumo final. La temperatura de diseño de la línea de ida se establece en un rango de 80 a 90 °C, mientras que la temperatura de retorno se establece en un rango de 40 a 50 °C. Para efectos de distribuir correctamente los flujos de agua caliente a través de la red, se calcula, en cada tramo, el diámetro adecuado de las tuberías y el espesor requerido de aislante térmico, de forma de mantener un flujo continuo de agua a una velocidad constante de 2 m/s.

El cálculo de las pérdidas de calor en la red se detalla en el Anexo F.

8.1.3 Distribución al interior de los recintos

El diseño de los elementos de distribución de calor al interior de los recintos depende de:

- la potencia de calefacción y ACS requerida: esto determina el tamaño de la estación de transferencia, de los radiadores y de los depósitos de acumulación
- la superficie total de calefacción: indica la cantidad de conexiones internas necesarias para la distribución en todo el recinto

La potencia de calefacción y ACS está dada por los resultados reportados previamente.

8.2 Resultados de proyectos residenciales

8.2.1 Planta de generación

Los proyectos La Compañía y Parque Viña Santa Blanca están emplazados en sitios con buen acceso para vehículos pesados, al limitar con avenidas importantes, la Avenida La Compañía, o Ruta H-15, por el nororiente de la ciudad, en el primer caso, y la Ruta 5, por la entrada sur de la ciudad, en el segundo caso (además de otras avenidas importantes que rodean a este proyecto). En el caso del condominio Samuel Román, las vías son más estrechas (acceso por la calle Machalí, entre las calles Rancagua y Veintiuno de Mayo), pero este proyecto es también bastante más pequeño que los otros dos y requeriría un volumen de biomasa también mucho menor, lo que posibilita el tráfico de máquinas de menor volumen.

Se estima que se requieren unos 100-150 m² de espacio por cada 1 MW térmico instalado, los que se distribuyen entre la sala de máquinas y la zona de acopio de biomasa. Los proyectos La Compañía y Parque Viña Santa Blanca son loteos grandes que no tienen mayores restricciones de espacio. En el caso del condominio Samuel Román, como el terreno para este proyecto es bien reducido, habrá que estudiar en detalle las necesidades de espacio para una planta térmica a biomasa, en etapas posteriores de evaluación.

Las potencias de la caldera de ACS, la caldera de calefacción y la caldera de respaldo de la central térmica de los tres proyectos residenciales, bajo los dos escenarios de consumo de calefacción y los tres esquemas de generación de calor definidos previamente, se reportan en las tablas 8.1, 8.2 y 8.3, respectivamente.

	Sólo consumo biomasa		Respaldo gas licuado en horas punta		Respaldo gas licuado + estanques de inercia	
	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario
	1	2	1	2	1	2
Caldera ACS	300	300	300	300	300	300
Caldera calefacción	3.500	2.800	2.500	2.000	2.000	2.000
Caldera respaldo	3.500	2.800	2.500	2.000	2.000	2.000
Central térmica biomasa	3.800	3.100	2.800	2.300	2.300	2.300

Tabla 8.1: Potencia de central térmica (kW), Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

	Sólo consumo biomasa		Respaldo gas licuado en horas punta		Respaldo gas licuado + estanques de inercia	
	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario
	1	2	1	2	1	2
Caldera ACS	60	60	60	60	60	60
Caldera calefacción	500	450	350	300	300	300
Caldera respaldo	500	450	350	300	300	300
Central térmica biomasa	560	510	410	360	360	360

Tabla 8.2: Potencia de central térmica (kW), Condominio Samuel Román

Fuente: elaboración propia

	Sólo consumo biomasa		Respaldo gas licuado en horas punta		Respaldo gas licuado + estanques de inercia	
	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario
	1	2	1	2	1	2
Caldera ACS	400	400	400	400	400	400
Caldera calefacción	3.700	3.200	2.600	2.200	2.200	2.200
Caldera respaldo	3.700	3.200	2.600	2.200	2.200	2.200
Central térmica biomasa	4.100	3.600	3.000	2.600	2.600	2.600

Tabla 8.3: Potencia de central térmica (kW), Parque Viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

8.2.2 Red de distribución de calor

El diseño conceptual de la red de distribución de calor para cada proyecto, se reporta en detalle en el Anexo E. A continuación, se resumen las características principales en cada caso.

Ítem	Unidad	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Tubería fierro Sch 40 15 mm	m	1.112	-	-
Tubería fierro Sch 40 20 mm	m	376	-	-
Tubería fierro Sch 40 25 mm	m	2.443	-	585
Tubería fierro Sch 40 32 mm	m	1.576	984	1.552
Tubería fierro Sch 40 40 mm	m	1.026	31	2.724
Tubería fierro Sch 40 50 mm	m	805	-	1.231
Tubería fierro Sch 40 65 mm	m	320	-	548
Tubería fierro Sch 40 80 mm	m	227	359	358
Tubería fierro Sch 40 100 mm	m	78	-	-
Tubería fierro Sch 40 125 mm	m	-	-	40
Total tuberías	m	7.963	1.374	7.038
Aislación tuberías	m³	13,8	3,0	12,0
Pérdidas de calor	kcal/h	123.018	18.900	105.222

Tabla 8.4: Dimensionamiento de la red de distribución en los proyectos residenciales

Fuente: elaboración propia

8.2.3 Distribución al interior de las viviendas

De acuerdo a los consumos horarios máximos anuales, se determina la potencia de calefacción requerida por vivienda. Mientras tanto, la potencia requerida por cada vivienda en ACS se calcula en 0,55 kW en todos los casos. En la tabla 8.5, se resumen estos requerimientos para los 3 proyectos residenciales.

	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Calefacción			
Escenario 1	6,39	4,68	5,24
Escenario 2	5,18	3,71	4,30
ACS	0,55	0,55	0,55
Total	6,94	5,23	5,79

Tabla 8.5: Potencia térmica requerida por vivienda, proyectos residenciales

Fuente: elaboración propia

Para cumplir con los requerimientos calculados, se requieren estaciones de transferencia de aproximadamente 7 kW de potencia útil.

8.3 Proyecto mixto

8.3.1 Central de generación

Para este proyecto, se evaluaron dos alternativas:

Alternativa 1: Planta térmica para suministro total de los requerimientos de calor.

Alternativa 2: Planta CHP para el suministro total de los requerimientos de calor y suministro parcial o total de los requerimientos de electricidad.¹⁸

Se considera, para efectos de ambas alternativas evaluadas, que la planta de generación se localizaría en la sala de calderas del hospital FUSAT, pues las instalaciones cuentan con todos los requerimientos de espacio, infraestructura y acceso para la instalación y operación de una central a biomasa.

¹⁸ No se consideró la evaluación de producción de frío para aire acondicionado. La razón es que se requeriría un recambio de los equipos de frío, pues los que existen funcionan con electricidad. Se propone la evaluación de este tipo de alternativas en las fases de planificación de nuevos proyectos.

8.3.1.1 Alternativa 1: Planta térmica

El gráfico de la figura 8.1 muestra la curva de comparación entre los ahorros obtenidos por reducir la potencia de la caldera a biomasa, versus el aumento en el costo por consumo de gas licuado que esto significa, llevando los flujos anuales a valor presente con una tasa del 10% a 15 años de evaluación. La función de costos de inversión en la caldera, que se consideró lineal, con un coeficiente de determinación del 99%, se obtuvo a partir de un análisis empírico basado en cotizaciones de dos proveedores de equipos en un rango de potencias que van desde los 500 kW hasta los 3.500 kW.

De acuerdo a lo que se puede apreciar en la figura, la relación costo/ahorro alcanza su valor mínimo en un valor de potencia cercano a los 2.500 kW. Por lo tanto, la potencia de la caldera a biomasa se definió en ese valor. Para esa potencia, el consumo de gas licuado equivale a un 0,4% del total de energía requerido, situación que se da en un 2% de las horas anuales de calefacción. La gráfica muestra también lo peligroso que es que el sistema quede subdimensionado, pues el costo de gas licuado se eleva drásticamente a medida que la caldera a biomasa no puede suministrar la potencia requerida.

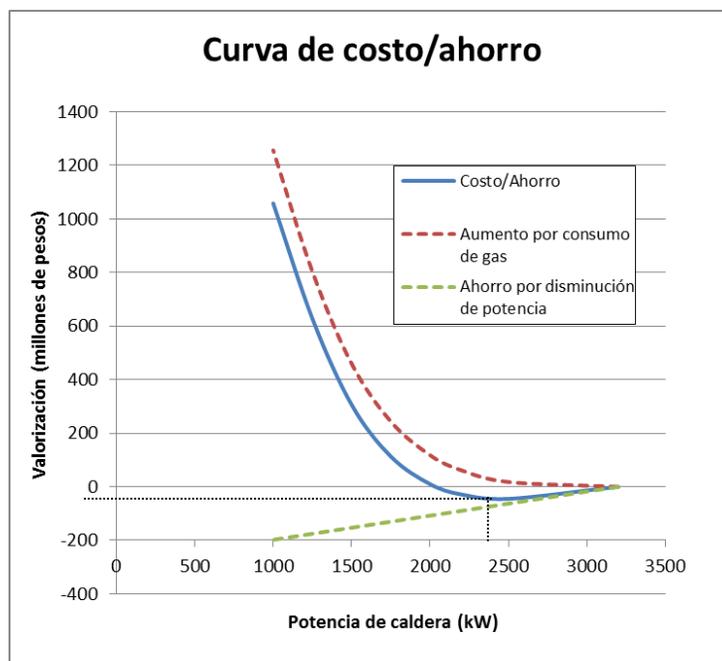


Figura 8.1: Curva de ahorro/costo para definir potencia óptima de caldera a biomasa

Fuente: elaboración propia

El análisis del histograma de distribución de cargas horarias en calor durante el año, se reporta en el Anexo D. En él, se puede ver, por ejemplo, que con una potencia de 2.000 kW, se logra satisfacer un 92% de las horas anuales de consumo térmico, lo que equivale a un 97% del consumo anual.

8.3.1.2 Alternativa 2: Planta CHP

De acuerdo al análisis de las curvas de consumo reportado en la sección 7.2 y como se puede observar en la figura 7.4, el consumo de calor distinto a la calefacción equivale a un 36% del total del proyecto. Considerando que los usos de calor distintos a la calefacción son mucho más estables en la variabilidad diaria y anual, sumado al hecho de que los requerimientos simultáneos de calor de los edificios considerados disminuyen la variabilidad conjunta, se optó por estudiar la viabilidad económica de instalar y operar una planta CHP.

Para definir el tamaño de la planta CHP, primero se debe definir si se busca maximizar la producción de electricidad, lo que se traduce en una pérdida de eficiencia energética global, pues se produce calor residual que se debe eliminar, o maximizar la eficiencia energética, para lo cual se limita la producción de calor a los requerimientos y se genera electricidad de acuerdo a la potencia disponible. Por lo tanto, se evaluaron las dos alternativas.

Alternativa 2.1: Planta CHP basada en la producción térmica

Con el fin de reducir los costos específicos de producción, la potencia de generación eléctrica se definió de forma de obtener un buen factor de planta para el módulo ORC, el equipo más caro de la central. Dentro de las alternativas tecnológicas evaluadas para este tipo de proyectos, la de menor tamaño fue un módulo ORC Turboden 3 CHP con potencia de 300 Kw_e, alimentado por una caldera a biomasa con producción de aceite térmico a 320°C, de potencia térmica útil igual a 1.800 kW.

Los requerimientos de calor se cubren, principalmente, con la caldera de aceite térmico que alimenta el módulo ORC, con aquella fracción de calor que no se convierte en electricidad, generando un calor útil disponible para procesos térmicos equivalente a 1.500 kW. Además, la planta térmica cuenta con dos calderas para cubrir los consumos punta del sistema: una caldera de agua caliente a biomasa de 1 MW_{th} y una caldera de agua a gas licuado con potencia de 2 MW_{th}. Con esto, se cubren los 2.500 kW que permiten suministrar el 99,6% del calor total requerido por el proyecto, lo que corresponde al óptimo desde un punto de vista económico. El 0,4% restante se cubre con gas licuado.

Los factores de planta se configuraron de tal modo que se maximizara la utilización de la caldera principal de aceite térmico. Se determinó que el 90% de los requerimientos térmicos son cubiertos por la caldera de aceite térmico, con un factor de planta del 60%.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que el calor útil disponible de la caldera de aceite térmico para procesos térmicos, equivale a una potencia de 1.500 kW, se consideró una segunda caldera a biomasa de agua caliente, con una potencia nominal de 1.000 kW.

Alternativa 2.2: Planta CHP basada en la producción eléctrica

Para efecto de determinar el tamaño óptimo de generación eléctrica, se analizó el histograma de consumo eléctrico del proyecto, cuyo análisis en detalle se reporta en el Anexo D. En éste, se observa que la potencia necesaria para suministrar el 100% de los requerimientos eléctricos es de 1.764 kW_e, mientras que con 1.500 kW_e se suministra un 99,8% y con 1.000 kW_e, un 89,0% de los requerimientos totales (ver figura 8.2).

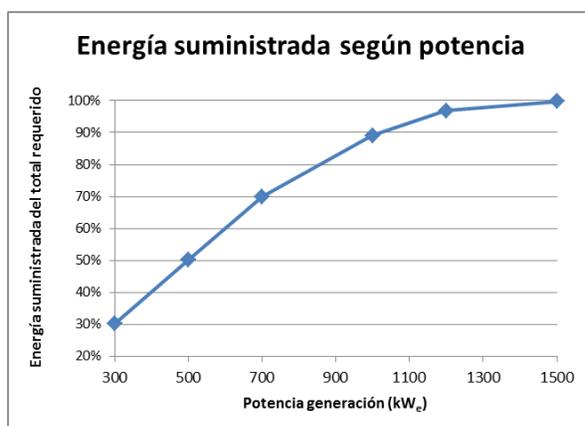


Figura 8.2: Energía eléctrica suministrada por la planta según potencia nominal

Fuente: elaboración propia

Un análisis de los costos y beneficios que se obtienen para cada nivel de potencia, permite encontrar el nivel óptimo desde un punto de vista económico. Para esto, se consideraron tres factores:

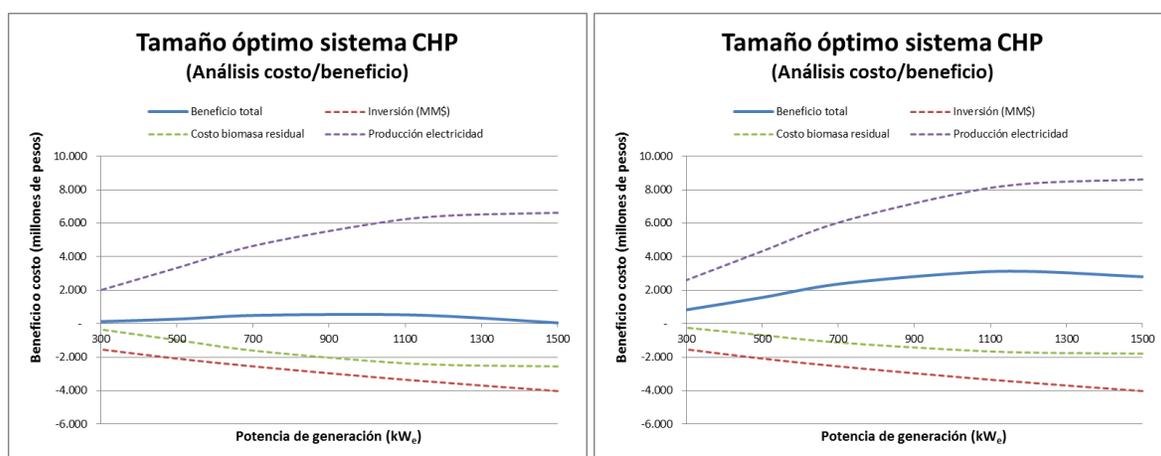
- Aumento de la inversión junto con la potencia eléctrica
- Aumento en el costo por la biomasa utilizada para la producción de calor residual
- Aumento en los ingresos de electricidad por autoproducción

Para cuantificar el punto a. anterior, se trazó una curva de costos de inversión, de acuerdo a valores referenciales obtenidos de un proveedor. La ecuación que define los costos de inversión de una planta ORC con aceite térmico alimentada con biomasa, para una determinada potencia, es $C = 70P^{0,6}$, donde C es el costo de inversión y P es la potencia eléctrica nominal.

Enseguida, se determinó el valor presente, aplicando una tasa de 10% y un periodo de evaluación de 15 años, de los costos anuales de biomasa que se pierden como calor residual del proceso, considerando un costo específico de la biomasa de 100 dólares por tonelada seca, lo que es equivalente a 9,78 \$/kWh, para un PCI de 4.400 kcal/kg en base seca.

Por último, se calculó los ingresos por la producción de electricidad para autoconsumo, considerando un precio de mercado de la electricidad de 100 \$/kWh.

La suma de estos tres conceptos, según se observa en la figura 8.3, entrega la potencia eléctrica que optimiza la utilidad económica.



a) Escenario actual:
Costo biomasa: 9,78 \$/kWh
Costo electricidad: 100 \$/kWh

b) Escenario proyectado:
Costo biomasa: 6,84 \$/kWh
Costo electricidad: 130 \$/kWh

Figura 8.3: Análisis costo/beneficio para definir la potencia eléctrica de la planta CHP

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la figura previa, la potencia eléctrica del sistema CHP no incide fuertemente en la rentabilidad del proyecto, bajo las condiciones actuales de mercado. En

un escenario proyectado en que el costo de la biomasa tendiera a la baja y el costo de la electricidad tendiera al alza, la evaluación se inclina hacia las potencias que van entre los 1.000 y 1.200 kW_e.

En definitiva, se evaluó la rentabilidad de una planta CHP de las mismas características que la evaluada en la Alternativa 2.1, pero operando de acuerdo a los requerimientos eléctricos y no térmicos.

8.3.2 Red de distribución de calor y frío

La red se divide en una rama primaria, una rama secundaria compuesta por 6 tramos, que van a la Clínica Isamedica y las 5 torres del Condominio Alto del Valle, y un tramo para transportar el agua fría al Supermercado Jumbo. Su distribución se muestra en la figura 8.4.



1: Hospital FUSAT 2: Clínica Isamedica 3: Mall Portal Rancagua 4: Condominio Alto del Valle

Figura 8.4: Sistema de distribución de calor y frío del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia sobre imagen de Google Earth

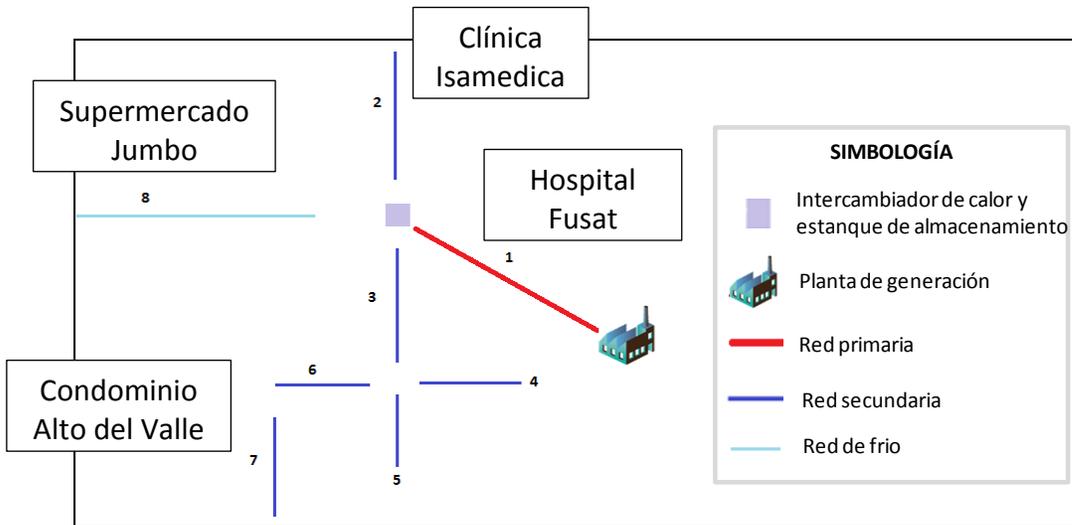


Figura 8.5: Diseño conceptual de la red de distribución de calor y frío del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8.6, se indica, para cada tramo, el flujo de agua, diámetro requerido, diámetro comercial, longitud, espesor de aislante y los márgenes de temperatura a la que circulará el fluido. En lo que respecta al sistema de enfriamiento, el agua es enviada por el tramo 8 al Supermercado Jumbo, con una temperatura de 7°C y retorna aproximadamente a 12°C.

Tramo	Flujo de agua (kg/s)	Diámetro tubería (mm)	Diámetro comercial (mm)	Longitud aprox. (m)	Espesor aislante (mm)	T° fluido (°C)
1	3,60	47,7	50	329	30	80-90
2	0,13	9,1	15	237	20	40-50
3	2,00	35,7	40	131	30	40-50
4	0,40	15,9	20	115	20	40-50
5	0,40	15,9	20	49	20	40-50
6	0,80	22,5	25	66	20	40-50
7	0,40	15,9	20	82	20	40-50
8	20,0	112,8	125	131	40	5-10
Total	-	-	-	1.140	-	-

Tabla 8.6: Especificaciones del diseño de red del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

9 Evaluación económica

9.1 Proyectos residenciales

9.1.1 Inversión inicial

9.1.1.1 Estudios de preinversión

En este ítem, se consideran todos los estudios previos, necesarios para la evaluación de prefactibilidad, factibilidad, planificación, diseño conceptual y de ingeniería, tramitaciones, permisos, estudios ambientales, estudios legales, entre otros.

Para esto, se consideran montos estimativos, que van de acuerdo al tamaño de cada proyecto.

9.1.1.2 Central térmica

A partir de los requerimientos térmicos de cada proyecto, se solicitaron cotizaciones a dos proveedores e instaladores de plantas térmicas en Chile¹⁹. Las características de los equipos a biomasa cotizados se indican en la tabla 9.1.

Los costos asociados a obra civil, fletes, seguros y montaje, se estiman en un 35% del costo de adquisición.

Los costos de adquisición de los equipos de combustión a gas licuado se tomaron de catálogos, como también los equipos de combustión a biomasa de potencias pequeñas y los estanques de inercia térmica. Los montos de precipitadores electrostáticos se estimaron en base a conversaciones con proveedores y los costos del terreno y edificación se estimaron en base a valores referenciales.

¹⁹ Los proveedores consultados fueron Vapores del Sur y Grupo Nova Energía.

Tipo caldera:	Pirotubular 3 pasos para agua caliente.
Combustión:	Quemador automático y horno incinerador.
Biomasa:	Virutas, aserrín, triturados de madera o chips. Humedad máxima de un 25% en base húmeda.
Parrilla:	Móvil refrigerada por agua.
Control de emisiones:	Filtro multiciclón.
Otros:	Limpieza automática de tubos. Extracción automática de cenizas y limpieza del horno. Panel de control con regulación automática de parámetros (sensores de temperatura, sonda lambda, convertidores de frecuencia, otros). Plataforma para control a distancia.

Tabla 9.1: Características de los equipos de combustión cotizados

Fuente: elaboración propia

	Conjunto La Compañía			Condominio Samuel Román			Parque Viña Santa Blanca		
	Dimensión	Cant.	Costo total	Dimensión	Cant.	Costo total	Dimensión	Cant.	Costo total
Caldera ACS biomasa	300 kW	1	65	60 kW	1	15	400 kW	1	65
Caldera calefacción biomasa	2,0 MW	1	180	300 kW	1	65	2,2 MW	1	190
Caldera respaldo gas licuado	2,0 MW	1	80	300 kW	1	20	2,2 MW	1	80
Estanque inercia	10.000 litros	6	42	10.000 litros	1	7	10.000 litros	7	49
Precipitador electrostático		1	80		1	20		1	80
Terreno	500 m ²	1	20	150 m ²	1	6	500 m ²	1	20
Edificación	300 m ²	1	60	50 m ²	1	10	300 m ²	1	60
Obra civil, fletes, seguros y montaje		1	157		1	45		1	163
Total inversión			684			188			707

Tabla 9.2: Resumen de inversión en central térmica, proyectos residenciales, millones de pesos

Fuente: elaboración propia

9.1.1.3 Red de distribución de calor

Los conceptos de costos involucrados en la instalación de la red de distribución de calor corresponden a la compra de tuberías, fittings, recubrimientos térmicos, sistema de bombas y válvulas, y trabajos de soldadura, excavación, retapes, montaje y gastos generales.

Los costos en materiales se determinan a partir de las cubicaciones de la red y los costos unitarios considerados, mientras que se consideran estimaciones globales para los conceptos de bombas, válvulas, accesorios de montaje y control, y gastos generales.

Ítem	Unidad	Rancagua					
		Conjunto La Compañía		Condominio Samuel Román		Parque Viña Santa Blanca	
		Cantidad	Costo total	Cantidad	Costo total	Cantidad	Costo total
Total tuberías	m	7.963	16.914.919	1.374	4.819.994	7.038	18.958.241
Aislación tuberías	m ³	13,8	16.008.000	3,0	3.480.000	12,0	13.920.000
Excavaciones y retapes	m	7.963	55.741.000	1.374	9.618.000	7.038	49.266.000
Fitting y soldaduras	m	7.963	159.260.000	1.374	27.480.000	7.038	140.760.000
Bombas	gl	1	50.000.000	1	10.000.000	1	50.000.000
Válvulas	gl	1	10.000.000	1	2.000.000	1	10.000.000
Accesorios de montaje y control	gl	1	5.000.000	1	1.000.000	1	5.000.000
Gastos generales	gl	1	10.000.000	1	2.000.000	1	10.000.000
Mano de obra montaje tuberías	m	7.963	119.445.000	1.374	20.610.000	7.038	105.570.000
Total			442.368.919		81.007.994		403.474.241

Tabla 9.3: Resumen de inversión en red de distribución de calor, proyectos residenciales, pesos

Fuente: elaboración propia

9.1.1.4 Elementos de distribución de calor en viviendas

Los elementos necesarios para la distribución de calor al interior de las viviendas corresponden a tuberías interiores para circulación de agua caliente, una estación de transferencia de calor por vivienda, radiadores o losa radiante, un acumulador de inercia

por vivienda, un sistema de control y medición de consumo, y la mano de obra de montaje.

En los proyectos residenciales, los costos asociados a cada uno de los elementos se fijaron de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- **Red de tuberías e instalación:** se calculó un costo proporcional a la superficie construida de cada vivienda
- **Estación de transferencia:** se consideró el mismo costo de adquisición por vivienda para todos los proyectos
- **Radiadores y accesorios:** se calculó un costo proporcional a la potencia de calefacción de cada vivienda
- **Depósito de acumulación de agua caliente:** se consideró el mismo costo de adquisición por vivienda para todos los proyectos
- **Sistema de control y accesorios:** se consideró el mismo costo de adquisición por vivienda para todos los proyectos
- **Mano de obra de montaje:** se calculó un costo proporcional a la superficie construida de cada vivienda

Ítem	Unid.	Conjunto La Compañía		Condominio Samuel Román		Parque Viña Santa Blanca	
		Cant.	Costo total	Cant.	Costo total	Cant.	Costo total
Red de tuberías e instalación	m ²	49	490.000	50	500.000	51	510.000
Intercambiador de calor	gl	1	150.000	1	150.000	1	150.000
Radiadores y accesorios	kW	5,18	518.000	3,71	371.000	4,30	430.000
Termos de almacenamiento ACS	gl	1	400.000	1	400.000	1	400.000
Sistema de control y accesorios	gl	1	250.000	1	250.000	1	250.000
Mano de obra montaje	m ²	49	147.000	50	150.000	51	153.000
Total			1.955.000		1.821.000		1.893.000

Tabla 9.4: Resumen de inversión en distribución en viviendas, proyectos residenciales, pesos

Fuente: elaboración propia

9.1.1.5 Resumen de inversión inicial

En la tabla 9.5, se presenta el resumen final de la inversión inicial en los proyectos residenciales de calefacción distrital.

Ítem	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Estudios y permisos	50	20	60
Planta térmica	684	188	707
Red de distribución	442	81	403
Distribución en viviendas	1.052	197	1.323
Total	2.228	486	2.494

Tabla 9.5: Resumen de inversión inicial, proyectos residenciales, millones de pesos

Fuente: elaboración propia

9.1.2 Costos de operación

Los costos de operación considerados en la evaluación de los proyectos fueron:

- **Consumo de combustible:** corresponde al consumo de biomasa principalmente, pero también al consumo de gas licuado, en una proporción que depende del esquema de consumo planificado.
- **Consumo de electricidad:** corresponde principalmente al consumo de las bombas de circulación.
- **Horas hombre de operación:** la normativa chilena obliga a mantener un calderero durante todo el tiempo en que la caldera se encuentre operando. En los sistemas distritales instalados en países desarrollados, esto no se realiza, ya que los sistemas son controlados en forma remota.
- **Gastos de mantención de la central:** el servicio de mantención lo ejecuta, generalmente, el mismo proveedor de calderas, y se estima un monto fijo anual para este ítem.
- **Seguros:** los seguros corresponden, principalmente, al equipamiento; se estima un monto de seguros de un 1% de la inversión inicial en equipos e infraestructura.

- **Gastos de administración y ventas:** son gastos incurridos por concepto de facturación y cobro, atención al cliente, entre otros. También se estima en un monto fijo anual.

A partir de los cálculos de requerimientos energéticos de los proyectos y considerando el poder calorífico de los combustibles, se obtiene el consumo de biomasa y gas licuado en cada caso. En el Anexo G, se reportan estos cálculos. El escenario 2 de consumo (calefacción día y noche) con respaldo de gas licuado en horas punta y estanques de inercia con una capacidad específica de 100 l/vivienda, resultó ser el más rentable, considerando que la incorporación de estanques de inercia permitió reducir los consumos punta sin elevar excesivamente el consumo de gas licuado, cuyo costo unitario es alto y disminuye el margen de utilidad. Por lo tanto, los resultados que se reporten en adelante, considerarán dicho escenario de consumo de calefacción.

Ítem	Unidad	Conjunto La Compañía		Condominio Samuel Román		Parque Viña Santa Blanca	
		Cantidad	Costo total	Cantidad	Costo total	Cantidad	Costo total
Biomasa	ton b.s.	924	46,2	156	7,8	993	49,7
Gas licuado	kg	1.203	1,0	203	0,2	1.293	1,0
Electricidad	kWh	100.000	6,0	10.000	0,6	100.000	6,0
Horas hombre operación	HH	2.500	7,5	2.500	7,5	2.500	7,5
Gastos de mantención	gl	1	5,0	1	2,0	1	10,0
Seguros	gl	1	4,1	1	1,2	1	4,2
Gastos de administración y ventas	gl	1	10,0	1	2,0	1	10,0
Total			79,7		21,2		88,4

Tabla 9.6: Costos de operación, proyectos residenciales, millones de pesos

Fuente: elaboración propia

El costo de adquisición de la biomasa considerada en las evaluaciones fue de 100 dólares la tonelada seca, lo que considera, principalmente, astillas de plantaciones forestales, además de otras fuentes de menor costo en proporciones menores. Este costo es alto en comparación a otras regiones del país, lo que se debe a que el mercado de biomasa está más desarrollado en el sur del país, a nivel de grandes productores que puedan asegurar un suministro a largo plazo. Los costos pueden disminuir significativamente a medida que entren nuevos actores al mercado.

El costo de la biomasa equivale a casi un 60% del costo total de operación de la planta, en los proyectos más grandes. En los proyectos más pequeños, este porcentaje puede disminuir a un 40%, ya que los costos fijos adquieren mayor importancia relativa.

9.1.3 Depreciaciones

Las inversiones que se sometieron a depreciación en las evaluaciones son los equipos de la planta térmica (las 3 calderas y el precipitador electrostático), la edificación de la planta térmica, la red de distribución de calor y los elementos de distribución de calor al interior de las viviendas. Los periodos de vida útil y los porcentajes de rescate de la inversión, se señalan en la tabla 9.7. Se utilizó el método de depreciación lineal.

Ítem	Vida útil (años)	Rescate (% de la inversión)
Equipos planta térmica	15	10%
Edificación planta térmica	20	0%
Red de distribución	30	0%
Distribución interior	20	10%

Tabla 9.7: Esquema de depreciación de activos, proyectos residenciales

Fuente: elaboración propia

9.1.4 Ingresos por ventas

9.1.4.1 Estructura de costos

La metodología utilizada para evaluar económicamente los proyectos residenciales, consistió en determinar los costos de inversión y operación asociados a la implementación de cada uno de ellos, en un horizonte de evaluación de 15 años, los que se tomaron como base para la composición de la tarifa de venta del servicio. Como no existe una referencia de mercado para la tarifa de estos servicios en Chile, ésta se define de forma de que cubra los costos de capital, los costos de operación, los impuestos y un retorno para el inversionista, que se determinó en un 30% del capital invertido.

El criterio para evaluar si los proyectos son rentables o no, consiste en comparar la tarifa obtenida con el costo de otros combustibles alternativos, bajo el supuesto de que la elasticidad precio de la demanda es significativa. Esto se fundamenta en que, para que la evaluación de proyectos comunitarios tenga sentido, es importante establecer condiciones que propicien la fidelidad de los consumidores, ya que existen importantes inversiones no rescatables y una fuga de clientes cambia el escenario en que el proyecto fue evaluado; la rentabilidad del mismo sólo podría sostenerse con un aumento de la tarifa a los demás consumidores, lo que podría agravar la situación anterior y terminar con un fracaso total del proyecto. Para evitar que esto suceda, la tarifa debe quedar claramente establecida desde un principio y mantenerse en un nivel competitivo en relación a otros combustibles alternativos, aun cuando un sistema distrital ofrece un nivel de confort evidentemente superior en relación a los sistemas individuales de calefacción.

Para determinar la tarifa de venta del servicio, se consideró la estructura de costos de cada proyecto. En la tabla 9.8, se reportan los costos anualizados (costo anual equivalente CAE) por vivienda, para todos los proyectos evaluados. El costo actual neto (CAN) por vivienda, para cada proyecto, se reporta en la tabla 9.9.

CAE (\$/año) por vivienda	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Estudios y permisos	12.219	24.347	11.285
Planta térmica	164.174	226.991	130.600
Red de distribución	95.164	86.811	66.805
Distribución interior	237.034	220.787	230.253
Biomasa	85.857	72.035	71.052
Otros costos operación	62.291	124.649	55.343
Total	644.519	731.273	554.053
Total costos capital	508.590	558.936	438.943
Biomasa	85.857	72.035	71.052
Otros costos	62.291	124.649	55.343

Tabla 9.8: Costos anualizados de inversión y operación por vivienda, pesos chilenos

Fuente: elaboración propia

CAN (\$) por vivienda	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Estudios y permisos	92.937	185.185	85.837
Planta térmica	1.248.718	1.726.513	993.353
Red de distribución	723.827	660.293	508.126
Distribución interior	1.802.896	1.679.322	1.751.322
Biomasa	653.037	547.905	540.427
Otros costos operación	473.788	948.090	420.943
Total	4.902.266	5.562.123	4.214.170
Total costos capital	3.868.379	4.251.313	3.338.637
Biomasa	653.037	547.905	540.427
Otros costos	473.788	948.090	420.943

Tabla 9.9: Costo actual neto por vivienda, pesos chilenos

Fuente: elaboración propia

Al analizar la estructura de costos de la tabla 9.10, se observa que los costos de capital están entre un 76% y un 79% del costo total, mientras que el costo de biomasa representa entre un 10% y un 17%.

Estructura de costos	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Estudios y permisos	2%	3%	2%
Planta térmica	25%	31%	24%
Red de distribución	15%	12%	12%
Distribución interior	37%	30%	42%
Biomasa	13%	10%	13%
Otros costos operación	10%	17%	10%
Total	100%	100%	100%
Total costos capital	79%	76%	79%
Biomasa	13%	10%	13%
Otros costos operación	10%	17%	10%

Tabla 9.10: Estructura de costos por vivienda

Fuente: elaboración propia

9.1.4.2 Composición de la tarifa de venta

Tal como se mencionó previamente, las tarifas de calefacción y ACS se compusieron a partir de los costos específicos de capital, más los costos específicos de operación, más los costos específicos por impuesto a las utilidades y más un retorno sobre la inversión, equivalente a un 30% de los costos de capital. La tarifa de calefacción nocturna fue liberada de costos de capital e impuestos, los que se traspasaron a las tarifas de calefacción diurna y ACS, esto con el fin de estimular el consumo en este horario. En la tabla 9.11, se reportan las tarifas calculadas por proyecto. Éstas se expresan por unidad energética, lo que no quiere decir que la forma de cobro sea por tarifa completamente variable, sino que corresponden al ingreso total del proyecto, por usuario conectado, según los cálculos de consumo energético total.

	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Tarifa calefacción diurna (\$/kWh)			
Costos de capital	70,50	92,35	72,13
Costos de operación	16,80	25,25	17,15
Impuestos	20,51	27,06	21,07
Retorno sobre el capital	21,15	27,71	21,64
Total tarifa	128,96	172,37	131,99
Tarifa calefacción nocturna (\$/kWh)			
Costos de capital	0,00	0,00	0,00
Costos de operación	16,80	25,25	17,15
Impuestos	0,00	0,00	0,00
Retorno sobre el capital	0,00	0,00	0,00
Total tarifa	16,80	25,25	17,15
Tarifa ACS (\$/kWh)			
Costos de capital	70,50	92,35	72,13
Costos de operación	16,80	25,25	17,15
Impuestos	20,51	27,06	21,07
Retorno sobre el capital	21,15	27,71	21,64
Total tarifa	128,96	172,37	131,99

Tabla 9.11: Composición de la tarifa de los proyectos residenciales

Fuente: elaboración propia

Como el nivel de tarifas calculado resulta muy elevado en comparación a otros sistemas alternativos de calefacción, es necesario estudiar un mecanismo de subsidio estatal que rentabilice estos proyectos.

La forma más simple de enfocar un subsidio estatal es mediante el financiamiento directo de los elementos que son más complejos de administrar por una empresa privada. En este caso, los elementos de distribución al interior de las viviendas son directamente manipulados por los usuarios finales y la red de distribución primaria de calor es también un tema complejo, porque las inversiones asociadas no son rescatables, lo que constituye un mayor nivel de riesgo.

Por lo tanto, se estudió la estructura tarifaria para la evaluación privada de los proyectos, excluyendo las inversiones en los elementos de distribución al interior de las viviendas y la red de distribución primaria de calor por ser de financiamiento público. En la tabla 9.12, se reportan las tarifas calculadas por proyecto, considerando sólo la inversión privada en la central térmica y los estudios de preinversión.

En estas condiciones, las tarifas en calefacción y ACS se reducen a valores de 54,60 \$/kWh, 89,58 \$/kWh y 53,22 \$/kWh, tarifas que pueden competir directamente con los combustibles alternativos como el gas licuado (55 \$/kWh) y la parafina (50 \$/kWh), pero con una calidad muy superior en el servicio. Se observa claramente que los proyectos más pequeños, como el Condominio Samuel Román, se ven desfavorecidos por menores economías de escala y costos específicos más elevados.

Considerando que la zona de expansión urbana de Rancagua crecería a una tasa de 480 viviendas/año dentro de los próximos 12 años, se requeriría un fondo anual de 1.300 millones de pesos para financiar un esquema de subsidio estatal como el que se ha considerado en la evaluación²⁰.

²⁰ Los aspectos específicos relacionados a la conformación de este subsidio se tocan con mayor detalle en el informe perteneciente a esta misma serie de documentos, llamado "Calefacción distrital con biomasa en Chile: Barreras de mercado e instrumentos de fomento".

	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Tarifa calefacción diurna (\$/kWh)			
Costos de capital	24,45	41,53	23,32
Costos de operación	16,80	25,25	17,15
Impuestos	6,02	10,35	5,76
Retorno sobre el capital	7,34	12,46	6,99
Total tarifa	54,60	89,58	53,22
Tarifa calefacción nocturna (\$/kWh)			
Costos de capital	0,00	0,00	0,00
Costos de operación	16,80	25,25	17,15
Impuestos	0,00	0,00	0,00
Retorno sobre el capital	0,00	0,00	0,00
Total tarifa	16,80	25,25	17,15
Tarifa ACS (\$/kWh)			
Costos de capital	24,45	41,53	23,32
Costos de operación	16,80	25,25	17,15
Impuestos	6,02	10,35	5,76
Retorno sobre el capital	7,34	12,46	6,99
Total tarifa	54,60	89,58	53,22

Tabla 9.12: Composición de la tarifa de los proyectos residenciales, con cofinanciamiento público

Fuente: elaboración propia

9.1.5 Rentabilidad privada

Considerando un esquema de cofinanciamiento público según lo planteado en la sección previa y considerando las tarifas calculadas según este escenario, se obtiene la rentabilidad privada de los proyectos, resultados que se reportan en la tabla 9.13.

	Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Ingresos por ventas	1.722.242	481.402	1.838.951
Costos operacionales	-606.232	-161.567	-671.998
Impuestos	-177.657	-51.432	-186.294
Estudios y permisos	-50.000	-20.000	-60.000
Planta térmica	-671.810	-186.463	-694.353
Red de distribución de calor	0	0	0
Distribución interior	0	0	0
VAN(10%)	216.543	61.939	226.306
TIR	14,8%	14,8%	14,8%
IVAN	0,30	0,30	0,30

Tabla 9.13: Rentabilidad privada de los proyectos, con cofinanciamiento público, miles de pesos chilenos

Fuente: elaboración propia

El Índice del Valor Actual Neto (IVAN), que se obtiene del cociente entre el VAN y el monto total de la inversión, y que indica la rentabilidad obtenida por cada unidad invertida, es constante para todos los proyectos e igual a 0,30. Esto se debe a que la composición de la tarifa se calculó para que el inversionista obtuviera un 30% de retorno sobre el capital invertido. La TIR que se obtiene de esta forma es igual al 14,8% en todos los casos.

9.1.6 Rentabilidad social

La reducción de las emisiones de MP10 y su efecto en los niveles ambientales de este contaminante en el aire, fueron utilizados como base para estimar los beneficios económicos de las alternativas de desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios²¹.

Reducir el aporte de emisiones de los futuros proyectos inmobiliarios a las concentraciones ambientales de material particulado, a su vez, se traduce en una disminución del número de casos en la morbilidad y mortalidad, al aplicar las funciones concentración-respuesta a la población expuesta. La estimación de efectos en la salud, producto de la reducción en la contaminación atmosférica, utiliza información sobre la población expuesta y las tasas bases para cada tipo de impacto en salud, donde el valor de un caso evitado para morbilidad y mortalidad es extrapolado al total de la población de la zona saturada.

En la tabla 9.14, se presenta un resumen con los beneficios totales en salud, por la implementación de una estrategia de calefacción distrital con biomasa.

Año	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Mortalidad prematura	941	1.901	2.878	3.872	4.883	5.912	6.957	8.023	9.107	8.934	9.015	10.397
Adm Hosp. Respiratoria	1,7	3,4	5,1	6,9	8,7	10,6	12,4	14,3	16,3	16,0	16,1	18,6
Adm Hosp. Cardiovascular	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	3,4	4,0	4,6	5,2	5,1	5,2	6,0
Adm. Hosp. Asma	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Total	943	1.905	2.885	3.881	4.895	5.926	6.973	8.042	9.129	8.956	9.037	10.421

Tabla 9.14: Beneficios en salud por la implementación de un plan de calefacción distrital, millones de pesos chilenos

Fuente: elaboración propia

Del análisis, se desprende que el VAN social (utilizando una tasa de descuento social del 6%), asociado a la utilización de calefacción distrital en Rancagua, alcanzaría un valor de \$45.943 millones. Cabe destacar que estos beneficios son directos en salud y no se ha considerado otros posibles beneficios indirectos para la población.

²¹ El desarrollo de estos resultados se describe en detalle en el informe perteneciente a esta misma serie de documentos, llamado "Calefacción distrital con biomasa en Chile: Evaluación del potencial de reducción de emisiones".

Considerando que el costo total de un programa de subsidio a la calefacción distrital con biomasa durante 12 años, en las condiciones presentadas, tendría un costo anual de 1.300 millones de pesos, que llevado a valor presente (aplicando una tasa de descuento social del 6%), equivale a 10.899 millones de pesos, se obtiene una relación beneficio/costo de 4,21. Esto quiere decir que, por cada peso invertido por el Estado, éste se ve retribuido en 4,21 pesos como beneficio social.

Desde un punto de vista de los beneficios ambientales, considerando una reducción de 138,7 ton/año de MP10 y 135,0 ton/año de MP2,5 producto de la implementación de un plan de calefacción distrital con biomasa en la expansión urbana de Rancagua dentro de los próximos 12 años²², se llega a la conclusión de que el costo del programa es de 9,47 millones de pesos por tonelada reducida de MP10 o de 9,63 millones de pesos por tonelada reducida de MP2,5.

9.2 Proyecto mixto

9.2.1 Alternativa 1

9.2.1.1 Producción

Se considera una central con una caldera de agua caliente de 2.500 kW y una caldera de gas licuado de 2 MW como respaldo. En las tablas 9.15, 9.16, 9.17 y 9.18, se resumen los parámetros de operación de la planta.

9.2.1.2 Costos de inversión

En la tabla 9.18, se reportan los costos de inversión correspondientes a la planta térmica.

En cuanto a la red de distribución, se calculan los costos de inversión que se reportan en la tabla 9.19.

Como en este proyecto todas las edificaciones cuentan actualmente con sistemas de distribución de calor al interior, no se consideraron estos elementos en la evaluación.

²² Dato extraído de “Calefacción distrital con biomasa en Chile: Evaluación del potencial de reducción de emisiones”.

Parámetro	Valor	Unidad
Factor de planta	40%	
Entrada de energía de combustible	9.711.487	kWh/año
Capacidad nominal de la caldera	2.500	kW
Producción de calor	8.740.338	kWh/año
Consumo específico de electricidad	13	kWh/MWh
Consumo total de electricidad	113.624	kWh/año

Tabla 9.15: Parámetros de operación de la caldera de agua caliente 2,5 MW_{th}, alternativa 1 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
Factor de planta	0,2%	h/año
Entrada de energía de combustible	36.075	kWh/año
Capacidad nominal de la caldera	2.000	kW
Producción de calor	32.467	kWh/año
Consumo específico de electricidad	13	kWh/MWh
Consumo total de electricidad	422	kWh/año

Tabla 9.16: Parámetros de operación de la caldera de GLP 2 MW_{th}, alternativa 2 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
Entrada de energía de combustible	9.747.561	kWh/año
Producción total de electricidad	0	kWh/año
Producción total de calor	8.772.805	kWh/año
Pérdidas del sistema (red de distribución)	6%	
Calor útil disponible para la venta	8.246.437	kWh/año
Calor útil para vender a clientes residenciales	849.513	kWh/año
Calor útil para vender a clientes industriales	7.396.924	kWh/año

Tabla 9.17: Parámetros de operación de todo el sistema térmico, alternativa 1 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Unidad	Valor (\$)
Caldera de agua caliente a biomasa (1000 kW)	330.000.000
Caldera de agua caliente a GLP (2000 kW)	100.000.000
Sistema de abatimiento de MP: Filtro de manga	70.000.000
Contenedor de cenizas	incluido
Recuperación del calor	incluido
Transportador del combustible	incluido
Instalaciones hidráulicas	incluido
Infraestructura de acero	incluido
Estudios de ingeniería	50.000.000
Costos de inversión Planta térmica	550.000.000

Tabla 9.18: Costos inversión planta térmica, alternativa 1 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Ítem	Unidad	Cantidad	Costo total
Total tuberías	m	1.140	3.913.621
Aislación tuberías	m ³	3,1	3.596.000
Excavaciones y retapes	m	1.140	7.980.000
Fitting y soldaduras	m	1.140	22.800.000
Bombas	gl	1	20.000.000
Válvulas	gl	1	4.000.000
Accesorios de montaje y control	gl	1	2.000.000
Gastos generales	gl	1	4.000.000
Mano de obra montaje tuberías	m	1.140	17.100.000
Total			85.389.621

Tabla 9.19: Costos de inversión en la red de distribución de calor del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

9.2.1.3 Costos de operación

En la tabla 9.22, se reportan los costos de operación de la planta térmica. El costo total de operación es de \$26,24/kWh.

9.2.1.4 Depreciaciones

En la tabla 9.20, se reportan las depreciaciones de activo fijo, utilizando el sistema de depreciación lineal.

Ítem	Inversión	Vida útil	Rescate	Depreciación	Residual
	(MM\$)	(años)	(MM\$)	(MM\$/año)	(MM\$)
Equipos planta térmica	550	15	55	33	55
Equipos planta eléctrica	0	20	0	0	0
Red de distribución	85	30	0	3	43
Distribución interior		20	0	0	0
Total	635			36	98

Tabla 9.20: Depreciación de activo fijo de la planta CHP, alternativa 2 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

9.2.1.5 Ingresos por ventas

En la tabla 9.21, se reportan las tarifas por ítem de costo.

	Calor industrial	Calor residencial
Costo de capital	10,13	10,13
Costos de consumo	11,36	11,36
Costos operacionales	4,75	4,75
Impuestos	2,38	2,38
Retorno garantizado	3,04	3,04
Total	31,66	31,66

Tabla 9.21: Tarifas de venta del servicio, alternativa 1 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a las tarifas calculadas y una comparación con tarifas alternativas del mercado, se concluye que la alternativa 1 es viable desde una perspectiva económica.

Parámetro	Valor	Unidad
Costo de capital		
Tasa de descuento	10%	%/año
Costo de capital	213.183.324	\$/año
Costos de consumo		
Precio de la biomasa	9,38	\$/kWh
Precio del GLP	71,7	\$/kWh
Costo de disposición de cenizas	Incluido	\$/año
Costos de la biomasa	91.093.743	\$/año
Costo de GLP	2.586.575	\$/año
Precio de la electricidad	100	\$/kWh
Costos de electricidad	11.404.647	\$/año
Costos de consumo	93.680.418	\$/año
Costos operacionales		
Costo RRHH	3.000	\$/hora
Total de horas de RRHH	2.500	hora/año
Administración CHP	7.900.221	\$/año
Costos totales de RRHH	15.400.221	\$/año
Arriendo terreno	17.625.072,14	\$/año
Costos de mantenimiento	2.323.509	\$/año
Costos operacionales	35.348.801	\$/año
Otros costos		
Proporción de otros costos	1%	
Otros costos	3.850.000	\$/año
Otros costos por kWh	0,47	\$/kWh
Costos totales de generación de calor	216.416.293	\$/año
Costos totales de generación de calor por kWh	26,24	\$/kWh

Tabla 9.22: Costos de operación de la planta eléctrica, alternativa 1 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

9.2.2 Alternativa 2

Entre las alternativas 2.1 y 2.2, las inversiones son las mismas, mientras que los costos de operación cambian, producto de un régimen de operación distinto.

9.2.2.1 Producción

De acuerdo a los equipos cotizados, la caldera de 1.800 kW está diseñada para la combustión de biomasa con hasta un 55% de contenido de humedad (base húmeda) y una amplia variedad de tamaños y texturas de biomasa. Está equipada con un sistema de alimentación mecánico con tecnología sinfín para introducir el combustible a una cámara de combustión con parrilla móvil inclinada.

El equipo cuenta con una tecnología para la extracción del combustible de silos de almacenamiento de 100 m³ de cabida, multiciclón de humos integrado, sistema de extracción automática de cenizas, sistema para la filtración adicional de los humos, para mantener el límite de emisión de partículas a la atmósfera por debajo de 30 mg/Nm³, y otros accesorios para el control, conexiones eléctricas, entre otros.

En las tablas 9.23, 9.25, 9.26 y 9.27, se resumen los parámetros de operación de la planta CHP bajo la alternativa 2.1, mientras que en las tablas 9.24, 9.25, 9.26 y 9.28, se resumen los parámetros de operación de la planta CHP bajo la alternativa 2.2.

Parámetro	Valor	Unidad
Capacidad de generación eléctrica CHP	300	kW _e
Capacidad de generación de calor útil CHP	1.500	kW _{th}
Factor de planta	60%	
Eficiencia eléctrica anual	17%	
Eficiencia total anual	0,9	
Índice de flujo de electricidad	0,2	
Consumo específico de electricidad del CHP (total)	27	kWh/MWh
Consumo específico de electricidad del CHP (calor)	13	kWh/MWh
Consumo eléctrico total CHP	145.923	kWh/año
Consumo eléctrico relacionado al calor	103.098	kWh/año
Consumo eléctrico - CHP	42.825	kWh/año
Producción de electricidad	1.586.116	kWh/año
Producción de calor CHP	7.930.579	kWh/año
Entrada de combustible CHP	10.814.425	kWh/año
Consumo de combustible para producción de calor	9.012.021	kWh/año
Consumo de combustible para generación eléctrica	1.802.404	kWh/año

Tabla 9.23: Parámetros de operación de la planta ORC, alternativa 2.1 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
Capacidad de generación eléctrica CHP	300	kW _e
Capacidad de generación de calor útil CHP	1.500	kW _{th}
Factor de planta	95%	
Eficiencia eléctrica anual	17%	
Eficiencia total anual	0,9	
Índice de flujo de electricidad	0,2	
Consumo específico de electricidad del CHP (total)	27	kWh/MWh
Consumo específico de electricidad del CHP (calor)	13	kWh/MWh
Consumo eléctrico total CHP	230.700	kWh/año
Consumo eléctrico relacionado al calor	161.850	kWh/año
Consumo eléctrico - CHP	68.850	kWh/año
Producción de electricidad	2.550.000	kWh/año
Producción de calor CHP	12.450.000	kWh/año
Entrada de combustible CHP	17.045.455	kWh/año
Consumo de combustible para producción de calor	14.147.727	kWh/año
Consumo de combustible para generación eléctrica	2.897.727	kWh/año

Tabla 9.24: Parámetros de operación de la planta ORC, alternativa 2.2 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
Factor de planta	9%	
Entrada de energía de combustible	920.181	kWh/año
Capacidad nominal de la caldera	1.000	kW
Producción de calor	809.759	kWh/año
Consumo específico de electricidad	13	kWh/MWh
Consumo total de electricidad	10.527	kWh/año

Tabla 9.25: Parámetros de operación de la caldera de agua caliente 1 MW_{th}, alternativa 2 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
Factor de planta	0,2%	h/año
Entrada de energía de combustible	36.895	kWh/año
Capacidad nominal de la caldera	2.000	kW
Producción de calor	32.467	kWh/año
Consumo específico de electricidad	13	kWh/MWh
Consumo total de electricidad	422	kWh/año

Tabla 9.26: Parámetros de operación de la caldera de GLP 2 MW_{th}, alternativa 2 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
Entrada de energía de combustible	11.771.501	kWh/año
Producción total de electricidad	1.586.116	kWh/año
Producción total de calor	8.772.805	kWh/año
Pérdidas del sistema (red de distribución)	6%	
Calor útil disponible para la venta	8.246.437	kWh/año
Calor útil para vender a clientes residenciales	849.513	kWh/año
Calor útil para vender a clientes industriales	7.396.924	kWh/año

Tabla 9.27: Parámetros de operación de todo el sistema térmico, alternativa 2.1 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Parámetro	Valor	Unidad
Entrada de energía de combustible	18.002.530	kWh/año
Producción total de electricidad	2.550.000	kWh/año
Producción total de calor	13.292.227	kWh/año
Pérdidas del sistema (red de distribución)	6%	
Calor útil disponible para la venta	12.494.693	kWh/año
Calor útil para vender a clientes residenciales	849.513	kWh/año
Calor útil para vender a clientes industriales	7.396.924	kWh/año
Calor residual	4.248.256	kWh/año

Tabla 9.28: Parámetros de operación de todo el sistema térmico, alternativa 2.2 del proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

9.2.2.2 Costos de inversión

En las tablas 9.29 y 9.30, se reportan los costos de inversión correspondientes a la planta eléctrica y la planta térmica, respectivamente. En el caso de la caldera de aceite térmico, se asigna a la planta térmica el costo correspondiente a una caldera de agua caliente de la misma capacidad, mientras que a la planta eléctrica, se le asigna el resto. La razón es que una caldera de agua caliente tiene un menor costo que una de aceite térmico, por lo que la inversión adicional sólo se justifica para la generación eléctrica.

Unidad	Valor (\$)
Caldera de aceite - 1,8 MW (% asignado a planta eléctrica)	650.000.000
Instalaciones eléctricas	47.413.793
Instalaciones hidráulicas	26.551.724
Módulo CHP (300 kW)	550.000.000
Estudios de ingeniería	62.396.552
Otras inversiones	20.527.241
Costos de inversión CHP	1.356.889.310

Tabla 9.29: Costos inversión planta eléctrica, alternativa 2 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Unidad	Valor (\$)
Caldera de aceite - 1,8 MW (% asignado a planta térmica)	270.000.000
Caldera de agua caliente a biomasa (1000 kW)	200.000.000
Caldera de agua caliente a GLP (2000 kW)	100.000.000
Sistema de abatimiento de MP: Filtro de manga	70.000.000
Contenedor de cenizas	incluido
Recuperación del calor	incluido
Transportador del combustible	incluido
Instalaciones hidráulicas	incluido
Infraestructura de acero	incluido
Estudios de ingeniería	64.000.000
Costos de inversión Planta térmica	704.000.000

Tabla 9.30: Costos inversión planta térmica, alternativa 2 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

Los costos de la red de distribución son los mismos que los correspondientes a la alternativa 1.

9.2.2.3 Costos de operación

En la tabla 9.31, se reportan los costos de operación de la planta térmica. El costo total de operación es de 147,06 \$/kWh_e.

Parámetro	Valor	Unidad
Costo de capital		
Tasa de descuento	10%	%/año
Costo de capital	178.395.362	\$/año
Costos de consumo		
Precio de la biomasa	9,38	\$/kWh
Costo de disposición de cenizas	Incluido	\$/año
Costos de la biomasa	16.906.552	\$/año
Precio de la electricidad	100	\$/kWh
Costos de electricidad	4.282.512	\$/año
Costos específicos para la generación de calor adicional de CHP	3.084	\$/MWh
Costo de generación de calor adicional CHP	4.891.132	\$/año
Proporción de gastos generales sobre la inversión	0,20%	
Gastos generales de consumo	2.713.779	\$/año
Costos de consumo	28.793.975	\$/año
Costos de consumo por kWh_e	18,15	\$/kWh_e
Costos operacionales		
Costo RRHH	3.000	\$/h
Total de horas de RRHH	2.500	h/año
Gastos de administración	5.000.000	\$/año
Costos totales de RRHH	12.500.000	\$/año
Costos de mantenimiento	0,00	\$/año
Costos operacionales	12.500.000	\$/año
Costos operacionales por kWh_e	7,88	\$/kWh_e
Gastos generales		
Peso relativo de "gastos generales" sobre la inversión	1%	
Gastos generales	13.568.893	\$/año
Gastos generales por kWh	8,55	\$/kWh _e
Costos totales de generación de electricidad	233.258.230	\$/año
Costos de generación de electricidad por kWh	147,06	\$/kWh_e

Tabla 9.31: Costos de operación de la planta eléctrica, alternativa 2 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

9.2.2.4 Depreciaciones

En la tabla 9.32, se reportan las depreciaciones de activo fijo, utilizando el sistema de depreciación lineal.

Ítem	Inversión	Vida útil	Rescate	Depreciación	Residual
	(MM\$)	(años)	(MM\$)	(MM\$/año)	(MM\$)
Equipos planta térmica	1.357	15	136	81	136
Equipos planta eléctrica	704	15	70	42	70
Red de distribución	85	30	0	3	43
Distribución interior		20	0	0	0
Total	2.146			126	249

Tabla 9.32: Depreciación de activo fijo de la planta CHP, alternativa 2 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

9.2.2.5 Ingresos por ventas

En las tablas 9.33 y 9.34, se reportan las tarifas por ítem de costo, para las alternativas 2.1 y 2.2.

	Calor industrial	Calor residencial	Electricidad
Costo de capital	12,59	12,59	112,47
Costos de consumo	11,62	11,62	18,15
Costos operacionales	6,75	6,75	16,44
Impuestos	0,87	0,87	33,34
Retorno garantizado	3,78	3,78	33,74
Total	35,60	35,60	214,14

Tabla 9.33: Tarifas de venta del servicio, alternativa 2.1 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

	Calor industrial	Calor residencial	Electricidad
Costo de capital	12,01	12,01	69,96
Costos de consumo	20,28	20,28	17,96
Costos operacionales	3,66	3,66	10,22
Impuestos	0,97	0,97	19,81
Retorno garantizado	3,60	3,60	20,99
Total	40,51	40,51	138,94

Tabla 9.34: Tarifas de venta del servicio, alternativa 2.2 proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a las tarifas calculadas y una comparación con tarifas alternativas del mercado, se concluye que la cogeneración es inviable en este proyecto desde una perspectiva económica, pues el costo de la tarifa eléctrica calculada es superior al costo de mercado.

10 Conclusiones

En una evaluación privada, los proyectos residenciales de calefacción distrital con biomasa, en las condiciones estudiadas, no son competitivos en relación al costo de las alternativas convencionales de calefacción. Las tarifas de venta del servicio debieran estar entre 128,96 y 172,37 \$/kWh para que los proyectos resulten rentables. Los costos de capital representan entre un 76% y un 79% de los costos totales de producción, mientras que el costo de la biomasa se encuentra entre un 10% y 17%.

Sin embargo, considerando un esquema de cofinanciamiento público, en el que todos los elementos de distribución de calor fueran subsidiados por el Estado y sólo la planta de generación de calor fuera de inversión privada, entonces las tarifas se reducen a valores que están entre 53,22 y 89,58 \$/kWh, pudiendo competir directamente con los combustibles alternativos distintos de la leña, como el gas licuado (78 \$/kWh) y la parafina (63 \$/kWh), pero con una calidad muy superior en el servicio. Con estas tarifas, el costo anual en calefacción (52% - 60%) y agua caliente sanitaria (40% - 48%) por vivienda estaría entre 345 mil y 420 mil pesos para los proyectos más favorables, pudiendo llegar a 586 mil para el proyecto más pequeño. Considerando que el consumo promedio de una familia de Rancagua por estos servicios se estimó en 333 mil pesos, el costo por la utilización de calefacción distrital superaría levemente el actual. Esta comparación no toma en cuenta la diferencia en el estándar de servicio, ampliamente superior en el caso de la calefacción distrital, no sólo por la facilidad y comodidad de operar el sistema, sino porque está considerando un régimen de calefacción durante las 24 horas del día.

Para financiar un esquema de subsidio estatal como el que se ha considerado en la evaluación, con una tasa estimada de crecimiento del parque de viviendas de 480 viviendas/año dentro de los próximos 12 años, se requeriría un fondo anual de 1.300 millones de pesos, que llevado a valor presente (aplicando una tasa de descuento social del 6%), equivale a 10.899 millones de pesos. Considerando sólo los beneficios directos en salud por disminución del número de casos en la morbilidad y mortalidad, producto de la disminución en las concentraciones de material particulado en el aire, se desprende que el VAN social (utilizando una tasa de descuento social del 6%), asociado a la utilización de calefacción distrital en Rancagua, alcanzaría un valor de 45.943 millones de pesos. No se evaluaron otros posibles beneficios indirectos para la población. En consecuencia, se obtiene una relación beneficio/costo de 4,21. Esto quiere decir que, por cada peso invertido por el Estado, éste se ve retribuido en 4,21 pesos como beneficio social.

Desde un punto de vista de los beneficios ambientales, considerando una reducción de 138,7 ton/año de MP10 y 135,0 ton/año de MP2,5 producto de la implementación de un plan de calefacción distrital con biomasa en la expansión urbana de Rancagua dentro de los próximos 12 años, se llega a la conclusión de que el costo del programa es de 9,47 millones de pesos por tonelada reducida de MP10 o de 9,63 millones de pesos por tonelada reducida de MP2,5.

Referencias bibliográficas

Bleyl, J. y Schinnerl, D. (2008) "Energy Contracting" to Achieve Energy Efficiency and Renewables using Comprehensive Refurbishment of Buildings as an example in: Urban Energy Transition edited by Peter Droege, Elsevier 2008.

CDT (2010) "Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile", Corporación de Desarrollo Tecnológico, Cámara Chilena de la Construcción.

EULA (2010) "Consultoría medidas para el control de la contaminación por combustión residencial de leña", Jiménez, J. y Mardones C.

Fissore, A. (2013) "Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico", para el Ministerio de Vivienda y Urbanismo y el Ministerio de Energía, del Gobierno de Chile.

IDAE (2008) "Biomasa: Experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético", Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Madrid, España, ISBN: 978-84-96680-32-6.

INFOR (2008) "Programa permanente de actualización de plantaciones forestales".

INFOR (2012) "Inventario continuo de bosques nativos y actualización de plantaciones forestales".

Jiménez y Mardones (2010) "Consultoría Medidas para el Control de la Contaminación por Combustión Residencial de Leña", Universidad de Concepción.

Voivontas, D., Assimacopoulos, D. y Koukios, E. G. (2001) "Assesment of biomass potential for power production: a GIS based method", Biomass and Bionergy, Elsevier, Reino Unido, Vol.2 N°2, pp. 101-112.

ANEXOS

Listado de Anexos:

ANEXO A	SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE VIVIENDAS EN PROYECTOS RESIDENCIALES	132
ANEXO B	ANÁLISIS DE CARGAS HORARIAS EN CALEFACCIÓN PROYECTOS RESIDENCIALES	135
ANEXO C	SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE EDIFICIOS PROYECTO MIXTO	140
ANEXO D	ANÁLISIS DE CARGAS HORARIAS PROYECTO MIXTO	143
ANEXO E	DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR	146
ANEXO F	PÉRDIDAS DE CALOR EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR	153
ANEXO G	CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN DISTINTOS ESCENARIOS DE CALEFACCIÓN	158
ANEXO H	ESTIMACIÓN DE UNA TARIFA REFERENCIAL DE CALEFACCIÓN Y ACS	160

ANEXO A

SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE VIVIENDAS EN PROYECTOS RESIDENCIALES

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones térmicas para los 2 escenarios de consumo definidos previamente.

Conjunto La Compañía

Bajo el escenario 1 de consumo de calefacción, la carga máxima horaria es de 6,39 kW por vivienda, cifra que corresponde a la potencia requerida para llevar la temperatura de la vivienda hasta 21°C durante el día más frío de un año promedio a las 14:00 hrs. Asimismo, bajo el escenario 2 de consumo, la carga máxima horaria es de 5,18 kW por vivienda.

De esta forma, la potencia total en calefacción requerida para el proyecto sería de 3.439 kW bajo el escenario 1 y 2.818 kW bajo el escenario 2.

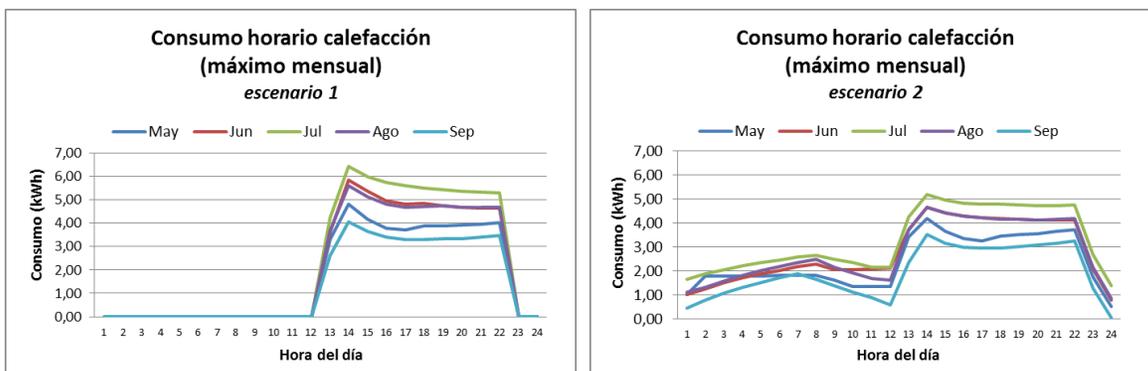


Figura A.1: Consumo horario máximo mensual en calefacción, Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

Condominio Samuel Román

Bajo el escenario 1 de consumo de calefacción, la carga máxima horaria es de 4,68 kW por vivienda, cifra que corresponde a la potencia requerida para llevar la temperatura de la vivienda hasta 21°C durante el día más frío de un año promedio a las 14:00 hrs. Asimismo, bajo el escenario 2 de consumo, la carga máxima horaria es de 3,84 kW por vivienda.

De esta forma, la potencia total en calefacción requerida para el proyecto sería de 4 kW bajo el escenario 1 y 415 kW bajo el escenario 2.

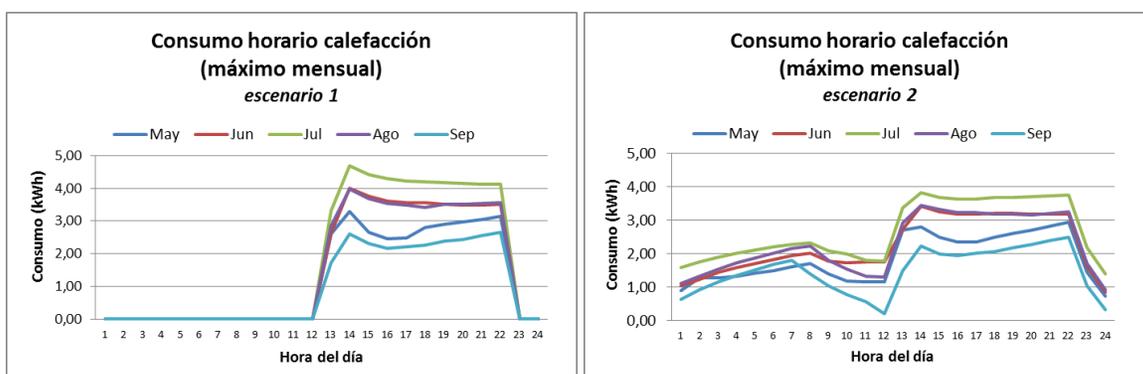


Figura A.2: Consumo horario máximo mensual en calefacción, Condominio Samuel Román

Fuente: elaboración propia

Parque Viña Santa Blanca

Bajo el escenario 1 de consumo de calefacción, la carga máxima horaria es de 5,24 kW por vivienda, cifra que corresponde a la potencia requerida para llevar la temperatura de la vivienda hasta 21°C durante el día más frío de un año promedio a las 14:00 hrs. Asimismo, bajo el escenario 2 de consumo, la carga máxima horaria es de 4,27 kW por vivienda.

De esta forma, la potencia total en calefacción requerida para el proyecto sería de 3.665 kW bajo el escenario 1 y 2.984 kW bajo el escenario 2.

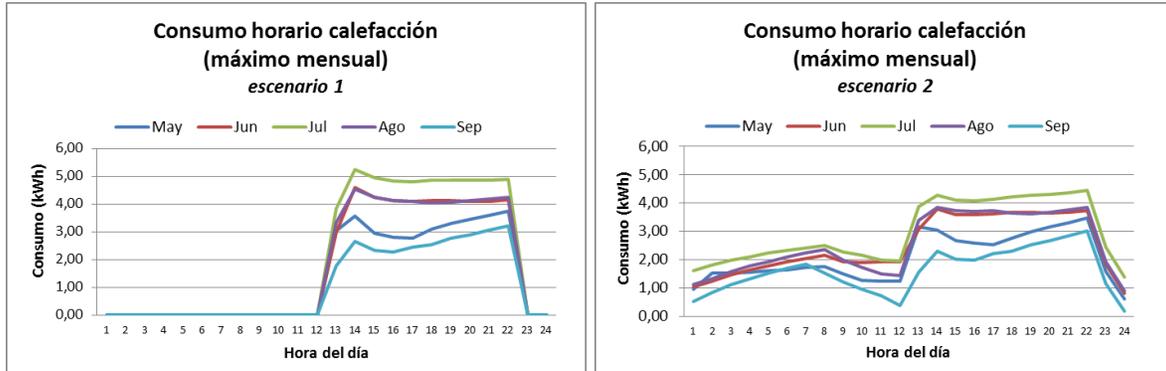


Figura A.3: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Parque Viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

ANEXO B

ANÁLISIS DE CARGAS HORARIAS EN CALEFACCIÓN PROYECTOS RESIDENCIALES

Un análisis de las cargas horarias en calefacción por vivienda durante todo el año, para el escenario 1, lleva a la conclusión de que sólo existen 3 valores (0,2%) que sobrepasan los 6,00 kW y sólo 138 valores (9,0%) que sobrepasan los 4,50 kW, de un total de 1.530 horas de calefacción al año. En otros términos, si se considera una potencia de calefacción de 4,50 kW por vivienda, la temperatura interior de ésta será levemente inferior a los 21°C durante 138 horas al año, lo que equivale a un 9,0% de las horas totales de calefacción.

Una buena opción es ocupar la caldera de respaldo a gas licuado durante esas 138 horas al año en que se requieren más de 4,50 kW de carga de calefacción por vivienda. Esto permitiría reducir la potencia de la caldera a biomasa en aprox. 1.000 kW.

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 6,0$	3	3	0,2%
$5,5 < c \leq 6,0$	13	16	1,0%
$5,0 < c \leq 5,5$	43	59	3,9%
$4,5 < c \leq 5,0$	79	138	9,0%
$4,0 < c \leq 4,5$	193	331	21,6%
$3,5 < c \leq 4,0$	198	529	34,6%
$3,0 < c \leq 3,5$	303	832	54,4%
$2,5 < c \leq 3,0$	258	1.090	71,2%
$2,0 < c \leq 2,5$	212	1.302	85,1%
$1,5 < c \leq 2,0$	132	1.434	93,7%
$1,0 < c \leq 1,5$	64	1.498	97,9%
$0,5 < c \leq 1,0$	28	1.526	99,7%
$c \leq 0,5$	4	1.530	100,0%

Tabla B.1: Histograma de consumo horario en calefacción, escenario 1

Fuente: elaboración propia

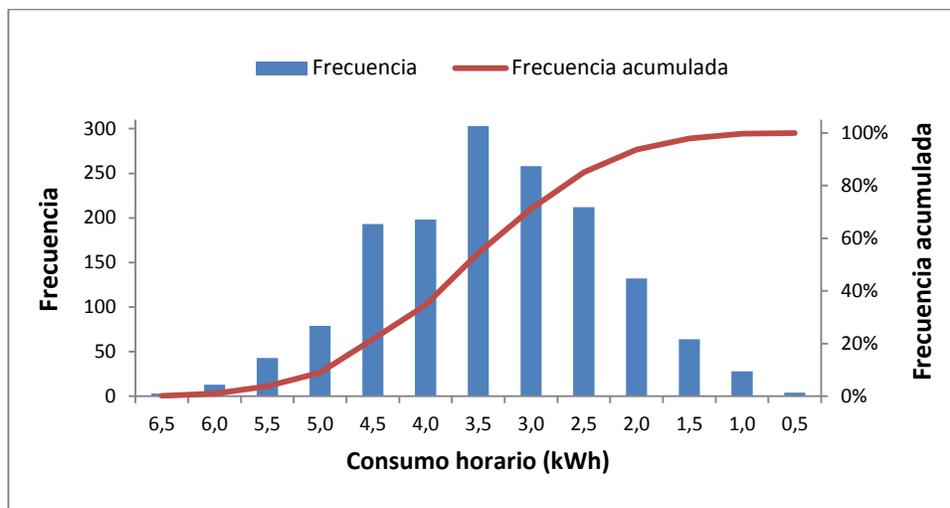


Figura B.1: Histograma consumo horario en calefacción, escenario 1

Fuente: elaboración propia

Para el escenario 2, las conclusiones son similares. Existen 121 valores que sobrepasan los 4,0 kW, de un total de 3.325 horas de calefacción al año. En otros términos, si se considera una potencia de calefacción de 4,0 kW por vivienda, la temperatura interior de ésta será levemente inferior a los 21°C durante 121 horas al año, lo que equivale a un 3,64% de las horas totales de calefacción.

Ocupar la caldera de respaldo a gas licuado durante esas 121 horas al año en que se requieren más de 4,0 kW de carga de calefacción por vivienda, permitiría reducir la potencia de la caldera a biomasa en casi 700 kW (666 kW).

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 4,0$	121	121	3,6%
$3,5 < c \leq 4,0$	233	354	10,6%
$3,0 < c \leq 3,5$	304	658	19,8%
$2,5 < c \leq 3,0$	311	969	29,1%
$2,0 < c \leq 2,5$	338	1.307	39,3%
$1,5 < c \leq 2,0$	412	1.719	51,7%
$1,0 < c \leq 1,5$	570	2.289	68,8%
$0,5 < c \leq 1,0$	542	2.831	85,1%
$c \leq 0,5$	494	3.325	100,0%

Tabla B.2: Histograma de consumo horario en calefacción, escenario 2
 Fuente: elaboración propia

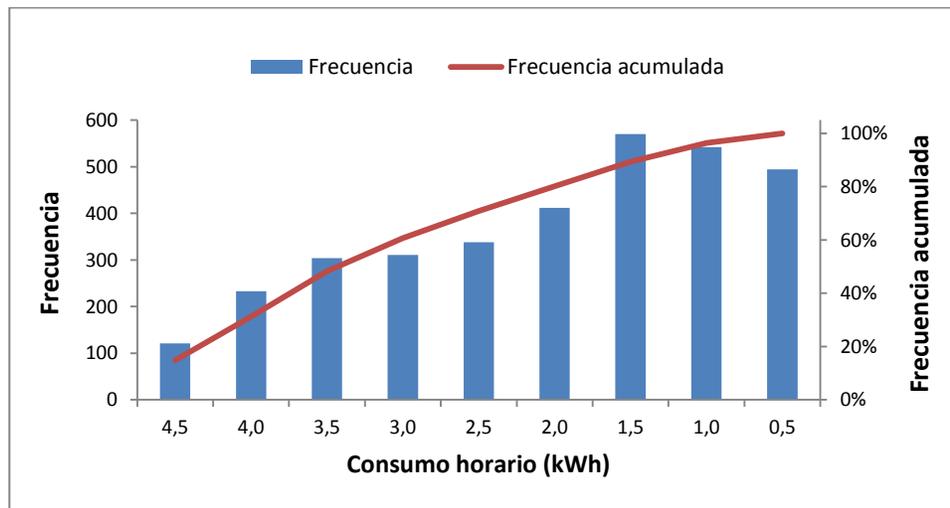


Figura B.2: Histograma consumo horario en calefacción, escenario 2
 Fuente: elaboración propia

Otro aspecto que se analizó fue la inclusión de depósitos de inercia, con el fin de estabilizar la demanda y reducir los peaks de consumo, lo que se traduce en una reducción de la potencia necesaria de la caldera. En teoría, a medida que aumente el volumen de inercia del sistema, la potencia de la caldera debiera tender a disminuir.

Para determinar el impacto que tiene aumentar el volumen de inercia en la potencia de operación de la caldera, se simuló escenarios en que se hizo funcionar la caldera a un

80% y 60% de su capacidad, para volúmenes de inercia de 70 litros/vivienda, 100 litros/vivienda, 150 litros/vivienda y 200 litros/vivienda. Los resultados se midieron por la cantidad de horas al año en las que el sistema entró en déficit, se evaluó el valor máximo de déficit alcanzado y también el valor máximo de déficit dentro del percentil 90. Los resultados se reportan en la tabla 5.6.

Volumen de inercia (litros/vivienda)	Operación de la caldera 80%				Operación de la caldera 60%			
	70	100	150	200	70	100	150	200
Horas de déficit al año	15	5	0	0	208	100	10	5
Déficit máximo (kW/vivienda)	1,04	0,32	0	0	2,40	1,84	1,40	1,36
Percentil 90 (kW/vivienda)	0,59	0,32	0	0	1,25	1,31	1,40	1,36

Tabla B.3: Sensibilización de escenarios de generación con depósitos de inercia

Fuente: elaboración propia

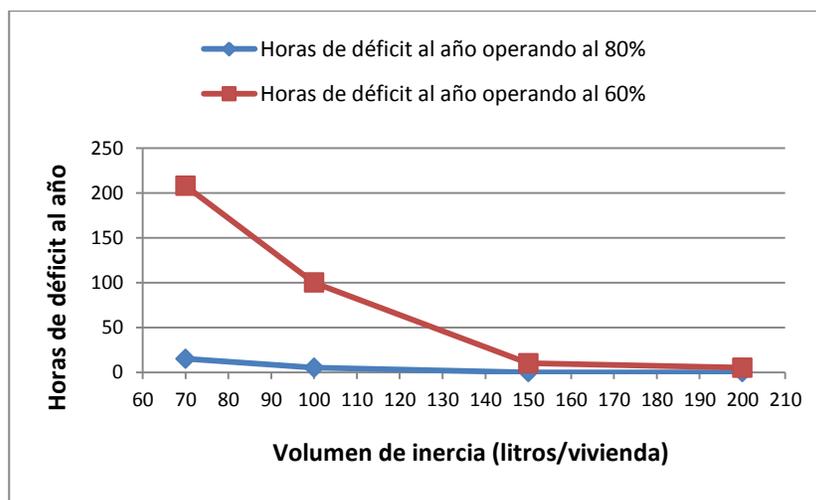


Figura B.3: Déficit de carga de caldera según nivel de operación con depósitos de inercia

Fuente: elaboración propia

De lo anterior, se deduce que la caldera puede funcionar a un 60% de la capacidad de diseño, con un volumen de inercia de 100 litros/vivienda, y fallar sólo en 100 horas al año, de 1.530 horas de calefacción al año. Estas 100 horas de déficit al año (6,5% del total)

serían abastecidas con la caldera de respaldo a gas licuado; el déficit máximo en este escenario es de 1,84 kW/vivienda, mientras que en 90 de esas 100 horas, el déficit no sobrepasa los 1,31 kW/vivienda.

En consecuencia, la potencia nominal requerida para la caldera a biomasa para calefacción, quedaría en poco más de 2.000 kW (2.063 kW), reduciéndose en 1.376 kW con respecto al escenario 1 de calefacción.

ANEXO C

SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE EDIFICIOS PROYECTO MIXTO

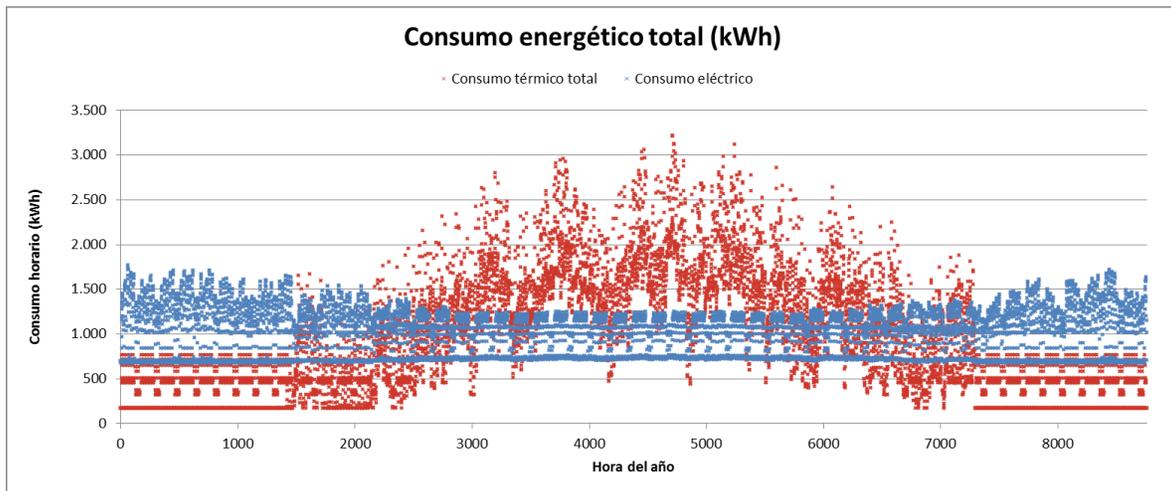


Figura C.1: Consumo horario mensual en energía térmica, Hospital Fusat
Fuente: elaboración propia

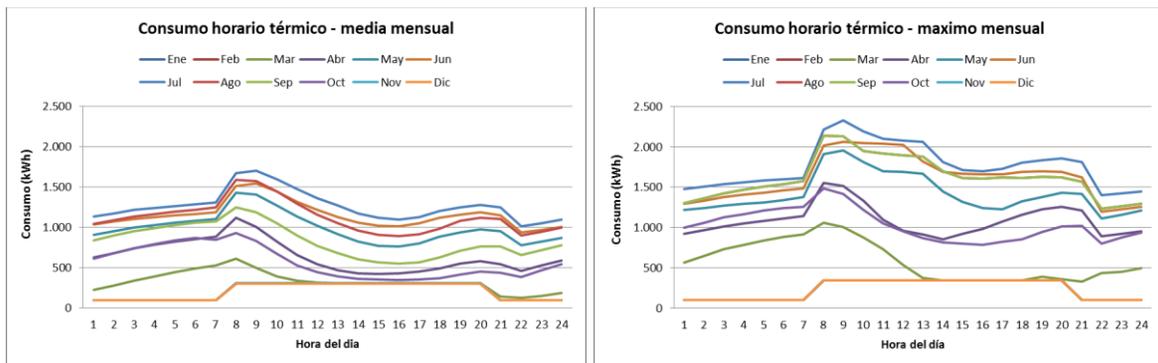


Figura C.2: Consumo horario mensual en energía térmica, Hospital Fusat
Fuente: elaboración propia

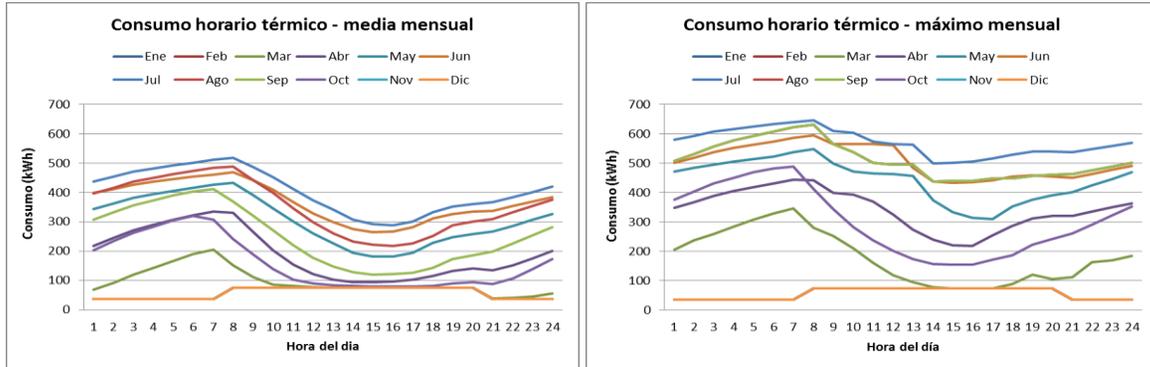


Figura C.3: Consumo horario mensual en energía térmica, Clínica Isamedica

Fuente: elaboración propia

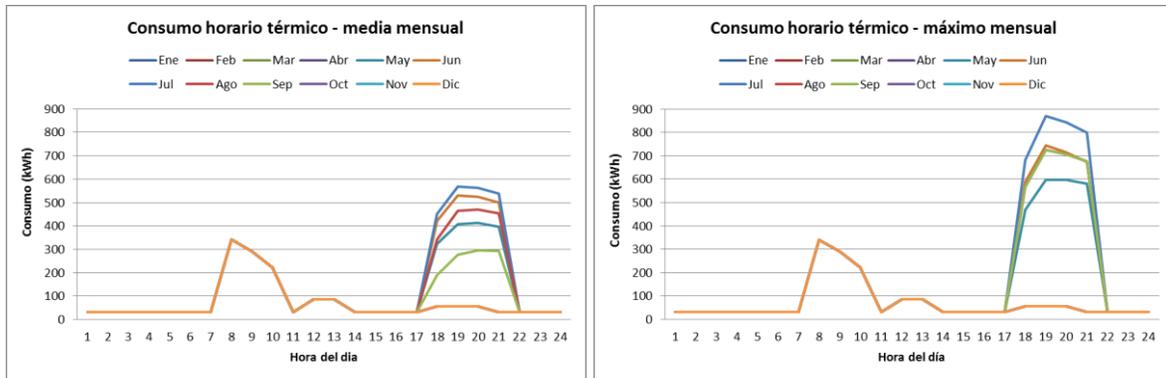


Figura C.4: Consumo horario mensual en energía térmica, Condominio Alto del Valle

Fuente: elaboración propia

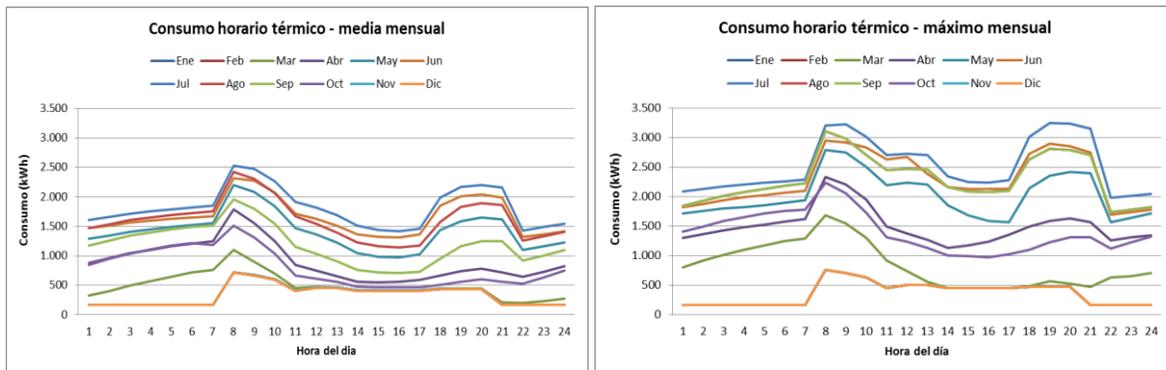


Figura C.5: Consumo horario mensual en energía térmica, total proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

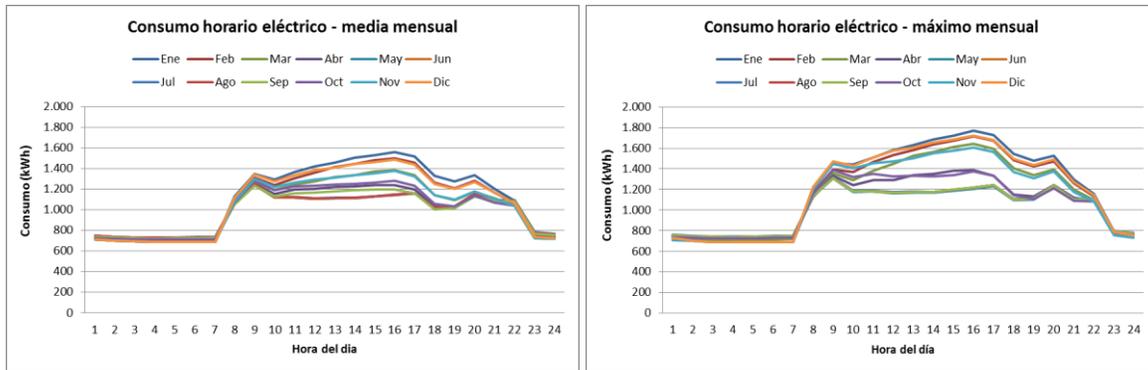


Figura C.6: Consumo horario mensual en energía eléctrica, total proyecto mixto
 Fuente: elaboración propia

ANEXO D

ANÁLISIS DE CARGAS HORARIAS PROYECTO MIXTO

CONSUMO TÉRMICO

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 3500$	9	9	0,1%
$2500 < c \leq 3000$	151	160	1,8%
$2000 < c \leq 2500$	507	667	7,6%
$1500 < c \leq 2000$	1.381	2.048	23,4%
$1000 < c \leq 1500$	1.656	3.704	42,3%
$500 < c \leq 1000$	1.766	5.470	62,4%
$c \leq 500$	3.290	8.760	100,0%

Tabla D.1: Histograma de consumo horario en calor proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

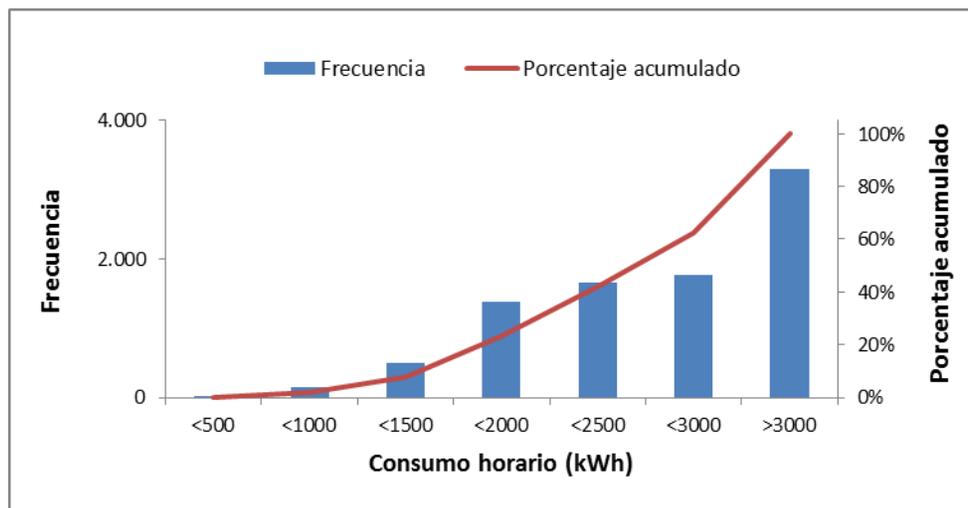


Figura D.1: Histograma consumo horario en calor, proyecto mixto

Fuente: elaboración propia

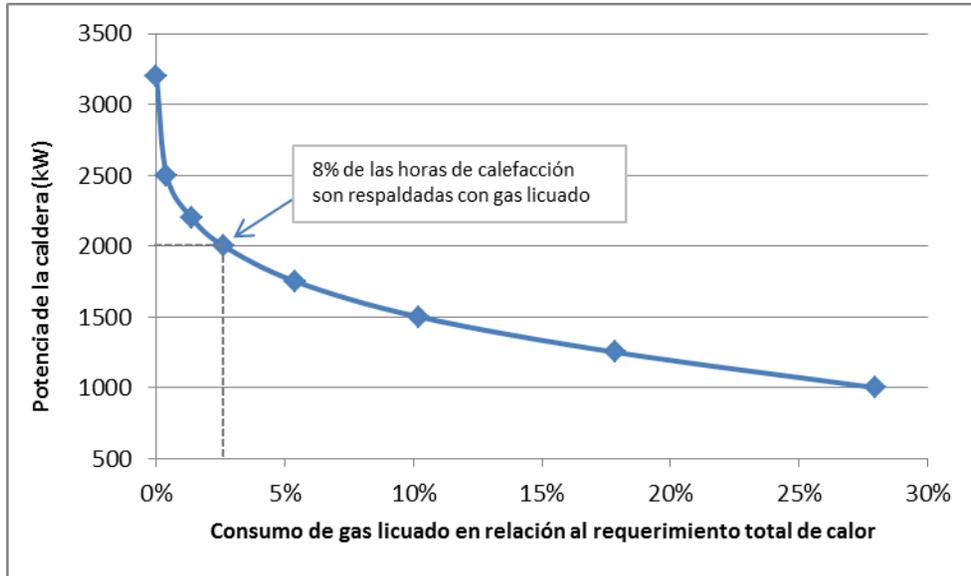


Figura D.2: Desempeño de la caldera a biomasa según potencia nominal, proyecto mixto
Fuente: elaboración propia

CONSUMO ELÉCTRICO

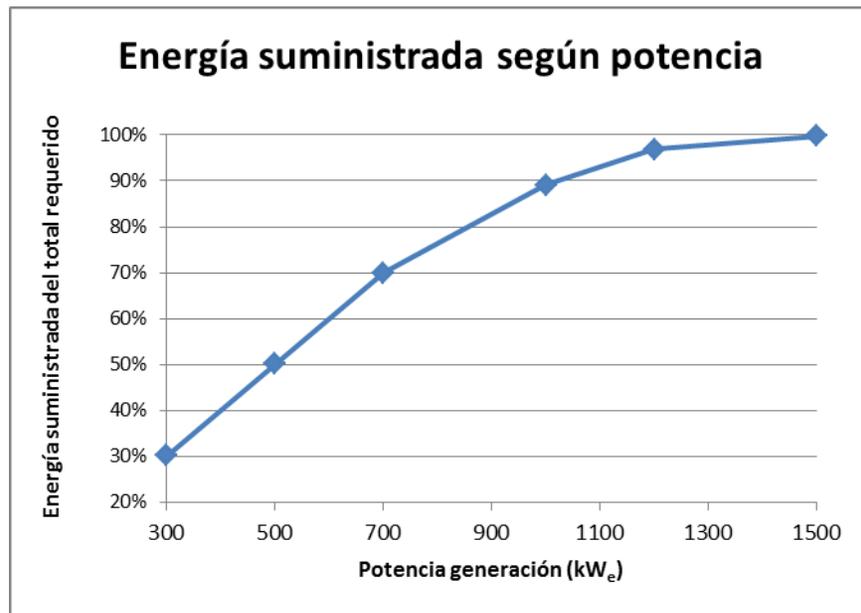


Figura D.3: Desempeño de la caldera a biomasa según potencia nominal, proyecto mixto
Fuente: elaboración propia

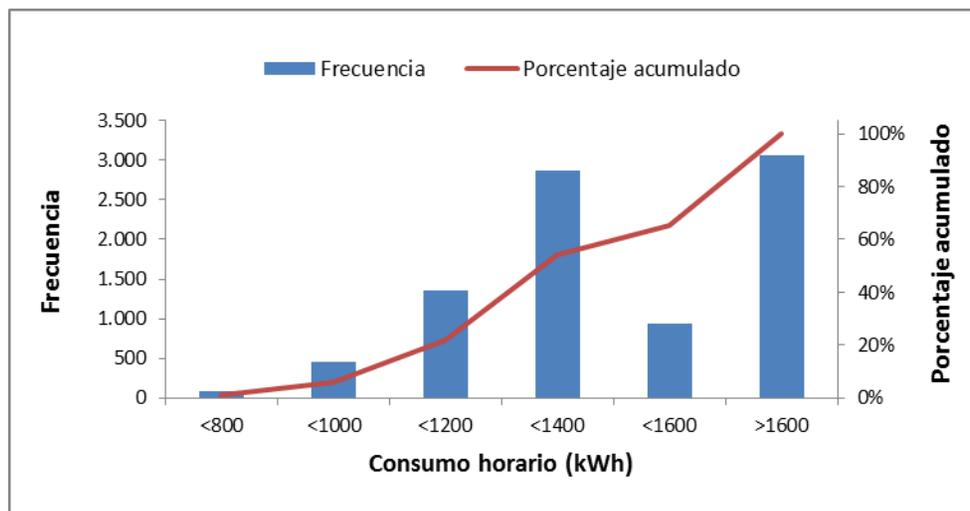


Figura D.4: Histograma consumo horario en electricidad, proyecto mixto
Fuente: elaboración propia

ANEXO E

DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR

Conjunto La Compañía

La red primaria se divide en 12 tramos, distribuidos según se muestra en la figura E.1. En la tabla E.1 se muestra, para cada tramo de la red, el flujo de agua, el diámetro teórico y comercial de tubería, la longitud del tramo y el espesor de aislante requerido. La longitud total de la red primaria (línea de ida + línea de retorno) es de 2.271 m.

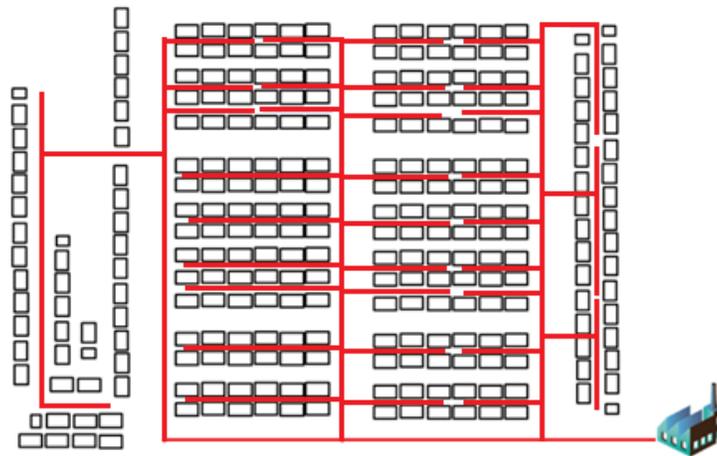


Figura E.1: Trazado red de tuberías, Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

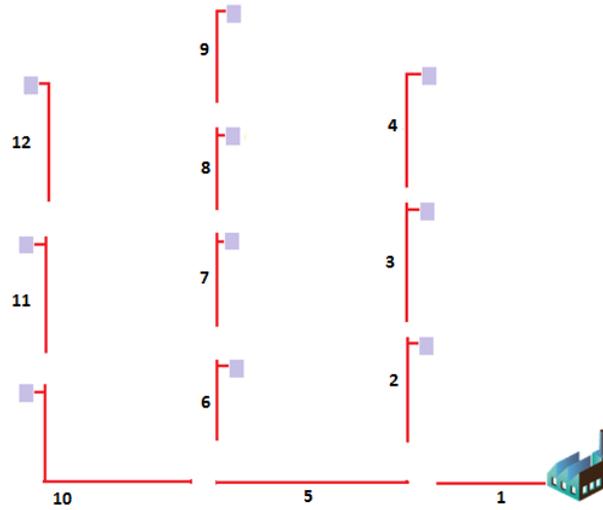


Figura E.2: Tramos correspondientes a la red de distribución primaria, Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

Tramo	Longitud (m)	Escenario 1				Escenario 2			
		Flujo agua (kg/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	Espesor aislante (mm)	Flujo agua (kg/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	Espesor aislante (mm)
1	78	22,21	118,9	125	40	18,33	108,0	125	40
2	145	6,93	66,4	80	30	5,72	60,4	65	30
3	123	4,99	56,4	65	30	4,12	51,2	65	30
4	212	2,15	37,0	40	30	1,77	33,6	40	30
5	227	15,27	98,6	100	40	12,60	89,6	100	40
6	145	9,86	79,2	80	30	8,14	72,0	80	30
7	175	6,81	65,8	80	30	5,62	59,8	65	30
8	168	5,74	60,4	65	30	4,74	54,9	65	30
9	182	2,68	41,3	50	30	2,21	37,5	40	30
10	369	5,41	58,7	65	30	4,46	53,3	65	30
11	220	3,43	46,7	50	30	2,83	42,4	50	30
12	227	1,82	34,0	40	30	1,50	30,9	32	20
Total	2.271	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla E.1: Especificaciones de la red de distribución primaria, Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

La red secundaria se divide en 14 tramos, distribuidos según se muestra en la figura E.3. En la tabla E.2, se muestra, para cada tramo de la red, el flujo de agua, el diámetro teórico

y comercial de tubería, la longitud y el espesor de aislante requerido. La longitud total de la red secundaria (línea de ida + línea de retorno) es de 5.692 m.

Por lo tanto, la longitud total de la red de distribución (línea de ida + línea de retorno) es de 7.963 m.

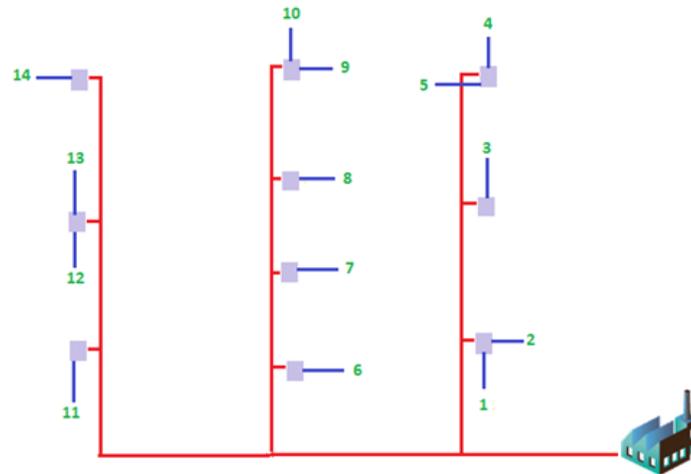


Figura E.3: Trazado red de distribución secundaria, Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

Tramo	Longitud (m)	Número viviendas	Escenario 1					Escenario 2				
			Potencia requerida (kW)	Flujo de agua (kg/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	Espesor aislante (mm)	Potencia requerida (kW)	Flujo de agua (kg/s)	Diámetro tubería (mm)	Diámetro comercial (mm)	Espesor aislante (mm)
1	586	14	97	0,58	19,2	20	20	81	0,48	17,5	20	20
2	340	33	229	1,36	29,4	32	20	191	1,14	26,9	32	20
3	358	69	479	2,85	42,6	50	30	399	2,37	38,9	40	30
4	376	20	139	0,83	22,9	25	20	116	0,69	20,9	25	20
5	430	32	222	1,32	29,0	32	20	185	1,10	26,5	32	20
6	388	74	514	3,05	44,1	50	30	428	2,55	40,3	50	30
7	388	26	181	1,07	26,1	32	20	150	0,89	23,9	25	20
8	418	74	514	3,05	44,1	50	30	428	2,55	40,3	50	30
9	472	32	222	1,32	29,0	32	20	185	1,10	26,5	32	20
10	484	33	229	1,36	29,4	32	20	191	1,14	26,9	32	20
11	436	48	333	1,98	35,5	40	30	278	1,65	32,4	40	30
12	526	13	90	0,54	18,5	20	20	75	0,45	16,9	20	20
13	245	26	181	1,07	26,1	32	20	150	0,89	23,9	25	20
14	245	44	305	1,82	34,0	40	30	255	1,51	31,0	32	20
Total	5.692	538	3.735					3.114				

Tabla E.2: Especificaciones de la red de distribución secundaria, Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

Condominio Samuel Román

El trazado de la red de tuberías es bastante simple, producto del mismo layout de la construcción. La figura E.4 muestra un diagrama que representa dicha distribución.

La red se divide en 7 tramos, distribuidos según se muestra en la figura E.5. En la tabla E.3 se muestra, para cada tramo de la red, el flujo de agua, el diámetro teórico y comercial de tubería, la longitud y el espesor de aislante requerido. La longitud total de la red es de 1.373 m.

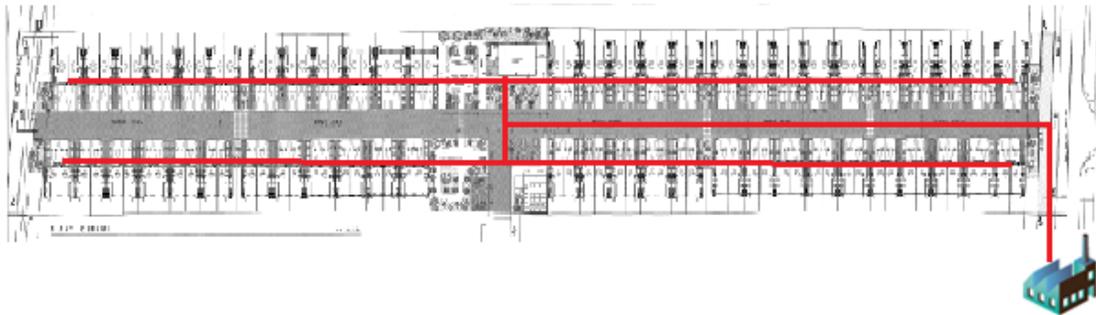


Figura E.4: Trazado red de tuberías, Condominio Samuel Román

Fuente: elaboración propia

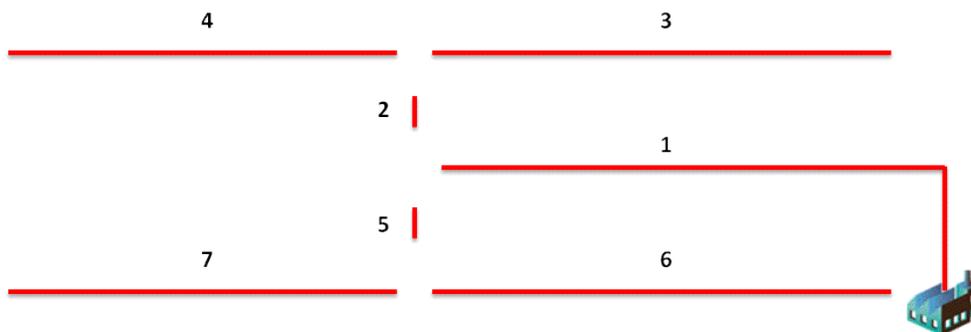


Figura E.5: Trazado red de distribución por tramos, Condominio Samuel Román

Fuente: elaboración propia

Tramo	Longitud (m)	Número viviendas	Escenario 1				Escenario 2					
			Potencia requerida (kW)	Flujo de agua (kg/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	Esesor aislante (mm)	Potencia requerida (kW)	Flujo de agua (kg/s)	Diámetro tubería (mm)	Diámetro comercial (mm)	Esesor aislante (mm)
1	359			3,01	43,8	50	30		2,53	40,2	50	30
2	15			1,50	30,9	32	20		1,27	28,4	32	20
3	246	27	126,5	0,75	21,9	25	20	106,6	0,63	20,1	25	20
4	246	27	126,5	0,75	21,9	25	20	106,6	0,63	20,1	25	20
5	15			1,50	30,9	32	20		1,27	28,4	32	20
6	246	27	126,5	0,75	21,9	25	20	106,6	0,63	20,1	25	20
7	246	27	126,5	0,75	21,9	25	20	106,6	0,63	20,1	25	20
Total	1.373	108	506,0					426,3				

Tabla E.3: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Condominio Samuel Román

Fuente: elaboración propia

Parque Viña Santa Blanca

El trazado de la red de tuberías se realiza siguiendo las vías de acceso vehicular. La figura E.5 muestra un diagrama que representa dicha distribución.

La red primaria se divide en 9 tramos, distribuidos según se muestra en la figura E.6. En la tabla E.4 se muestra, para cada tramo de la red, el flujo de agua, el diámetro teórico y comercial de tubería, la longitud y el espesor de aislante requerido. La longitud total de la red primaria es de 1.455 m.

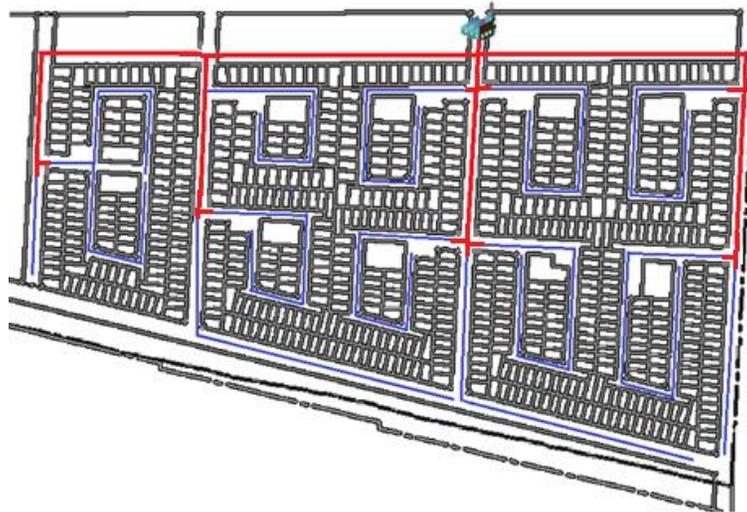


Figura E.6: Trazado red de tuberías, proyecto Parque Viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

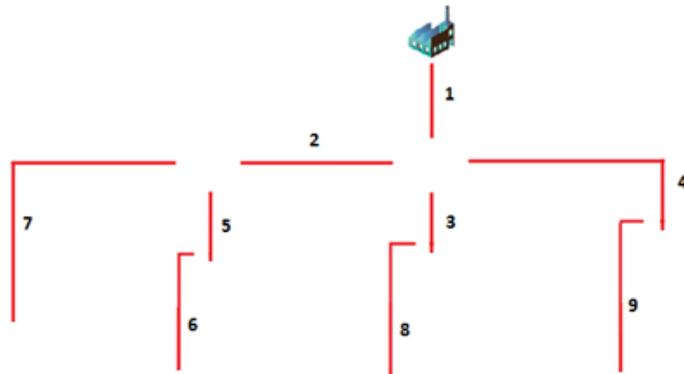


Figura E.7: Trazado red de distribución primaria, proyecto Parque Viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

Tramo	Longitud (m)	Escenario 1				Escenario 2			
		Flujo agua (kg/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	Espesor aislante (mm)	Flujo agua (kg/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	Espesor aislante (mm)
1	78	24,07	123,8	125	40	20,81	115,1	125	40
2	145	8,58	73,9	80	30	7,41	68,7	80	30
3	123	9,95	79,6	80	30	8,60	74,0	80	30
4	212	5,54	59,4	65	30	4,79	55,2	65	30
5	227	4,55	53,8	65	30	3,93	50,0	65	30
6	145	3,00	43,7	50	30	2,59	40,6	50	30
7	175	4,03	50,6	65	30	3,48	47,1	50	30
8	168	5,99	61,8	65	30	5,18	57,4	65	30
9	182	3,34	46,1	50	30	2,89	42,9	50	30
Total	1.455	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla E.4: Especificaciones de la red de distribución primaria, proyecto Parque Viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

La red secundaria se divide en 13 tramos, distribuidos según se muestra en la figura E.7. En la tabla E.5 se muestra, para cada tramo de la red, el flujo de agua, el diámetro teórico y comercial de tubería, la longitud y el espesor de aislante requerido. La longitud total de la red secundaria es de 5.447 m.

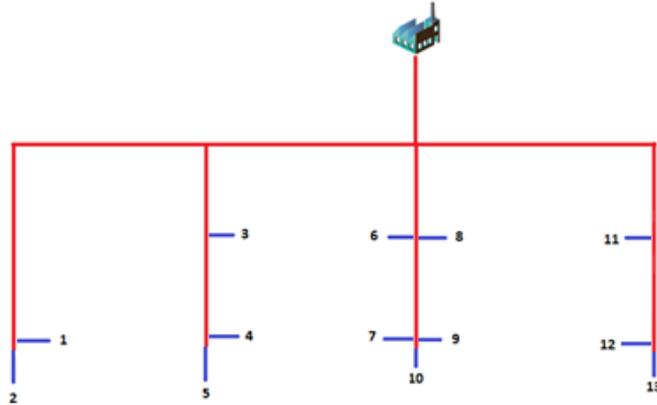


Figura E.8: Trazado red de distribución secundaria, proyecto Parque viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

Tramo	Longitud (m)	Número viviendas	Escenario 1					Escenario 2				
			Potencia requerida (kW)	Flujo de agua (kg/s)	Diámetro teórico (mm)	Diámetro comercial (mm)	Espesor aislante (mm)	Potencia requerida (kW)	Flujo de agua (kg/s)	Diámetro tubería (mm)	Diámetro comercial (mm)	Espesor aislante (mm)
1	586	91	527	3,13	44,7	50	30	456	2,71	41,5	50	30
2	340	26	151	0,90	23,9	25	20	130	0,77	22,2	25	20
3	358	45	261	1,55	31,4	32	20	225	1,34	29,2	32	20
4	376	51	295	1,76	33,4	40	30	255	1,52	31,1	32	20
5	430	36	209	1,24	28,1	32	20	180	1,07	26,1	32	20
6	388	55	319	1,89	34,7	40	30	275	1,64	32,3	40	30
7	388	53	307	1,83	34,1	40	30	265	1,58	31,7	32	20
8	418	60	348	2,07	36,3	40	30	300	1,79	33,7	40	30
9	472	66	382	2,27	38,0	40	30	330	1,96	35,4	40	30
10	484	55	319	1,89	34,7	40	30	275	1,64	32,3	40	30
11	436	64	371	2,20	37,5	40	30	320	1,91	34,8	40	30
12	526	75	434	2,58	40,6	50	30	376	2,23	37,7	40	30
13	245	22	127	0,76	22,0	25	20	110	0,65	20,4	25	20
Total	5.447	699	4.049					3.500				

Tabla E.5: Especificaciones de la red de distribución secundaria, proyecto Parque Viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

ANEXO F

PÉRDIDAS DE CALOR EN LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR

Las tuberías se construyen, por lo general, en acero al carbono, y van envueltas de una capa de aislante térmico. A pesar de esto, existen pérdidas de calor a lo largo de la red. Estas pérdidas se calculan según la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{2\pi L(t_s - t_a)K}{2,3 \log_{10}\left(\frac{DA}{DN}\right)},$$

donde

L es la longitud de la tubería,

t_s es la temperatura en la superficie exterior de la tubería, que se supone igual a la temperatura del líquido,

t_a es la temperatura ambiente,

K es una constante que depende de la conductividad térmica del aislante,

DA es el diámetro externo de la tubería con aislante, y

DN es el diámetro nominal de la tubería.

RESULTADOS

CONJUNTO LA COMPAÑÍA

Para calcular las pérdidas de calor en las tuberías de este proyecto, se utiliza la expresión anterior y se considera sólo el escenario 1 de calefacción, ya que los resultados son muy similares a los que se obtienen del análisis del escenario 2.

Tramo	L (m)	DN (mm)	E (mm)	DA (mm)	K $\left(\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	t _{s1} (°C)	t _{s2} (°C)	t _a (°C)	Q ₁ (kcal/h)	Q ₂ (kcal/h)	Q _T (kcal/h)
1	78	125	40	205	0,042	85	45	18	1.395	562	1.958
2	145	80	30	140	0,042	85	45	18	2.293	924	3.217
3	123	65	30	125	0,042	85	45	18	1.665	671	2.336
4	212	40	30	100	0,042	85	45	18	2.048	825	2.873
5	227	100	40	180	0,042	85	45	18	3.418	1.377	4.795
6	145	80	30	140	0,042	85	45	18	2.293	924	3.217
7	175	80	30	140	0,042	85	45	18	2.768	1.115	3.883
8	168	65	30	125	0,042	85	45	18	2.274	916	3.190
9	182	50	30	110	0,042	85	45	18	2.043	823	2.866
10	369	65	30	125	0,042	85	45	18	4.994	2.013	7.007
11	220	50	30	110	0,042	85	45	18	2.469	995	3.465
12	227	40	30	100	0,042	85	45	18	2.193	884	3.076
Total	2.271								29.853	12.030	41.883

Tabla F.1: Pérdidas de calor en tuberías red primaria, Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

Las pérdidas totales en la red son de 123.018 kcal/h, lo que equivale a una reducción de 143 kW en la eficiencia térmica de la planta. En términos unitarios, las pérdidas de calor por unidad de longitud en la red de distribución de este proyecto son de 18 W/m.

Tramo	L (m)	DN (mm)	E (mm)	DA (mm)	K $\left(\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	t _{s1} (°C)	t _{s2} (°C)	t _a (°C)	Q ₁ (kcal/h)	Q ₂ (kcal/h)	Q _T (kcal/h)
1	586	20	20	60	0,042	85	45	18	4.721	1.902	6.623
2	340	32	20	72	0,042	85	45	18	3.711	1.495	5.206
3	358	50	30	110	0,042	85	45	18	4.019	1.619	5.638
4	376	25	20	65	0,042	85	45	18	3.483	1.403	4.886
5	430	32	20	72	0,042	85	45	18	4.693	1.891	6.584
6	388	50	30	110	0,042	85	45	18	4.355	1.755	6.110
7	388	32	20	72	0,042	85	45	18	4.235	1.706	5.941
8	418	50	30	110	0,042	85	45	18	4.692	1.891	6.583
9	472	32	20	72	0,042	85	45	18	5.151	2.076	7.227
10	484	32	20	72	0,042	85	45	18	5.282	2.129	7.411
11	436	40	30	100	0,042	85	45	18	4.211	1.697	5.908
12	526	20	20	60	0,042	85	45	18	4.237	1.708	5.945
13	245	32	20	72	0,042	85	45	18	2.674	1.078	3.751
14	245	40	30	100	0,042	85	45	18	2.366	954	3.320
Total	5.692								57.830	23.305	81.135

Tabla F.2: Pérdidas de calor en tuberías red secundaria, Conjunto La Compañía

Fuente: elaboración propia

CONDOMINIO SAMUEL ROMÁN

Tramo	L (m)	DN (mm)	E (mm)	DA (mm)	K $\left(\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	t _{s1} (°C)	t _{s2} (°C)	t _a (°C)	Q ₁ (kcal/h)	Q ₂ (kcal/h)	Q _T (kcal/h)
1	359	50	30	110	0,042	85	45	18	4.030	1.624	5.654
2	15	32	20	72	0,042	85	45	18	164	66	230
3	246	25	20	65	0,042	85	45	18	2.279	918	3.197
4	246	25	20	65	0,042	85	45	18	2.279	918	3.197
5	15	32	20	72	0,042	85	45	18	164	66	230
6	246	25	20	65	0,042	85	45	18	2.279	918	3.197
7	246	25	20	65	0,042	85	45	18	2.279	918	3.197
Total	1.373								13.471	5.429	18.900

Tabla F.3: Pérdidas de calor en tuberías red primaria, Condominio Samuel Román

Fuente: elaboración propia

Las pérdidas totales en la red son de 18.900 kcal/h, lo que equivale a una reducción de 22 kW en la eficiencia térmica de la planta. En términos unitarios, las pérdidas de calor por unidad de longitud en la red de distribución de este proyecto son de 16 W/m.

PARQUE VIÑA SANTA BLANCA

Las pérdidas totales en la red son de 105.222 kcal/h, lo que equivale a una reducción de 122 kW en la eficiencia térmica de la planta. En términos unitarios, las pérdidas de calor por unidad de longitud en la red de distribución de este proyecto son de 17,7 W/m.

Tramo	L (m)	DN (mm)	E (mm)	DA (mm)	K $\left(\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	t _{s1} (°C)	t _{s2} (°C)	t _a (°C)	Q ₁ (kcal/h)	Q ₂ (kcal/h)	Q _T (kcal/h)
1	78	125	40	205	0,042	85	45	18	1.395	562	1.958
2	145	80	30	140	0,042	85	45	18	2.293	924	3.217
3	123	80	30	140	0,042	85	45	18	1.945	784	2.729
4	212	65	30	125	0,042	85	45	18	2.869	1.156	4.026
5	227	65	30	125	0,042	85	45	18	3.072	1.238	4.310
6	145	50	30	110	0,042	85	45	18	1.628	656	2.284
7	175	65	30	125	0,042	85	45	18	2.368	954	3.323
8	168	65	30	125	0,042	85	45	18	2.274	916	3.190
9	182	50	30	110	0,042	85	45	18	2.043	823	2.866
Total	1.455								19.888	8.015	27.903

Tabla F.4: Pérdidas de calor en tuberías red primaria, Parque Viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

Tramo	L (m)	DN (mm)	E (mm)	DA (mm)	K $\left(\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$	t _{s1} (°C)	t _{s2} (°C)	t _a (°C)	Q ₁ (kcal/h)	Q ₂ (kcal/h)	Q _T (kcal/h)
1	586	50	30	110	0,042	85	45	18	6.578	2.651	9.229
2	340	25	20	65	0,042	85	45	18	3.149	1.269	4.418
3	358	32	20	72	0,042	85	45	18	3.907	1.575	5.482
4	376	40	30	100	0,042	85	45	18	3.632	1.464	5.095
5	430	32	20	72	0,042	85	45	18	4.693	1.891	6.584
6	388	40	30	100	0,042	85	45	18	3.748	1.510	5.258
7	388	40	30	100	0,042	85	45	18	3.748	1.510	5.258
8	418	40	30	100	0,042	85	45	18	4.037	1.627	5.664
9	472	40	30	100	0,042	85	45	18	4.559	1.837	6.396
10	484	40	30	100	0,042	85	45	18	4.675	1.884	6.559
11	436	40	30	100	0,042	85	45	18	4.211	1.697	5.908
12	526	50	30	110	0,042	85	45	18	5.904	2.379	8.284
13	245	25	20	65	0,042	85	45	18	2.269	914	3.184
Total	5.447								55.110	22.209	77.319

Tabla F.5: Pérdidas de calor en tuberías red secundaria, Parque Viña Santa Blanca

Fuente: elaboración propia

ANEXO G

CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN DISTINTOS ESCENARIOS DE CALEFACCIÓN

En la tabla a continuación, se entregan los cálculos de consumo de combustible bajo los 6 escenarios evaluados y para los 3 proyectos residenciales. Los escenarios considerados en la tabla corresponden a:

- **Escenario 1:** Temperatura de confort de 21°C entre las 12 y las 23 horas, sin calefacción el resto del día.
- **Escenario 2:** Temperatura de confort de 21°C entre las 12 y las 23 horas y de 15°C el resto del día.
- **Escenario 1.1:** Escenario de calefacción 1 con apoyo de gas licuado en horas punta
- **Escenario 1.2:** Escenario de calefacción 1 con apoyo de gas licuado en horas punta y un volumen de inercia de 100 l/vivienda
- **Escenario 2.1:** Escenario de calefacción 2 con apoyo de gas licuado en horas punta
- **Escenario 2.2:** Escenario de calefacción 2 con apoyo de gas licuado en horas punta y un volumen de inercia de 100 l/vivienda

Para el cálculo del volumen de biomasa, se consideró un PCI de 4.400 kcal/kg en base seca y una densidad estéreo de 300 kg/m³. Para el cálculo del volumen de gas licuado, se consideró un PCI de 11.040 kcal/kg (PCS = 12.000 kcal/kg).

			Conjunto La Compañía	Condominio Samuel Román	Parque Viña Santa Blanca
Escenario 1	Consumo térmico	(kWh/año)	4.129.896	665.244	4.375.586
		(kWh/año)	4.129.896	665.244	4.375.586
	Consumo biomasa	(ton/año b.s.)	807	130	855
		(m ³ /año b.h.)	1.647	265	1.745
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	0	0	0
		(kg/año)	0	0	0

Escenario 2	Consumo térmico	(kWh/año)	4.741.981	798.673	5.098.635
	Consumo biomasa	(kWh/año)	4.741.981	798.673	5.098.635
		(ton/año b.s.)	927	156	997
		(m ³ /año b.h.)	1.892	319	2.034
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	0	0	0
		(kg/año)	0	0	0
Escenario 1.1	Consumo térmico	(kWh/año)	4.129.896	665.244	4.375.586
	Consumo biomasa	(kWh/año)	4.105.117	661.253	4.349.333
		(ton/año b.s.)	802	129	850
		(m ³ /año b.h.)	1.637	264	1.735
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	24.779	3.991	26.253
		(kg/año)	1.930	311	2.045
Escenario 1.2	Consumo térmico	(kWh/año)	4.129.896	665.244	4.375.586
	Consumo biomasa	(kWh/año)	4.091.445	659.050	4.334.848
		(ton/año b.s.)	800	129	847
		(m ³ /año b.h.)	1.632	263	1.729
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	38.451	6.194	40.738
		(kg/año)	2.995	482	3.173
Escenario 2.1	Consumo térmico	(kWh/año)	4.741.981	798.673	5.098.635
	Consumo biomasa	(kWh/año)	4.697.858	791.242	5.051.193
		(ton/año b.s.)	918	155	987
		(m ³ /año b.h.)	1.874	316	2.015
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	44.123	7.431	47.442
		(kg/año)	3.437	579	3.696
Escenario 2.2	Consumo térmico	(kWh/año)	4.741.981	798.673	5.098.635
	Consumo biomasa	(kWh/año)	4.726.538	796.072	5.082.030
		(ton/año b.s.)	924	156	993
		(m ³ /año b.h.)	1.885	318	2.027
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	15.443	2.601	16.605
		(kg/año)	1.203	203	1.293

Tabla G.1: Consumo de combustibles bajo distintos escenarios de calefacción

Fuente: elaboración propia

ANEXO H

ESTIMACIÓN DE UNA TARIFA REFERENCIAL DE CALEFACCIÓN Y ACS

El costo promedio de calefacción y ACS de una familia promedio en Rancagua se determinó a partir del cruce entre dos estudios realizados previamente²³. De acuerdo a lo que se reporta en las tablas H.1 y 9.2, se determinó el costo mensual durante la temporada de calor y la temporada de frío, para cada fuente energética utilizada. Así, por ejemplo, el costo mensual de una familia promedio en Rancagua por calefacción usando leña en temporada de frío, sería de \$22.279, lo que representa un 100% del costo de leña utilizado en Rancagua; en otras palabras, toda la leña consumida en temporada de frío va para calefacción.

	Total Rancagua		ACS		Calefacción		Total	
	Costo (\$)	Peso	Costo (\$)	Peso	Costo (\$)	Peso	Costo (\$)	Peso
Electricidad	23.158	100%	420	2%	614	3%	1.035	4%
Gas licuado	21.803	100%	12.408	57%	3.336	15%	15.744	72%
Parafina	56	100%	-	0%	56	100%	56	100%
Leña	602	100%	-	0%	602	100%	602	100%
Total	45.619	100%	12.828	28%	4.608	10%	17.437	38%

Tabla H.1: Costo mensual de calefacción y ACS para una familia promedio en Rancagua durante la temporada de calor

Fuente: elaboración propia

²³ Jiménez y Mardones (2010) y CDT(2010)

	Total Rancagua		ACS		Calefacción		Total	
	Costo (\$)	Peso	Costo (\$)	Peso	Costo (\$)	Peso	Costo (\$)	Peso
Electricidad	28.727	100%	521	2%	762	3%	1.283	4%
Gas licuado	24.183	100%	13.762	57%	3.700	15%	17.463	72%
Parafina	1.321	100%	-	0%	1.321	100%	1.321	100%
Leña	22.279	100%	-	0%	22.279	100%	22.279	100%
Total	76.510	100%	14.284	19%	28.062	37%	42.346	55%

Tabla H.2: Costo mensual de calefacción y ACS para una familia promedio en Rancagua durante la temporada de frío

Fuente: elaboración propia

De esta forma, se determina un costo anual en calefacción y ACS para una familia promedio en Rancagua, que equivale a \$333.786. Estos resultados se reportan en la tabla H.3.

Mes	Consumo		
	ACS	Calefacción	Total
Enero	12.828	4.608	17.437
Febrero	12.828	4.608	17.437
Marzo	12.828	4.608	17.437
Abril	12.828	4.608	17.437
Mayo	14.284	28.062	42.346
Junio	14.284	28.062	42.346
Julio	14.284	28.062	42.346
Agosto	14.284	28.062	42.346
Septiembre	14.284	28.062	42.346
Octubre	12.828	4.608	17.437
Noviembre	12.828	4.608	17.437
Diciembre	12.828	4.608	17.437
Total	161.214	172.571	333.786

Tabla H.3: Costo anual en calefacción y ACS para una familia promedio en Rancagua

Fuente: elaboración propia

Índice de tablas

Tabla 3.1: Tipos de vivienda en la comuna de Rancagua	7
Tabla 3.2: Combustibles utilizados para la calefacción en Rancagua	8
Tabla 3.3: Combustibles utilizados para el ACS en Rancagua	8
Tabla 4.1: Superficie regional de plantaciones forestales por provincia	12
Tabla 4.2: Síntesis de las características de los aserraderos en la Región de O'Higgins	14
Tabla 4.3: Centrales de astillado en funcionamiento (2011)	14
Tabla 4.4: Cantidad de biomasa disponible según radio considerado	17
Tabla 4.5: Biomasa de viña y vid de mesa disponible en el radio de la comuna de Rancagua	20
Tabla 4.6: Plantas que reutilización los residuos para generación energética	22
Tabla 4.7: Disponibilidad de los residuos del sector de la agroindustria	23
Tabla 4.8: Trabajos realizados por la Municipalidad de Rancagua en árboles municipales	24
Tabla 4.9: Proyección de la cosecha de manejo sostenible de bosque nativo	27
Tabla 4.10: Fuentes de biomasa identificadas para el Escenario 1	31
Tabla 4.11: Características de biomasa identificada en Rancagua	31
Tabla 4.12: Costos logísticos de la cosecha forestal	33
Tabla 4.13: Costos logísticos del procesamiento de residuos de cosecha de pino	33
Tabla 4.14: Costos de residuos de la agroindustria	34
Tabla 4.15: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 1	36
Tabla 4.16: Fuentes de biomasa identificadas para el escenario 2	37
Tabla 4.17: Características de biomasa identificada en Rancagua	38
Tabla 4.18: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 2	39
Tabla 5.1: Características constructivas de la vivienda	51
Tabla 5.2: Características constructivas de la vivienda	53
Tabla 5.3: Características constructivas de la vivienda	55
Tabla 6.1: Rol de los participantes de un proyecto residencial	63
Tabla 6.2: Alternativas de financiamiento del sistema DH/CHP	64

Tabla 6.3: Modelo de negocio para los proyectos residenciales seleccionados	67
Tabla 6.4: Modelo de negocio para el proyecto mixto seleccionado	68
Tabla 7.1: Modelos de comportamiento humano en consumo de calefacción.....	70
Tabla 7.2: Consumos referenciales de ACS	72
Tabla 7.3: Consumo anual en calefacción y potencia de generación	74
Tabla 7.4: Consumo térmico y potencia de generación en ACS por proyecto.....	75
Tabla 7.5: Consumo (kWh) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto	76
Tabla 7.6: Consumo (kWh) en calefacción y ACS para escenario 2, por proyecto.....	76
Tabla 7.7: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto	77
Tabla 7.8: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto	77
Tabla 8.1: Potencia de central térmica (kW), Conjunto La Compañía	91
Tabla 8.2: Potencia de central térmica (kW), Condominio Samuel Román	91
Tabla 8.3: Potencia de central térmica (kW), Parque Viña Santa Blanca.....	91
Tabla 8.4: Dimensionamiento de la red de distribución en los proyectos residenciales.....	92
Tabla 8.5: Potencia térmica requerida por vivienda, proyectos residenciales	93
Tabla 8.6: Especificaciones del diseño de red del proyecto mixto	99
Tabla 9.1: Características de los equipos de combustión cotizados	101
Tabla 9.2: Resumen de inversión en central térmica, proyectos residenciales, millones de pesos.....	101
Tabla 9.3: Resumen de inversión en red de distribución de calor, proyectos residenciales, pesos.....	102
Tabla 9.4: Resumen de inversión en distribución en viviendas, proyectos residenciales, pesos ...	103
Tabla 9.5: Resumen de inversión inicial, proyectos residenciales, millones de pesos	104
Tabla 9.6: Costos de operación, proyectos residenciales, millones de pesos.....	105
Tabla 9.7: Esquema de depreciación de activos, proyectos residenciales	106
Tabla 9.8: Costos anualizados de inversión y operación por vivienda, pesos chilenos	107
Tabla 9.9: Costo actual neto por vivienda, pesos chilenos	108
Tabla 9.10: Estructura de costos por vivienda	108
Tabla 9.11: Composición de la tarifa de los proyectos residenciales.....	109

Tabla 9.12: Composición de la tarifa de los proyectos residenciales, con cofinanciamiento público	111
Tabla 9.13: Rentabilidad privada de los proyectos, con cofinanciamiento público, miles de pesos chilenos	112
Tabla 9.14: Beneficios en salud por la implementación de un plan de calefacción distrital, millones de pesos chilenos.....	113
Tabla 9.15: Parámetros de operación de la caldera de agua caliente 2,5 MW _{th} , alternativa 1 del proyecto mixto	115
Tabla 9.16: Parámetros de operación de la caldera de GLP 2 MW _{th} , alternativa 2 del proyecto mixto.....	115
Tabla 9.17: Parámetros de operación de todo el sistema térmico, alternativa 1 del proyecto mixto.....	115
Tabla 9.18: Costos inversión planta térmica, alternativa 1 proyecto mixto	116
Tabla 9.19: Costos de inversión en la red de distribución de calor del proyecto mixto	116
Tabla 9.20: Depreciación de activo fijo de la planta CHP, alternativa 2 proyecto mixto.....	117
Tabla 9.21: Tarifas de venta del servicio, alternativa 1 proyecto mixto	117
Tabla 9.22: Costos de operación de la planta eléctrica, alternativa 1 proyecto mixto.....	118
Tabla 9.23: Parámetros de operación de la planta ORC, alternativa 2.1 del proyecto mixto.....	120
Tabla 9.24: Parámetros de operación de la planta ORC, alternativa 2.2 del proyecto mixto.....	121
Tabla 9.25: Parámetros de operación de la caldera de agua caliente 1 MW _{th} , alternativa 2 del proyecto mixto	121
Tabla 9.26: Parámetros de operación de la caldera de GLP 2 MW _{th} , alternativa 2 del proyecto mixto.....	122
Tabla 9.27: Parámetros de operación de todo el sistema térmico, alternativa 2.1 del proyecto mixto.....	122
Tabla 9.28: Parámetros de operación de todo el sistema térmico, alternativa 2.2 del proyecto mixto.....	123
Tabla 9.29: Costos inversión planta eléctrica, alternativa 2 proyecto mixto.....	123
Tabla 9.30: Costos inversión planta térmica, alternativa 2 proyecto mixto	124
Tabla 9.31: Costos de operación de la planta eléctrica, alternativa 2 proyecto mixto.....	125
Tabla 9.32: Depreciación de activo fijo de la planta CHP, alternativa 2 proyecto mixto.....	126

Tabla 9.33: Tarifas de venta del servicio, alternativa 2.1 proyecto mixto	126
Tabla 9.34: Tarifas de venta del servicio, alternativa 2.2 proyecto mixto	127
Tabla B.1: Histograma de consumo horario en calefacción, escenario 1	135
Tabla B.2: Histograma de consumo horario en calefacción, escenario 2	137
Tabla B.3: Sensibilización de escenarios de generación con depósitos de inercia	138
Tabla D.1: Histograma de consumo horario en calor proyecto mixto	143
Tabla E.1: Especificaciones de la red de distribución primaria, Conjunto La Compañía.....	147
Tabla E.2: Especificaciones de la red de distribución secundaria, Conjunto La Compañía.....	148
Tabla E.3: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Condominio Samuel Román.....	150
Tabla E.4: Especificaciones de la red de distribución primaria, proyecto Parque Viña Santa Blanca	151
Tabla E.5: Especificaciones de la red de distribución secundaria, proyecto Parque Viña Santa Blanca	152
Tabla F.1: Pérdidas de calor en tuberías red primaria, Conjunto La Compañía.....	154
Tabla F.2: Pérdidas de calor en tuberías red secundaria, Conjunto La Compañía.....	155
Tabla F.3: Pérdidas de calor en tuberías red primaria, Condominio Samuel Román	156
Tabla F.4: Pérdidas de calor en tuberías red primaria, Parque Viña Santa Blanca	157
Tabla F.5: Pérdidas de calor en tuberías red secundaria, Parque Viña Santa Blanca	157
Tabla G.1: Consumo de combustibles bajo distintos escenarios de calefacción	159
Tabla H.1: Costo mensual de calefacción y ACS para una familia promedio en Rancagua durante la temporada de calor.....	160
Tabla H.2: Costo mensual de calefacción y ACS para una familia promedio en Rancagua durante la temporada de frío	161
Tabla H.3: Costo anual en calefacción y ACS para una familia promedio en Rancagua	161

Índice de figuras

Figura 3.1: Gráfico de temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales para la ciudad de Rancagua	5
Figura 3.2: Gráfico de precipitaciones promedio mensuales y número promedio de días de lluvia para la ciudad de Rancagua	6
Figura 4.1: Fuentes de biomasa evaluadas	9
Figura 4.2: Distribución de tipos de cultivos en la Región de O'Higgins	10
Figura 4.3: Distribución de tipos de cultivos en la Provincia de Cachapoal	10
Figura 4.4: Estimación de la superficie regional de plantaciones forestales (ha)	12
Figura 4.5: Principales plantaciones de frutales en la provincia de Cachapoal	16
Figura 4.6: Radios de disponibilidad de residuos de podas de plantaciones frutales	17
Figura 4.7: Distribución de la superficie cubierta por viñas y vid de mesa por provincia.....	19
Figura 4.8: Radios de disponibilidad de residuos de podas de viñas y vides de mesa.....	20
Figura 4.9: Localización de las plantas agroindustriales de la Región de O'Higgins	22
Figura 4.10: Estimación de residuos de poda generados en Rancagua	25
Figura 4.11: Distribución de la cobertura boscosa.....	26
Figura 4.12: Distribución del bosque nativo de la Región de O'Higgins	28
Figura 4.13: Especies nativas más comunes en la Provincia de Cachapoal	29
Figura 4.14: Proceso logístico de la biomasa	32
Figura 5.1: Ubicación de calderas registradas en el servicio de salud, Rancagua.....	42
Figura 5.2: Nuevos proyectos inmobiliarios año 2012, Rancagua	44
Figura 5.3: Focos de demanda térmica en la ciudad de Rancagua	45
Figura 5.4: Plano de acercamiento Hospital Fusat.....	46
Figura 5.5: Centro Médico Fusat, Rancagua	47
Figura 5.6: Clínica Isamedica, Rancagua.....	48
Figura 5.7: Condominio Alto del Valle, Rancagua	49
Figura 5.8: Supermercado Jumbo, Rancagua	50

Figura 5.9: Ubicación del Conjunto La Compañía	51
Figura 5.10: Ubicación del Condominio Samuel Román	52
Figura 5.11: Representación visual del Condominio Samuel Román.....	52
Figura 5.12: Ubicación del Parque Viña Santa Blanca	54
Figura 5.13: Representación visual del Parque Viña Santa Blanca	54
Figura 6.1: Cadena de valor de los servicios energéticos, modelos de negocio, productos típicos y mediciones	56
Figura 6.2: Participantes un sistema de calefacción distrital residencial.....	62
Figura 7.1: Consumo residencial en calefacción y ACS	78
Figura 7.2: Consumo horario mensual en energía térmica, total proyecto mixto.....	85
Figura 7.3: Consumo y potencia mensual en energía térmica, total proyecto mixto.....	85
Figura 7.4: Tipo de uso del calor consumido por edificio	86
Figura 7.5: Consumo horario mensual en energía eléctrica, total proyecto mixto	87
Figura 7.6: Consumo mensual en energía eléctrica, total proyecto mixto	87
Figura 7.7: Usos de la electricidad consumida por edificio.....	87
Figura 8.1: Curva de ahorro/costo para definir potencia óptima de caldera a biomasa	94
Figura 8.2: Energía eléctrica suministrada por la planta según potencia nominal	96
Figura 8.3: Análisis costo/beneficio para definir la potencia eléctrica de la planta CHP	97
Figura 8.4: Sistema de distribución de calor y frío del proyecto mixto	98
Figura 8.5: Diseño conceptual de la red de distribución de calor y frío del proyecto mixto	99
Figura A.1: Consumo horario máximo mensual en calefacción, Conjunto La Compañía	132
Figura A.2: Consumo horario máximo mensual en calefacción, Condominio Samuel Román	133
Figura A.3: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Parque Viña Santa Blanca	134
Figura B.1: Histograma consumo horario en calefacción, escenario 1	136
Figura B.2: Histograma consumo horario en calefacción, escenario 2	137
Figura B.3: Déficit de carga de caldera según nivel de operación con depósitos de inercia	138
Figura C.1: Consumo horario mensual en energía térmica, Hospital Fusat.....	140
Figura C.2: Consumo horario mensual en energía térmica, Hospital Fusat.....	140

Figura C.3: Consumo horario mensual en energía térmica, Clínica Isamedica	141
Figura C.4: Consumo horario mensual en energía térmica, Condominio Alto del Valle	141
Figura C.5: Consumo horario mensual en energía térmica, total proyecto mixto.....	141
Figura C.6: Consumo horario mensual en energía eléctrica, total proyecto mixto	142
Figura D.1: Histograma consumo horario en calor, proyecto mixto.....	143
Figura D.2: Desempeño de la caldera a biomasa según potencia nominal, proyecto mixto	144
Figura D.3: Desempeño de la caldera a biomasa según potencia nominal, proyecto mixto.....	145
Figura D.4: Histograma consumo horario en electricidad, proyecto mixto.....	145
Figura E.1: Trazado red de tuberías, Conjunto La Compañía	146
Figura E.2: Tramos correspondientes a la red de distribución primaria, Conjunto La Compañía.....	147
Figura E.3: Trazado red de distribución secundaria, Conjunto La Compañía	148
Figura E.4: Trazado red de tuberías, Condominio Samuel Román.....	149
Figura E.5: Trazado red de distribución por tramos, Condominio Samuel Román.....	149
Figura E.6: Trazado red de tuberías, proyecto Parque Viña Santa Blanca	150
Figura E.7: Trazado red de distribución primaria, proyecto Parque Viña Santa Blanca	151
Figura E.8: Trazado red de distribución secundaria, proyecto Parque viña Santa Blanca	152