

---

# 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 Osorno

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

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Propósito del estudio .....</b>	<b>3</b>
2.1	Objetivo general .....	3
2.2	Objetivos específicos .....	3
<b>3</b>	<b>Antecedentes .....</b>	<b>4</b>
3.1	Población .....	4
3.2	Suelos y vegetación .....	5
3.3	Clima .....	6
3.4	Consumo de combustibles para calefacción .....	8
3.5	Consumo eléctrico .....	9
<b>4</b>	<b>Oferta de biomasa.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1</b>	<b>Plantaciones forestales .....</b>	<b>12</b>
4.1.1	Perspectiva regional.....	12
4.1.2	Perspectiva provincial: Osorno .....	15
4.1.3	Fuentes de biomasa identificadas.....	18
4.1.3.1	Propietarios de plantaciones .....	18
4.1.3.2	Comercializadores de biomasa .....	18
4.1.3.3	Aserraderos forestales .....	18
4.1.3.4	Astilladores.....	20
<b>4.2</b>	<b>Disponibilidad de biomasa del bosque nativo.....</b>	<b>20</b>
4.2.1	Perspectiva regional.....	20
4.2.2	Perspectiva provincial: Osorno .....	22
4.2.3	Fuentes de biomasa identificadas.....	23
4.2.3.1	Comercializadores de leña .....	23

4.2.3.2	Propietarios de plantaciones .....	23
4.2.3.3	Aserraderos forestales: .....	24
<b>4.3</b>	<b>Selección de escenarios logísticos .....</b>	<b>26</b>
4.3.1	Escenario 1: Autogestión del abastecimiento.....	26
4.3.1.1	Origen de la biomasa .....	26
4.3.1.2	Características de la biomasa identificada.....	27
4.3.1.3	Costos logísticos.....	27
4.3.2	Escenario 2: Contrato a largo plazo con proveedores .....	31
4.3.2.1	Origen de biomasa .....	31
4.3.2.2	Características de la biomasa.....	31
4.3.2.3	Estimación de los costos logísticos .....	32
<b>4.4</b>	<b>Comentarios finales .....</b>	<b>33</b>
<b>5</b>	<b>Identificación y selección de proyectos piloto .....</b>	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>Ubicación de sectores de análisis .....</b>	<b>34</b>
<b>5.3</b>	<b>Análisis de sectores .....</b>	<b>36</b>
5.3.1	Sector del Barrio Franke.....	36
5.3.2	Sector Pilauco.....	37
5.3.3	Sector Trébol Sur .....	38
5.3.4	Sector Las Quemadas.....	39
5.3.5	Sector Ovejería.....	41
5.3.6	Sector Rahue .....	41
5.3.7	Selección de proyectos.....	43
<b>5.4</b>	<b>Proyecto mixto .....</b>	<b>43</b>
5.4.1	Madexpo .....	44
5.4.2	Madesur .....	45
5.4.3	Conjunto habitacional Reina Luisa.....	46
<b>5.5</b>	<b>Proyectos residenciales.....</b>	<b>47</b>
5.5.1	Conjunto Las Palmas .....	47

5.5.2	Conjunto Reina Luisa.....	49
5.5.3	Condominio Bellavista.....	50
<b>6</b>	<b>Modelos de negocio .....</b>	<b>53</b>
<b>6.1</b>	<b>Estructura del modelo de negocio .....</b>	<b>53</b>
6.1.1	Mercado objetivo.....	54
6.1.2	Producto/servicio.....	55
6.1.3	Cadena de valor.....	55
6.1.3.1	Energía primaria.....	55
6.1.3.2	Energía secundaria.....	55
6.1.3.3	Servicio de energía útil.....	56
6.1.3.4	Servicio de ahorro energético.....	56
6.1.4	Actividades clave.....	56
6.1.4.1	Abastecimiento de biomasa.....	56
6.1.4.2	Instalación, operación y mantenimiento .....	57
6.1.4.3	Contrato entre empresa de servicios y consumidor final.....	57
6.1.4.4	Mediciones, cobro y servicio post-venta .....	58
6.1.4.5	Promoción de la tecnología .....	58
6.1.5	Participantes.....	58
6.1.6	Estructura de ingresos y costos.....	61
6.1.6.1	Financiamiento.....	61
6.1.6.2	Sistema tarifario.....	62
<b>6.2</b>	<b>Modelo de negocio para proyectos seleccionados .....</b>	<b>63</b>
<b>7</b>	<b>Requerimientos térmicos .....</b>	<b>67</b>
<b>7.1</b>	<b>Requerimientos residenciales .....</b>	<b>67</b>
7.1.1	Metodología general de cálculo.....	67
7.1.1.1	Eficiencia térmica del sistema.....	67
7.1.1.2	Requerimiento de calefacción .....	68
7.1.1.3	Requerimiento de ACS.....	69

7.1.1.4	Potencia de generación.....	71
7.1.2	Resultados .....	72
7.1.2.1	Calefacción .....	72
7.1.2.2	Agua caliente sanitaria.....	73
7.1.2.3	Resumen requerimientos térmicos proyectos residenciales.....	74
<b>7.2</b>	<b>Requerimientos proyecto mixto.....</b>	<b>77</b>
7.2.1	Metodología general de cálculo.....	77
7.2.2	Madexpo .....	78
7.2.2.1	Requerimientos actuales de energía térmica .....	78
7.2.2.2	Requerimientos actuales de electricidad.....	78
7.2.3	Madesur .....	79
7.2.3.1	Requerimientos actuales de energía térmica .....	79
7.2.3.2	Requerimientos actuales de electricidad.....	80
7.2.4	Conjunto habitacional Reina Luisa .....	81
7.2.4.1	Consumo de energía térmica.....	81
7.2.5	Resumen de requerimientos energéticos del proyecto mixto .....	82
7.2.5.1	Consumo de energía térmica.....	82
7.2.5.2	Consumo de electricidad .....	86
<b>8</b>	<b>Diseño conceptual de proyectos piloto .....</b>	<b>88</b>
<b>8.1</b>	<b>Metodología proyectos residenciales .....</b>	<b>88</b>
8.1.1	Planta de generación.....	88
8.1.2	Red de distribución .....	89
8.1.3	Distribución al interior de los recintos.....	90
<b>8.2</b>	<b>Resultados de proyectos residenciales .....</b>	<b>90</b>
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

<b>8.3</b>	<b>Proyecto mixto .....</b>	<b>93</b>
8.3.1	Central de generación .....	93
<b>9</b>	<b>Evaluación económica .....</b>	<b>96</b>
<b>9.1</b>	<b>Proyectos residenciales.....</b>	<b>96</b>
9.1.1	Inversión inicial.....	96
9.1.1.1	Estudios de preinversión.....	96
9.1.1.2	Central térmica .....	96
9.1.1.3	Red de distribución de calor .....	98
9.1.1.4	Elementos de distribución de calor en viviendas .....	98
9.1.1.5	Resumen de inversión inicial .....	100
9.1.2	Costos de operación.....	100
9.1.3	Depreciaciones .....	102
9.1.4	Ingresos por ventas .....	102
9.1.4.1	Estructura de costos.....	102
9.1.4.2	Composición de la tarifa de venta .....	105
9.1.5	Rentabilidad privada .....	107
9.1.6	Rentabilidad social .....	109
<b>9.2</b>	<b>Proyecto Mixto .....</b>	<b>110</b>
9.2.1	Costos de inversión .....	110
9.2.2	Costos de operación.....	112
9.2.3	Rentabilidad privada .....	112
<b>10</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>116</b>
	<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>118</b>

<b>ANEXOS .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO A SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE VIVIENDAS EN PROYECTOS RESIDENCIALES .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO B CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN DISTINTOS ESCENARIOS DE CALEFACCIÓN.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO C DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR .....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO D ESTIMACIÓN DEL GASTO PROMEDIO EN CALEFACCIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA EN UN HOGAR DE OSORNO .....</b>	<b>154</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>158</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>162</b>

# 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 26 de julio de 2012, se promulga el Decreto 27 del Ministerio del Medio Ambiente, que declara zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración diaria y anual, y por material particulado fino respirable MP2,5, como concentración diaria y anual, a la comuna de Osorno. 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 informe, se reportan los resultados de los estudios de prefactibilidad técnico-económica de la instalación y operación de una red de calefacción distrital con biomasa en

tres conjuntos habitacionales de la ciudad de Osorno, además de un proyecto mixto, que incorpora demanda industrial y residencial.

## 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 Osorno.

### 2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, se definieron los siguientes:

- Determinar la disponibilidad de biomasa en la Región de Los Lagos, para abastecer plantas de calefacción distrital en la ciudad de Osorno.
- 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 Osorno.
- 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

---

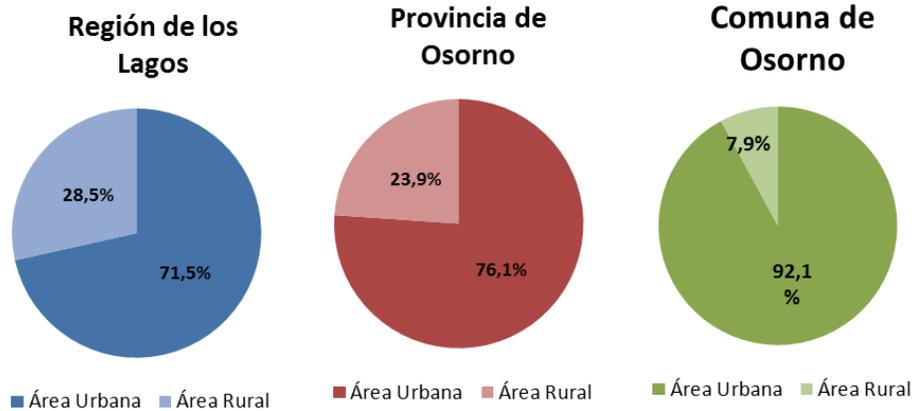
La Región de Los Lagos está ubicada en la zona sur del país. Su superficie es de 48.584 km<sup>2</sup>, que representa el 6,4 % de la superficie del país. Se divide administrativamente en 4 provincias y 30 comunas. La capital regional es la ciudad de Puerto Montt, la cual se encuentra a 105 km de la ciudad de Osorno.

La ciudad de Osorno se localiza en el valle central de la Región de Los Lagos. Es el principal centro urbano de la Provincia de Osorno, con una población urbana de 154.137 habitantes y con una dinámica económica basada en la industria de productos agropecuarios relacionados con la ganadería bovina, lo que ha dado a la creación de lecherías y frigoríficos.

### **3.1 Población**

La población regional, según los resultados del censo 2012, asciende a 798.141 habitantes, representando cerca del 4,8% de la población total del país. Cerca del 71,5% de la población se encuentra en el área urbana, mientras que el 28,5% radica en el área rural. En la provincia de Osorno, el 76,1% de la población radica en el área urbana y el 23,9% se establece en el área rural. En la comuna de Osorno el 92,1% vive en el área urbana, para un total de 141.968 personas; el 7,9% reside en el área rural, con un total de 12.169 habitantes para un total de 154.137 habitantes en la comuna.

Se estima que la región tiene una tasa de crecimiento anual de 0,98% y una densidad poblacional de 16,16 personas por kilómetro cuadrado (Instituto Nacional de Estadísticas, 2012).



**Figura 3.1: Distribución de la población**

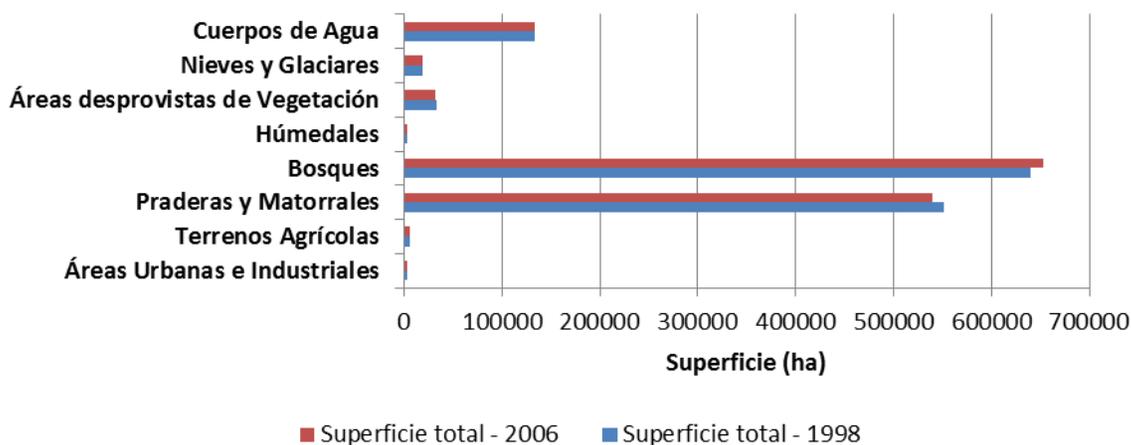
Fuente: Censo 2012 preliminar, INE

## 3.2 Suelos y vegetación

La provincia de Osorno representa el 19% de la superficie de la región. Hacia el interior de la provincia es posible encontrar formaciones boscosas compuestas de hierbas, arbustos, helechos, musgos y enredaderas, como el copihue. Los cultivos de cereales, remolacha, papas y lino, a lo que hay que añadir la explotación de maderas autóctonas.

El “Catastro de uso del suelo y vegetación”, versión de monitoreo y actualización para el periodo 1998-2006; indica que en el periodo de ocho años el uso de suelo para áreas urbanas e industriales en la región aumento en un 10%. El uso de suelos para terrenos agrícolas aumentó en un 0,4%; para bosques (plantaciones, bosque nativo, bosque mixto y protecciones) aumento en un 1,9% aunque el bosque nativo disminuyo en un 1,2%, siendo compensado en un incremento significativo en las plantaciones y en los bosques mixtos (un 54,9% y un 25,0% respectivamente. Los suelos con praderas y matorrales y áreas desprovistas de vegetación disminuyeron en un 2,2% y en 2,1% respectivamente.

En el caso particular de la provincia de Osorno, en el periodo de 1998 al 2006, el uso de terreno de áreas urbanas e industriales aumentó un 9,7% para un total de 3.032,7 ha. El terreno utilizado con fines agrícolas aumentó un 0,6% para un total de 4.677,2 ha. La utilización de bosques aumentó en un 2,4% para un total de 430.107 ha, de las cuales únicamente el bosque nativo sufrió una disminución del 1,4% en el total de hectáreas utilizadas.



**Figura 3.2: Uso actual del suelo en la Región de Los Lagos**

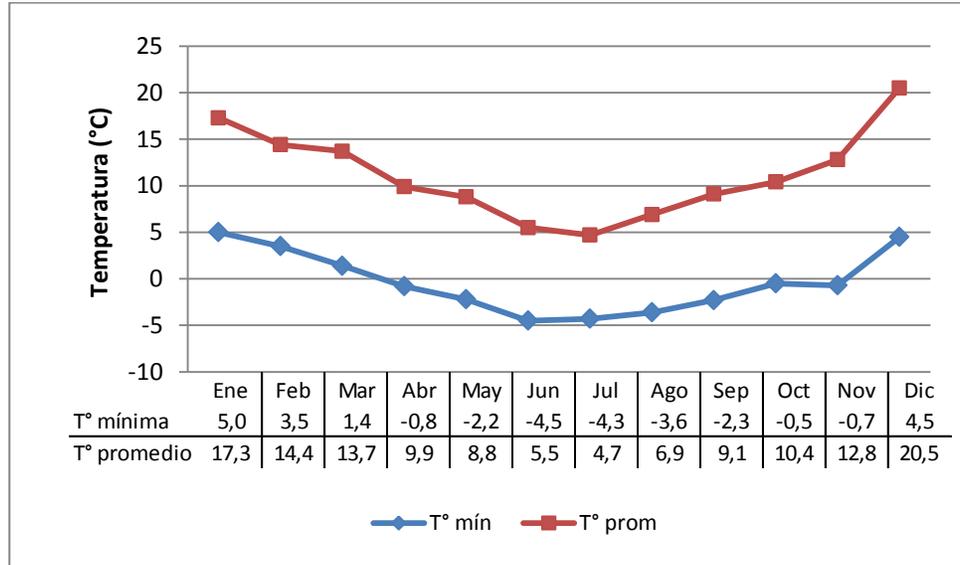
Fuente: Catastro de uso del suelo y vegetación, CONAF

Tanto para las provincias de Osorno como la de Llanquihue, los mayores cambios se produjeron con la incorporación de superficie de bosques, especialmente para plantaciones. La mayor disminución de superficie cubierta con bosque nativo ocurrió en la provincia de Osorno, donde se estimó una reducción de 5.296 ha (CONAF).

### 3.3 Clima

El clima es templado lluvioso, las temperaturas varían en rangos moderados, suavizadas por la presencia de grandes masas de agua; los índices de pluviometría aumentan de mar a cordillera, con valores que oscilan, según la zona, entre los 1.600 mm/año a 2.500 mm/año, con precipitaciones durante casi todo el año. En la provincia de Osorno, el clima es templado-marítimo frío lluvioso, con un promedio de precipitaciones anuales próximo a los 3.000 mm, lo que da origen a un bosque pluvial costero con especies como alerce, mañío, lenga, ñire y laurel, entre otras.

Utilizando la información de la Dirección General de Aeronáutica Civil, de la Dirección Meteorológica de Chile, se obtuvo información sobre los valores mínimos de temperatura registrados en el período 2008-2012 por la estación meteorológica del aeródromo Cañal Bajo Carlos Hott Siebert, en Osorno. En la figura 3.3, se muestran los valores de temperatura mínima y promedio mensual para el año 2012.



**Figura 3.3: Temperaturas mínimas y promedio del año 2012**

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil

En el tabla 3.1, se muestran los valores mínimos mensuales durante el período 2008-2012. Las temperaturas mínimas han oscilado entre los  $-7^{\circ}\text{C}$  y los  $6^{\circ}\text{C}$  en los últimos años.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Año 2008	4,2	0,0	1,8	-3,1	-5,3	-2,1	-3,1	-1,3	-2,5	-0,2	2,4	0,3
Año 2009	1,0	2,7	-1,0	-1,2	-3,8	-3,5	-5,3	0,0	-2,9	-2,6	-1,1	1,2
Año 2010	2,0	2,0	1,7	-0,6	-2,5	-5,0	-6,8	-5,5	-3,0	-1,0	1,2	0,5
Año 2011	1,7	2,0	0,0	0,8	-3,0	-5,0	-5,2	-2,8	-1,6	0,0	1,0	1,0
Año 2012	5,0	3,5	1,4	-0,8	-2,2	-4,5	-4,3	-3,6	-2,3	-0,5	-0,7	4,5

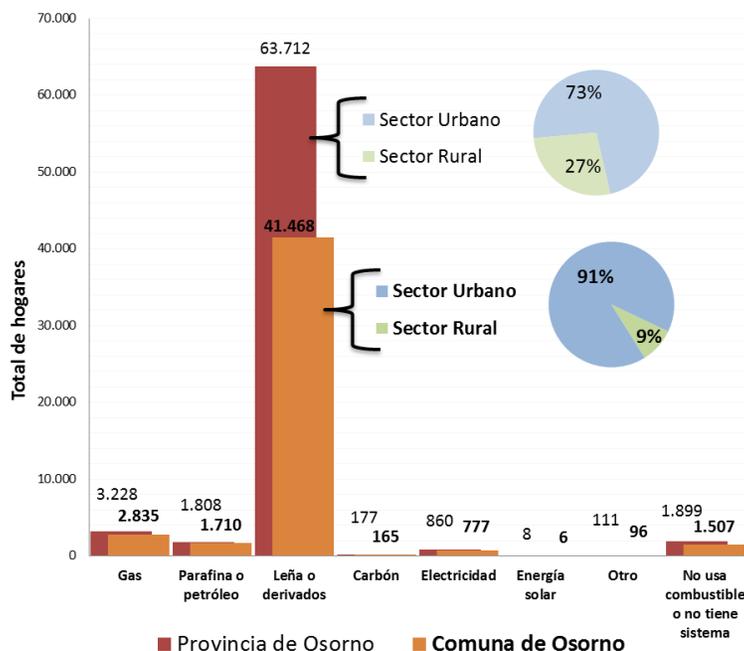
**Tabla 3.1: Temperaturas mínimas mensuales en el periodo 2008-2012**

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil

### 3.4 Consumo de combustibles para calefacción

De acuerdo a los resultados del Censo 2012, cerca del 88,6% de los hogares en la región de Los Lagos utiliza leña o derivados para calefacción. Esta tendencia se mantiene tanto para la Provincia de Osorno como para la Comuna de Osorno.

En la figura 2.4, se muestra el total de hogares, según el combustible que utilizan para calefacción, tanto para la Provincia de Osorno y para la región de Osorno. Adicionalmente, se muestra un gráfico circular sobre los porcentajes equivalentes a los sectores urbano y rural para el consumo de leña y sus derivados en cada área.

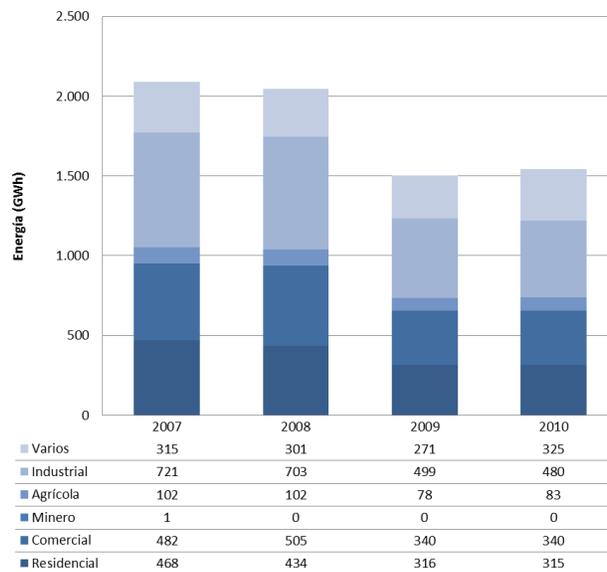


**Figura 3.4: Combustible para calefacción en la Provincia de Osorno y en la Comuna de Osorno**

Fuente: Censo 2012 preliminar, INE

### 3.5 Consumo eléctrico

Según el Instituto Nacional de Estadística, se estimó que la distribución de energía eléctrica en la Región de Los Lagos fue de 1.543 GWh para el 2010. En la figura 2.5, se detalla la distribución eléctrica anual por sector para el periodo desde el 2007 hasta el 2010 en Gigawatts-hora.



**Figura 3.5: Consumo eléctrico por sector en el período 2007-2010**  
Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2010)

## 4 Oferta de biomasa

La Región de Los Lagos es la segunda región con mayor superficie de bosque del país, con 2.786.135 hectáreas. Sin embargo, tomando en cuenta la superficie total de cada región, la Región de Los Lagos es la que posee el mayor porcentaje de cobertura boscosa (57%), seguida de la Región de Los Ríos (54%) y la Región del Biobío (46%).

Región	Superficie (ha)	Cobertura boscosa			Porcentaje (%) con respecto a superficie regional
		Bosque Nativo (ha)	Plantaciones Forestales (ha)	Total (ha)	
Región de Tarapacá	4.222.580	2.000	50.539	52.539	1%
Región de Antofagasta	12.604.910	45	597	642	0%
Región de Atacama	7.517.620	1.412	524	1.936	0%
Región de Coquimbo	4.057.990	30.262	6.310	36.571	1%
Región de Valparaíso	1.639.610	176.451	54.260	230.711	14%
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	1.638.700	485.791	141.023	626.814	38%
Región del Maule	3.029.610	474.388	493.527	967.915	32%
Región del Biobío	3.706.870	722.533	981.450	1.703.983	46%
Región de La Araucanía	3.184.230	710.534	589.181	1.299.715	41%
<b>Región de Los Lagos</b>	<b>4.858.360</b>	<b>2.678.706</b>	<b>89.428</b>	<b>2.768.135</b>	<b>57%</b>
Región Aysén del General Carlos Ibañez del Campo	10.849.440	4.427.793	37.843	4.465.635	41%
Región de Magallanes y la Antártica Chilena	13.229.720	2.441.817	16	2.441.833	18%
Región Metropolitana de	1.540.320	242.072	9.172	251.244	16%
Región de Los Ríos	1.842.950	747.565	248.152	995.717	54%
Región de Arica y Parinacota	1.687.330	-	20	20	0%
<b>Total general</b>	<b>75.610.240</b>	<b>13.141.369</b>	<b>2.702.042</b>	<b>15.843.411</b>	

**Tabla 4.1: Comparación regional de la superficie forestal**

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

El 98% de los bosques de la región está compuesto por especies nativas y un 2% de plantaciones forestales. En la siguiente tabla, se presenta la distribución del bosque nativo y las plantaciones forestales en cada una de las cuatro provincias de la Región.

Provincia	Bosque Nativo		Plantaciones forestales		Cobertura boscosa	
	Hectáreas	% Relativo	Hectáreas	% Relativo	Hectáreas	% Relativo
Llanquihue	671.123,85	25,1%	32.295,10	36,1%	703.419,20	25,4%
Chiloé	734.530,43	27,4%	4.124,30	4,6%	738.655,00	26,7%
Osorno	360.684,00	13,5%	50.851,40	56,9%	411.535,53	14,9%
Palena	912.368,11	34,1%	2.157,60	2,4%	914.526,05	33,0%
<b>TOTAL</b>	<b>2.678.706,39</b>	<b>100,0%</b>	<b>89.428,40</b>	<b>100,0%</b>	<b>2.768.135,79</b>	<b>100,0%</b>

**Tabla 4.2: Distribución de la cobertura boscosa por provincias**

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

La provincia de Palena es la que tiene la mayor cobertura de bosque nativo, con un 34% del total regional. Lo sigue la provincia de Chiloé, Llanquihue y Osorno. En lo que respecta a la superficie de plantaciones forestales, el orden se invierte. La provincia con el mayor porcentaje es la provincia de Osorno, con un valor del 56,9%, seguido de Llanquihue, Chiloé y Palena.

Con el objetivo de conocer la evolución de la cobertura boscosa en la zona de estudio, se consultó el Catastro de Uso de Suelo y Vegetación de la Región de Los Lagos. En este documento, se dispone de información histórica del período 1998 – 2006 de 1.388.977 hectáreas del sector norte de la Región, superficie que cubre la totalidad de la Provincia de Osorno y 468.884 hectáreas de la Provincia de Llanquihue.

En el período 1998 – 2006, la cobertura total boscosa de la Provincia de Osorno aumentó en 10.228, un 2% en relación a la superficie del 1998. El cambio más importante se dio en la superficie de las plantaciones forestales, con aumento de 14.757 ha, pasando de 28.040 ha a 42.796 ha en sólo 8 años. La superficie de bosque nativo disminuyó en 5.296 ha, pasando de 376.533 ha a 371.236 ha. En la siguiente tabla, se muestra el balance de la superficie boscosa de la provincia de Osorno.

Uso de suelo	1998 (Corregido)	2006	Cambio	
			Absoluto	Relativo
Plantaciones forestales	28.039,8	42.796,3	14.756,5	53%
Bosque Nativo	376.532,6	371.236,3	-5.296,3	-1%
Bosque Mixto	2.092,5	2.860,3	767,8	37%
Protecciones	13.214,5	13.214,5	0,0	0%
Total	419.879,4	430.107,3	10.227,9	2%

**Tabla 4.3: Balance de la superficie en uso de suelo de la Provincia de Osorno, período 1998-2006**

Fuente: CONAF (2008)

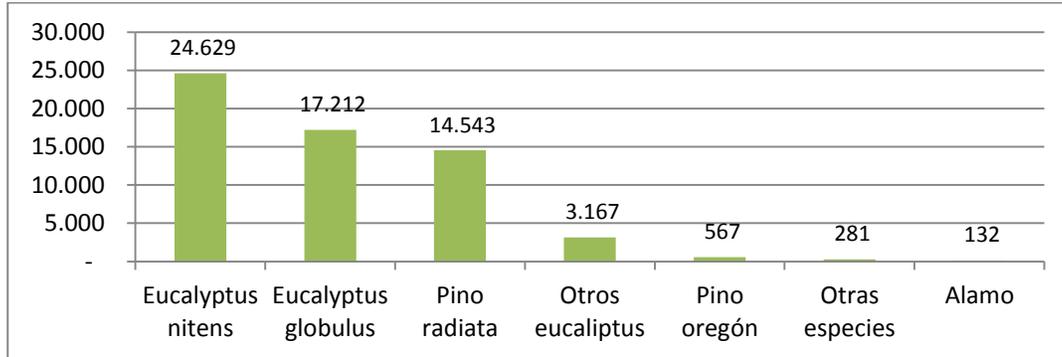
## 4.1 Plantaciones forestales

En esta sección, se analiza el potencial de biomasa relacionado a la industria forestal de la Región de Los Lagos. 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 y cogeneración.

La biomasa de la industria forestal se clasifica según su origen: cosecha y residuos industriales. Para analizar la disponibilidad de la biomasa proveniente de la cosecha, se analizó la estructura, localización y propiedad de las plantaciones forestales en la Región y en la Provincia de Osorno. El análisis de los residuos industriales se realizó a partir de información recolectada de los aserraderos localizados en la ciudad de Osorno.

### 4.1.1 Perspectiva regional

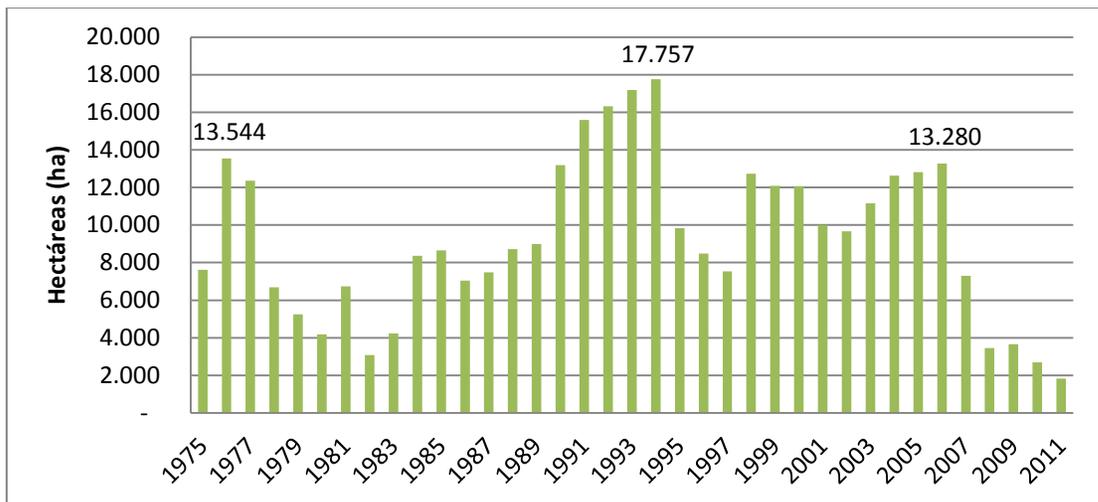
Las plantaciones forestales, junto al bosque mixto, representan poco más del 2% la superficie boscosa de la región. Según INFOR (2008), las principales especies forestales son el *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* y *Pino Radiata*, con una participación del 41%, 28%, 24% respectivamente.



**Figura 4.1: Estimación de la superficie cubierta por bosques en la Región de Los Lagos**

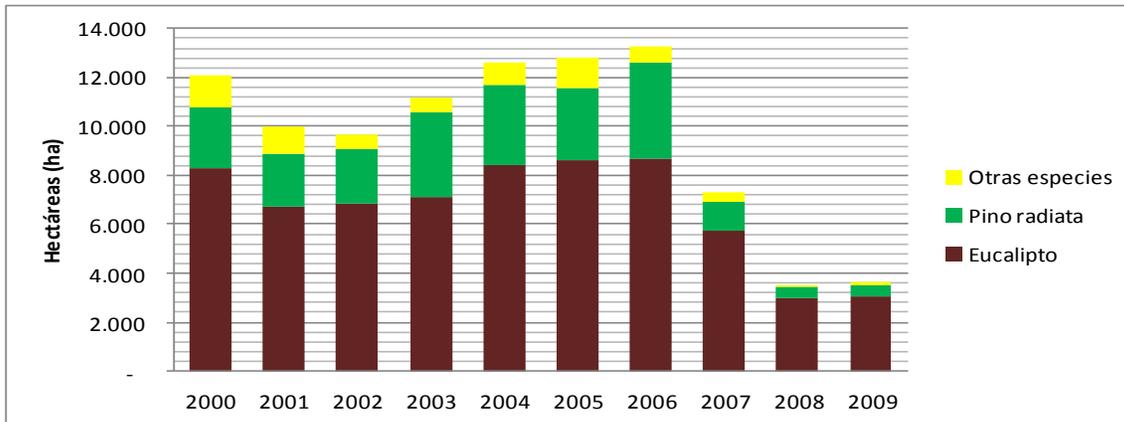
Fuente: "Programa permanente de actualización de plantaciones forestales", INFOR (2008)

Las plantaciones forestales han ganado terreno en los últimos 35 años, gracias a una tasa anual de plantación promedio superior a las 9.000 hectáreas. Los años en los que hubo más plantaciones forestales fueron 1976, 1992 y 2006, con una superficie plantada de 13.544, 17.757 y 13.280 hectáreas, respectivamente.



**Figura 4.2: Plantaciones anuales en la Región Los Lagos (forestación y reforestación)**

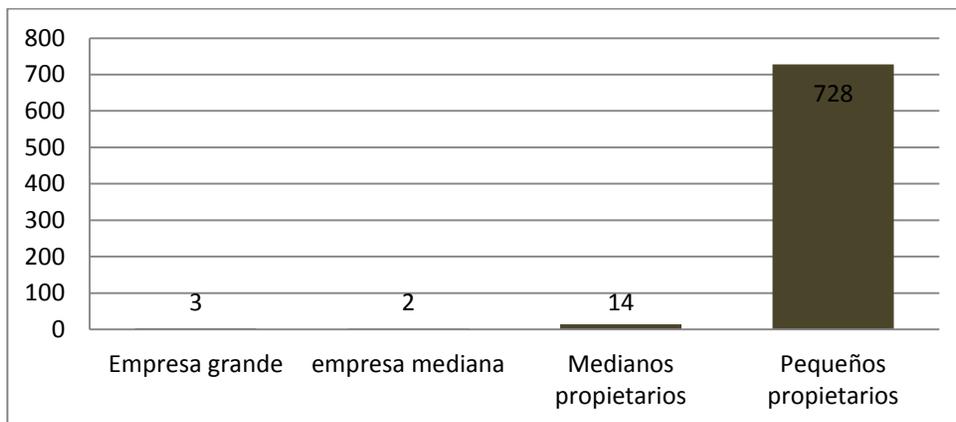
Fuente: CONAF e INFOR (2012)



**Figura 4.3: Superficie anual de bosques plantados**

Fuente: CONAF e INFOR (2012)

Para analizar la propiedad de las plantaciones forestales, se caracterizará como pequeño propietario aquel cuyo patrimonio de plantaciones es menor a las 200 hectáreas. Un mediano propietario es aquel cuyo patrimonio es mayor a 200 hectáreas pero menor o igual a 5.000 ha. Una empresa mediana se define como aquella cuyo patrimonio de plantaciones es superior a 5.000 hectáreas, pero menor a 30.000 hectáreas. Finalmente se clasifica como empresa grande a la que posee un patrimonio mayor a las 30.000 hectáreas. Según la figura 4.4, en la Región de Los Lagos hay 728 pequeños propietarios, 14 medianos propietarios, 2 empresas medianas y 3 empresas grandes.



**Figura 4.4: Propiedad de las plantaciones forestales**

Fuente: Anuario Forestal de INFOR (2010)

En la siguiente tabla, se presenta la superficie forestada y reforestada por tipo de propietario para el período comprendido entre el año 2000 y 2011. En ese período, la superficie promedio forestada de los pequeños productores fue de 2.578 hectáreas, ligeramente mayor al promedio de la superficie promedio reforestada de los otros propietarios (2.510 ha).

Región de Los Lagos : Superficie forestada y reforestada, por tipo de propietario y por año (ha)									
Año	Total			Pequeños propietarios			Otros propietarios		
	Superficie Plantada	Forestada	Reforestada	Superficie Plantada	Forestada	Reforestada	Superficie Plantada	Forestada	Reforestada
2000	12.078,2	7.796,6	4.281,6	902,6	902,6	-	11.175,6	6.894,0	4.281,6
2001	10.011,8	6.391,3	3.620,5	1.833,2	1.833,2	-	8.178,6	4.558,1	3.620,5
2002	9.660,7	5.482,1	4.178,6	2.373,6	2.373,6	-	7.287,1	3.108,5	4.178,6
2003	11.159,1	6.908,4	4.250,7	4.181,0	4.181,0	-	6.978,1	2.727,4	4.250,7
2004	12.619,7	8.197,3	4.422,4	5.003,6	5.003,6	-	7.616,1	3.193,7	4.422,4
2005	12.808,8	8.595,2	4.213,6	6.787,3	6.787,3	-	6.021,5	1.807,9	4.213,6
2006	13.280,0	7.044,0	6.236,0	5.122,0	5.122,0	-	8.158,0	1.922,0	6.236,0
2007	7.295,4	3.373,1	3.922,3	2.294,1	2.156,9	137,2	5.001,3	1.216,2	3.785,1
2008	3.461,5	2.036,7	1.424,8	1.586,6	1.586,6	-	1.874,9	450,1	1.424,8
2009	3.650,4	1.888,9	1.761,5	308,8	308,8	-	3.341,6	1.580,1	1.761,5
2010	2.691,0	2.098,1	592,9	321,1	321,1	-	2.369,9	1.777,0	592,9
2011	1.821,0	1.257,5	563,5	363,7	363,7	-	1.457,3	893,8	563,5
<b>Promedio</b>				<b>2.589,8</b>	<b>2.578,4</b>	<b>11,4</b>	<b>5.788,3</b>	<b>2.510,7</b>	<b>3.277,6</b>

**Tabla 4.4: Superficie forestada y reforestada, por tipo de propietario y año**

Fuente: INFOR (2012)

#### 4.1.2 Perspectiva provincial: Osorno

El 93% de las plantaciones forestales en la Región se distribuyen entre las provincias de Osorno y Llanquihue. Según el VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal del INE (2007), Osorno y Llanquihue tienen 50.851 hectáreas y 32.295 hectáreas con plantaciones forestales, respectivamente.

Las plantaciones forestales se localizan principalmente al oeste de la ciudad de Osorno. Las comunas con mayor superficie con plantaciones son San Juan de la Costa (28%), Purranque (20%) y Río Negro (19%). Las plantaciones de Eucaliptus se distribuyen de forma homogénea entre las tres comunas. Las plantaciones de Pino Radiata se concentran principalmente en las comunas de San Juan de La Costa y Río Negro.

Provincia	Hectáreas	% Relativo
Osorno	50.851	56,9%
Llanquihue	32.295	36,1%
Chiloé	4.124	4,6%
Palena	2.157	2,4%
<b>TOTAL</b>	<b>89.428,40</b>	<b>100,0%</b>

**Tabla 4.5: Desglose de plantaciones forestales por provincia, año 2007**

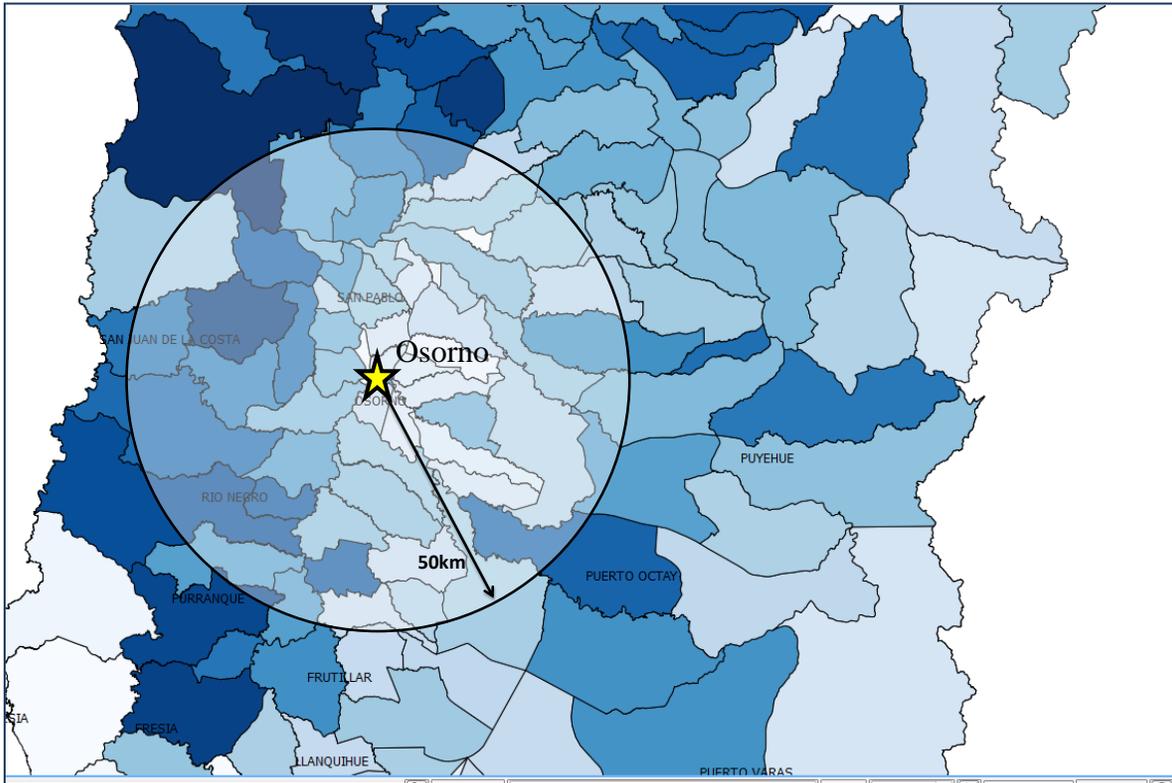
Fuente: VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal, INE (2007)



**Figura 4.5: Comunas de la provincia de Osorno con mayor superficie de plantaciones forestales, año 2007**

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

En la figura 4.6, se puede apreciar la distribución geográfica de las plantaciones en un radio de 50 km.



**Figura 4.6: Distribución de las plantaciones forestales por distrito**

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

Las especies forestales más comunes son el eucalyptus nitens, pino radiata y eucalyptus globulus, con 19.019 ha, 17.551 ha y 9.993 ha, respectivamente.

Espece forestal	Superficie (ha)	% Relativo
Eucaliptus nitens	19.019	37%
Pino radiata	17.551	35%
Eucaliptus globulus	9.993	20%
Pino Oregón	1.980	4%
Otros	2.309	5%
Total	50.851	100%

**Tabla 4.6: Composición de las plantaciones forestales**

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

### **4.1.3 Fuentes de biomasa identificadas**

#### **4.1.3.1 Propietarios de plantaciones**

El 30% de las plantaciones forestales en el período comprendido entre el año 2000 al 2011 fueron realizadas por propietarios pequeños, es decir, cuyo patrimonio no supera las 200 hectáreas. Las empresas forestales con más patrimonio son Forestal Arauco, Masisa, Forestal de Los Lagos, Anchile y Forestal Trinidad.

#### **4.1.3.2 Comercializadores de biomasa**

Según el Sistema Nacional de Certificación de Leña, hay inscritos 31 comerciantes certificados en la Región de Los Lagos, de los cuales 12 son proveedores de eucaliptus, 13 de leña de árboles nativos (Ulmo, Coigue, Radal, Roble, Hualle, etc.) y 6 comercializan ambos tipos. La empresa Bossur S.A. es una de las empresas proveedoras de biomasa más importantes de la ciudad. Bossur S.A. comercializa biomasa al sector residencial e industrial. A los 5 principales clientes, les suministra más de 60.000 m<sup>3</sup> estéreo/año. El resto de las empresas sólo comercializan a nivel residencial, por lo que no fueron considerados en el estudio.

#### **4.1.3.3 Aserraderos forestales**

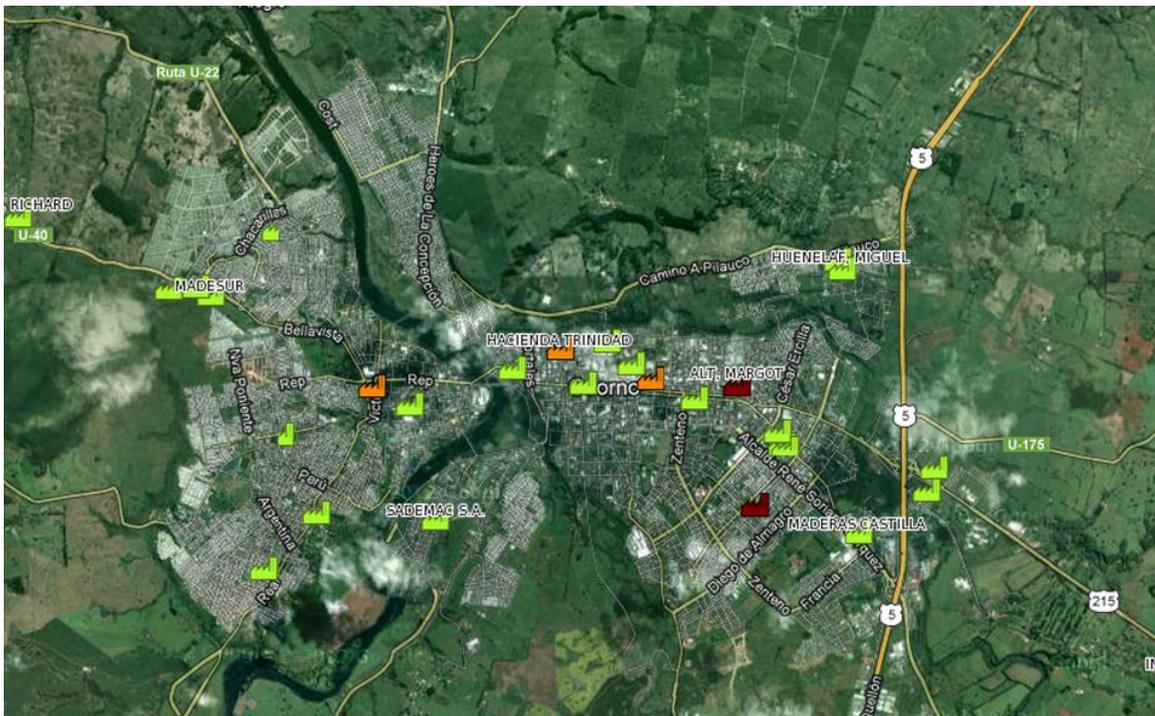
Según datos de INFOR (2008), a nivel regional, existen 40 aserraderos permanentes y 131 aserraderos móviles. En la Provincia de Osorno, hay, en total, 39 aserraderos, de los cuales únicamente 13 son permanentes (67%) y 27 son aserraderos con una capacidad anual de producción menor a 500m<sup>3</sup>.

En la figura 4.7, se presenta la localización de los aserraderos que operan en la ciudad de Osorno.

Aspecto		Absoluto	Porcentaje (%)
Tipo de aserradero	Móvil	26	67%
	Permanente	13	33%
Capacidades	<500 m <sup>3</sup>	27	69%
	501-1.000 m <sup>3</sup>	2	5%
	1.001-2.000m <sup>3</sup>	4	10%
	2.001-3.000m <sup>3</sup>	1	3%
	3.001-5.000 m <sup>3</sup>	1	3%
	5.001-10.000 m <sup>3</sup>	3	8%
	20.001-50.000 m <sup>3</sup>	1	3%
Especie	Pino radiata	22	56%
	Pino Oregón	4	10%
	Nativo	8	21%
	Mixto	5	13%

**Tabla 4.7: Síntesis de las características de los aserraderos en la Provincia de Osorno**

Fuente: Boletín de INFOR “Bosque Nativo”, Diciembre 2012



**Figura 4.7: Localización de los aserraderos en la ciudad de Osorno**

Fuente: Sistema de Información Territorial de CONAF (2013)

#### **4.1.3.4 Astilladores**

La producción de astillas en el año 2009 en la Región de Los Lagos fue de 601.055 m<sup>3</sup>. Se identificaron tres centrales de astillado que se encuentran en funcionamiento: Fulghum Fibras Chile S.A., KBM Chile S.A. y Coala Industrial Ltda. Las tres procesan eucalipto y poseen una capacidad instalada total (por turno) de 346.500 m<sup>3</sup> ssc. Además, según INFOR (2001), se encuentran operando 6 astilladores integrados a aserraderos, con una capacidad (por turno) total de 31.190 m<sup>3</sup> ssc. La tabla 4.8 entrega un cuadro resumen con información complementaria sobre los astilladores.

## **4.2 Disponibilidad de biomasa del bosque nativo**

Según la Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal (Ley N° 20.283), el bosque nativo se define como aquél formado por especies autóctonas, provenientes de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel con las mismas especies existentes en el área de distribución original, que pueden tener presencia accidental de especies exóticas distribuidas al azar.

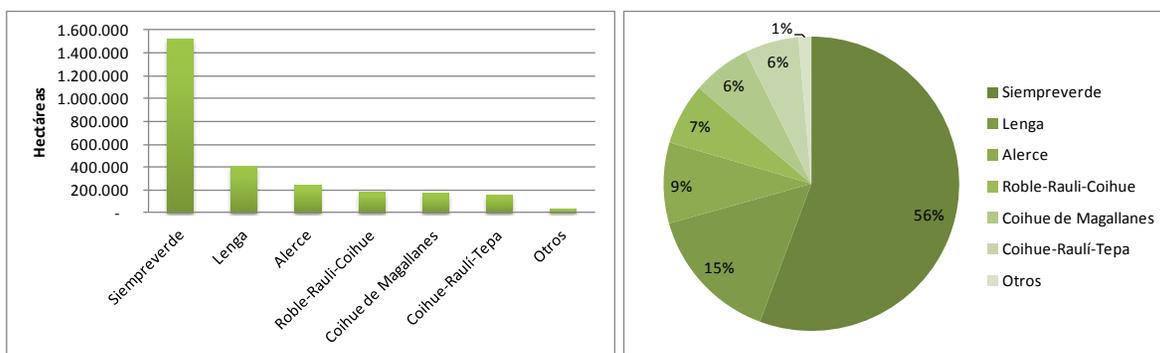
### **4.2.1 Perspectiva regional**

El bosque nativo de la Región de Los Lagos cubre una superficie de 2,8 millones de hectáreas, lo que representa el 98% de la superficie boscosa de la región. De estos, más de 872 mil hectáreas se encuentran bajo protección del estado a través del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE). Según CONAF (2006), aproximadamente 1,4 millones de hectáreas están cubiertas por especies forestales del tipo Siempreverde, lo que representa el 55% de la superficie cubierta por bosque nativo. Otras dos especies importantes son Lengua y Alerce, con una participación del 15% y 9% respectivamente.

Nombre	Tipo	Capacidad (m <sup>3</sup> /año)	Especie	Contacto
<b>Comuna de Osorno</b>				
KBM Chile S.A.	Central de astillado	213.000	Eucalipto	www.kbm.cl
Madexpo Ltda.	Integrado a aserradero	20.001-50.000	Pino radiata	www.madexpo.cl
Maderas Jorge Santamaría y Cia Ltda.		<10.000	Pino radiata, álamo	
Madesur Ltda.		<10.000	Pino radiata	
Oriana Martínez Villarroel		<10.000	Pino radiata	
<b>Comuna de Puerto Montt, Llanquihue</b>				
Forestal Los Lagos SA (Fulghum Fibras Chile)	Central de astillado	300.000	Eucalipto	www.forestalloslagos.cl
<b>Comuna de Calbuco, Llanquihue</b>				
Coala Industrial Ltda.	Central de astillado	180.000	Eucalipto	www.coala.cl
<b>Comuna de Frutillar, Llanquihue</b>				
Maderas Serko	Integrado a aserradero	<10.000	Pino Oregón, Nativas	www.maderasserko.cl
<b>Comuna de Puerto Varas, Llanquihue</b>				
Yessica Mariola Sáez Perez	Integrado a aserradero	<10.000	Pino radiata, pino oregón	

**Tabla 4.8: Centrales de astillado en funcionamiento (2011)**

Fuente: Directorio de la Industria Forestal Chilena, INFOR 2011



**Figura 4.8: Composición del bosque nativo de la Región de Los Lagos**

Fuente: Monitoreo y actualización de catastro de vegetación chilena en X Región, CONAF 2006

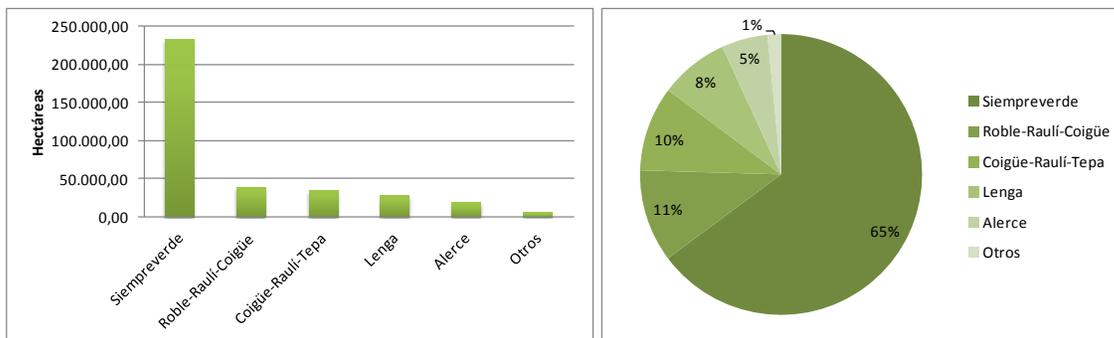
De acuerdo a lo establecido en el artículo 5 de la ley N° 20.283, para cortar bosque nativo, se requiere tener un plan de manejo aprobado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF). Se deberá cumplir también con lo prescrito en el decreto ley N° 701, de 1974<sup>1</sup>. El listado de planes de manejo es de carácter público y está disponible en el sitio web de CONAF.

En este mismo documento, se establece un listado de productos primarios que se pueden obtener a partir del plan de manejo y es obligatorio acreditar su origen para poder transportarlos (guías de libre tránsito). Los productos primarios son las trozas pulpables, trozas aserrables, astillas, madera aserrada, leña, postes, entre otros.

#### 4.2.2 Perspectiva provincial: Osorno

La Provincia de Osorno concentra el 13% de los bosques nativos de la región, con una superficie que alcanza las 360.684 hectáreas (INE 2007). Los tipos forestales más importantes son del tipo Siempreverde, con 233.717 hectáreas, es decir, el 65% de la superficie de bosque nativo de la provincia.

<sup>1</sup> La ley N° 701 tiene por objeto regular la actividad forestal en suelos de aptitud preferentemente forestal y en suelos degradados e incentivar la forestación.



**Figura 4.9: Composición del bosque nativo de la Provincia de Osorno**  
 Fuente: Monitoreo y actualización de catastro de vegetación chilena en X Región, CONAF 2006

## 4.2.3 Fuentes de biomasa identificadas

### 4.2.3.1 Comercializadores de leña

Según el Sistema Nacional de Certificación de Leña<sup>2</sup>, están inscritos 19 comerciantes certificados de leña de especies nativas en la Región de Los Lagos. Las especies más comunes son Ulmo, Coihue, Radal, Roble, Hualle, etc. El mercado objetivo de estos comerciantes es el sector residencial.

### 4.2.3.2 Propietarios de plantaciones

Se consideran únicamente los propietarios de los predios que cuentan con un Plan de Manejo aprobado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), en el marco de la Ley N°20.283 de Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal. Según el registro de planes de manejo aprobados, en la Región de Los Lagos se han aprobado 1881 planes de manejo. La superficie promedio de los predios es 11 hectáreas.

El 23% de los planes de manejo que se aprobaron están localizados en la provincia de Osorno. La superficie promedio de estos predios es de 13 hectáreas, lo que es ligeramente mayor al promedio regional. El 88% de los predios tiene una superficie menor a las 20 hectáreas.

<sup>2</sup> Consultado en marzo 2013.

	2008-2010	2011	2012	2013	Total
Planes aprobados	818	442	459	162	1881
Superficie promedio (ha)	12,5	9,4	9,6	6,7	11

**Tabla 4.9: Planes de manejo aprobados por CONAF en la Región de Los Lagos**

Fuente: CONAF (2013)

	2008-2010	2011	2012	2013	Total
<b>Aspectos generales</b>					
Planes aprobados	185	126	88	39	438
Superficie promedio (ha)	17	9	10	13	13
<b>Tamaño de los predios con planes de manejo aprobados por CONAF (2008-2013)</b>					
Superficie del predio (ha)	2008-2010	2011	2012	2013	Total
Menor de 20	159	112	78	38	387
20 - 50	15	12	6	0	33
50 - 100	7	2	3	0	12
101 - 200	1	0	1	1	3
201 - 300	0	0	0	0	0
301 - 400	1	0	0	0	1
Mayor de 400	2	0	0	0	2

**Tabla 4.10: Planes de manejo aprobados por CONAF en la Provincia de Osorno, Región de Los Lagos**

Fuente: CONAF (2013)

#### 4.2.3.3 Aserraderos forestales:

Según INFOR (2008), a nivel regional, existen 20 aserraderos permanentes y 92 aserraderos móviles. En la provincia de Osorno hay, en total, 10 aserraderos que producen madera de bosque nativo aserrado, de los cuales únicamente 2 son permanentes. El 60% de los aserraderos de la provincia de Osorno tienen una capacidad de producción menor a 100 m<sup>3</sup>/año.

En la tabla 4.12, se presenta un listado de los aserraderos que tienen operaciones en Osorno. En el Boletín de INFOR "Bosque Nativo" del mes de diciembre 2012, están disponibles los datos de contacto de cada uno de los aserraderos.

Aspecto		Cantidad	Porcentaje (%)
Tipo de aserradero	Móvil	8	80%
	Permanente	2	20%
Capacidades	<100 m <sup>3</sup>	6	60%
	101-500 m <sup>3</sup>	1	10%
	501 - 1.000m <sup>3</sup>	0	0%
	1.001-2.000m <sup>3</sup>	2	20%
	2.001-3.000 m <sup>3</sup>	1	10%

**Tabla 4.11: Cantidad de aserraderos de bosque nativo según tipo de aserradero y capacidades, Provincia de Osorno**

Fuente: Boletín de INFOR "Bosque Nativo", Diciembre 2012

Nombre	Tipo de aserradero	Producción anual (m <sup>3</sup> )	Especies
<b>Comuna de Osorno</b>			
Solís y Bracho y Cía Ltda.	Permanente	2.001 a 3.000	Pino radiata, Coigue, Pino oregón
Sergio Muñoz Fuenzalida	Permanente	1.001 a 2.000	Pino radiata, Coigue, Pino oregón
Soc. Maderera Gálvez y Di Genova Ltda.	Móvil	1.001 a 2.000	Coigue, Roble, Tineo y Ulmo
Margot Alt	Móvil	< a 100	Coigue, Laurel, Roble
<b>San Juan de la Costa</b>			
Julio Guarda Barriento	Móvil	< a 100	Pino radiata, roble, Mañío
Margot del Carmen Vera	Móvil	101 a 500	Pino radiata, Coigue, Canelo
Mario Catalán M.	Móvil	< a 100	Coigue, Mañío, Pino oregón
Omar Fernández	Móvil	< a 100	Canelo, Tapa
<b>Popoen</b>			
Carlos Cantero	Móvil	< a 100	Tapa, Tineo
<b>Puerto Octay</b>			
Rubén Rantul Poblete	Móvil	< a 100	Pino oregón

**Tabla 4.12: Listado de aserraderos de bosque nativo en la Provincia de Osorno**

Fuente: Boletín de INFOR "Bosque Nativo", Diciembre 2012

## 4.3 Selección de escenarios logísticos

Se establecieron 2 escenarios para suplir los requerimientos de biomasa de los proyectos residenciales y el proyecto mixto que se evaluaron en la ciudad de Osorno. La definición de los escenarios se basa en el análisis de la disponibilidad teórica de biomasa, características de la biomasa identificada, proveedores identificados y seguridad del abastecimiento. Con base en estos aspectos, se definieron 2 escenarios: autogestión del abastecimiento y contrato a largo plazo con proveedor.

### 4.3.1 Escenario 1: Autogestión del abastecimiento

En el primer escenario logístico, se supone que la Empresa de Servicio Energéticos se hace cargo del proceso logístico para obtener la biomasa y transformarla en el formato requerido por la planta de generación.

#### 4.3.1.1 Origen de la biomasa

Con base en el análisis previo, se establecen las fuentes de biomasa y el rango de distancia desde el origen hasta la planta de generación.

Tipo de biomasa		Fuente de biomasa	Distancia (km)
Urbano	Podas	Árboles en áreas públicas	Municipalidad de Osorno y comunas aledañas
			2 - 50
Forestal	Cosecha	Pino radiata	El 57% de las plantaciones se localizan en la provincia de Osorno. En total se contabilizan 50.851 hectáreas.
		Eucalyptus	
	Residuos de cosecha	Pino radiata	
		Eucalyptus	
Residuos de Industria	Astillas (chips)	KBM Chile S.A., Madexpo, Madesur, Maderas Jorge Santamaría y Cia Ltda., Oriana Martínez Villarroel	
			5-50

**Tabla 4.13: Fuentes de biomasa identificadas para el Escenario 1**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.2 Características de la biomasa identificada

La biomasa se clasifica según su origen en urbana y forestal. Con base en la clasificación de la biomasa según su origen, se presentan los resultados de la caracterización de las variedades de biomasa que están disponibles en las regiones en estudio. La principal fuente de información es la base de datos ECN Phyllis, la que reúne los análisis de las propiedades energéticas y químicas derivadas de la combustión de una gran variedad de biomásas. La mayor parte de los datos se obtuvieron a partir del promedio de un determinado número de muestras.

Origen	Tipo	Nombre	%CH (b.h.)	PCI (kcal/kg)	PCI (kWh/kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de cenizas
Urbano	Astillas de podas urbanas		35%	2.545	2,96	340	3,98%
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 4.14: Características de biomasa identificada en Rancagua**

Fuente: Adaptado de ECN Phyllis

#### 4.3.1.3 Costos logísticos

En esta sección, se analiza el costo del proceso logístico de la biomasa disponible para abastecer los proyectos de calefacción distrital y cogeneración en la ciudad de Osorno.

La estimación del precio de la biomasa se realizó a través de la valoración económica del proceso logístico de la biomasa leñosa, proveniente de plantaciones forestales y árboles urbanos. La selección obedece a criterios de disponibilidad regional, existencia de proveedores formales, buenas propiedades como biocombustible y versatilidad para ser tratada en diversas granulometrías, según los requerimientos de la planta de generación.

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.

A continuación, se muestran los resultados de la estimación del costo de cada una de las etapas del proceso logístico según el tipo de biomasa. Dado que existen múltiples formas

de llevar a cabo cada etapa, se considerarán las alternativas más habituales y eficientes en el país.



**Figura 4.10: 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 eucaliptus localizados en la comuna de Mulchén, Región del Biobío, realizado por la Universidad Austral de Chile (Jaramillo, 2005). En este estudio, se obtuvieron los costos que se reportan en la tabla 4.15. Con base en el costo en pesos chilenos y la densidad básica de cada especie, se obtuvo el costo por tonelada húmeda (50% b.h.) de las especies forestales Pino radiata (400 kg/m<sup>3</sup>), Eucalyptus globulus (530 kg/m<sup>3</sup>) y Eucalyptus nitens (470 kg/m<sup>3</sup>).

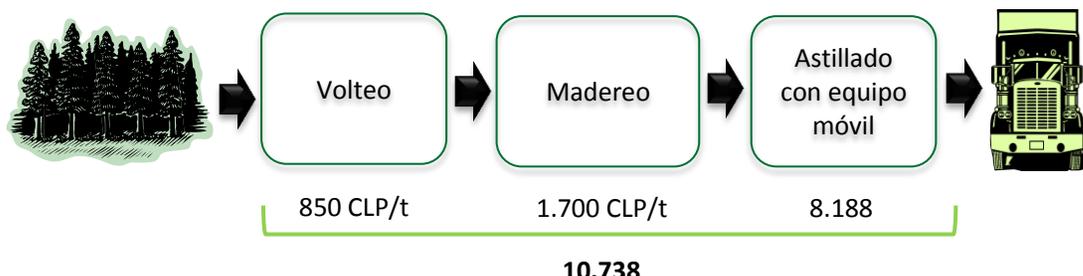
		Costo (CLP/ton)			
		Volteo	Madereo	Astillado	Total
<b>Costo por metro cúbico sólido</b>					
(1)	Costo (USD/m <sup>3</sup> )	0,68	1,36	6,55	8,59
(2)	Costo (CLP/m <sup>3</sup> )*	340	680	3.275	4.295
<b>Costo por tonelada húmeda (CLP/ton)</b>					
(3)	Pino radiata	850	1.700	8.188	10.738
(4)	Eucalyptus globulus	642	1.283	6.179	8.104
(5)	Eucalyptus nitens	723	1.447	6.968	9.138

\* Tipo de cambio = 500 CLP/USD.

**Tabla 4.15: Costos logísticos de la cosecha forestal**

Fuente: Universidad Austral de Chile (2005)

Los costos del proceso logístico de cosecha forestal se presentan a continuación. El costo de transporte se calcula más adelante.



**Figura 4.11: Proceso logístico de la biomasa**

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 del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (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.) <sup>3</sup>
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 4.16: Costos logísticos del procesamiento de residuos de cosecha forestal**

Fuente: IDAE (2008)

<sup>3</sup> Tipo de cambio considerado fue de 700 pesos por euro.

Los costos del proceso logístico del procesamiento de residuos de cosecha forestal se presentan a continuación. El costo de transporte se calcula más adelante.

### 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. Las primeras dos operaciones no tienen costo para la ESCO, dado que son responsabilidad de la municipalidad.

### Costos totales

Para estimar el costo total, se agrega el costo de transporte y almacenamiento previo a la entrega del producto a la planta de generación. El costo de transporte dependerá de la distancia de la fuente con la planta. Se utilizó un costo específico estándar de \$1.000/km, el que varía según el tipo de transporte de cada fuente de biomasa. El costo de almacenamiento utilizado fue de 11 USD/tonelada seca<sup>4</sup>. El objetivo del almacenamiento es reducir el contenido de humedad de un 50% a un 35% en base húmeda.

Origen		Tipo de Biomasa	Adquisición (\$/ton)	Recolección (\$/ton)	Transporte (\$/ton)	Almacenamiento (\$/ton)	Total	
							(\$/ton)	(USD/ton)
Urbano	Podas de árboles	Astillas de podas urbanas	-	9.632	200	2.750	12.582	25,16
			-	-	-	2.750	2.750	5,50
Forestal	Madera de cosechas	Pino	16.000	10.738	4.800	2.750	34.288	68,58
		Eucalyptus	14.268	8.618	2.000	2.750	28.157	56,31
			18.200	-	4.000	2.750	24.950	49,90
	Residuos de cosecha	Residuo forestal	-	17.961	2.000	2.750	22.711	45,42
	Aserradero	Astillas de madera (Pino radiata)	16.176	-	400	2.750	19.326	38,65
			26.471	-	400	2.750	29.621	59,24

**Tabla 4.17: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 1 (b.h.)**

Fuente: elaboración propia

<sup>4</sup> Wendt, Lynn et al. Idaho National Laboratory (2008).

### 4.3.2 Escenario 2: Contrato a largo plazo con proveedores

El escenario 2 se basa en el principio de que la ESCO delega el abastecimiento de biomasa (adquisición, recolección, tratamiento, transporte y almacenamiento) a una empresa especializada en el suministro de biomasa con operaciones en la región. Las ventajas de este escenario logístico es que la ESCO se puede enfocar en la operación de la planta de calefacción y en el servicio al cliente. Además, la ESCO puede reducir el riesgo operativo del proyecto, al tener la posibilidad de establecer contratos a largo plazo con empresas con experiencia y capacidades reconocidas.

#### 4.3.2.1 Origen de biomasa

Con base en el análisis presentado, se establecen las fuentes de biomasa y el nombre de las empresas proveedoras. Las empresas identificadas son Bossur e Indef.

Tipo de biomasa		Proveedor
Forestal	Cosecha	Eucalyptus
	Residuos de cosecha	Pino radiata
		Eucalyptus
		Bossur
		Indef

**Tabla 4.18: Fuentes de biomasa identificadas para el escenario 2**

Fuente: elaboración propia

#### 4.3.2.2 Características de la biomasa

La biomasa se clasifica, según su origen, en urbana y forestal. Con base en esta clasificación, se presenta una caracterización de las variedades de biomasa que están disponibles. La principal fuente de información es 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. La mayor parte de los datos se obtuvieron a partir del promedio de un determinado número de muestras.

Origen	Tipo	Nombre	%CH (b.h.)	PCI (kcal/kg)	PCI (kWh/kg)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Contenido de cenizas
Urbano	Astillas de podas urbanas		35%	2.545	2,96	340	3,98%
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 4.19: Características de biomasa identificada en Osorno**

Fuente: elaboración propia

#### 4.3.2.3 Estimación de los costos logísticos

Los costos que se indican en la tabla 4.20 son por la biomasa puesta en planta, con un contenido de humedad del 35%.

Origen	Tipo de Biomasa	Adquisición (\$/ton)	Total	
			(\$/ton)	(USD/ton)
Forestal	Madera de cosechas	Eucalyptus	42.353	84,71
	Residuos de cosecha	Residuo forestal	14.868	29,74

**Tabla 4.20: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 2**

Fuente: elaboración propia

## 4.4 Comentarios finales

Si bien la superficie de las plantaciones forestales es muy inferior en comparación con la cobertura del bosque nativo, se identificaron condiciones y un conjunto de actores económicos que hacen factible la utilización de este recurso para abastecer proyectos de calefacción distrital y cogeneración. Los participantes identificados fueron aserraderos que se encuentran dentro del casco urbano de la ciudad, proveedores de biomasa que comercializan chips de eucalipto, centrales de astillado próximas a la ciudad de Osorno y empresas forestales que cuentan con patrimonio y comercializan chips de eucalipto y pino radiata.

Sobre la disponibilidad de biomasa en bosques nativos, se concluye que, a pesar de que su superficie representa el 98% de la cobertura boscosa de la región, la conveniencia para su utilización como combustible para calefacción distrital y/o cogeneración está condicionada por el difícil acceso, ausencia de comerciantes industriales, dispersión de los predios, entre otros aspectos.

# 5 Identificación y selección de proyectos piloto

---

## 5.1 Metodología

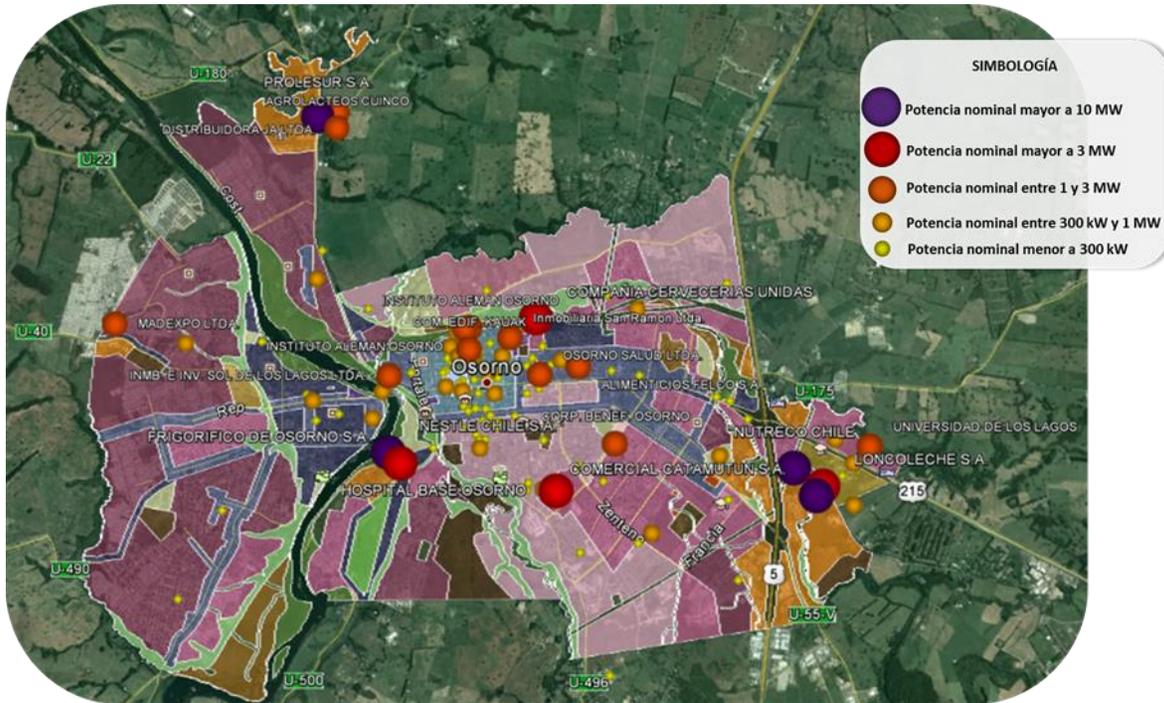
De acuerdo a las características técnicas que implica la instalación de centrales de calor, el factor más crítico en la identificación de sectores donde implementar este tipo de proyectos es el volumen y concentración de la demanda térmica. Las plantas de cogeneración logran su mayor eficiencia energética cuando se diseñan de acuerdo a la demanda de calor, ya que el remanente de electricidad puede ser almacenado o distribuido a focos apartados geográficamente, mientras que el calor debe ser consumido en el lugar o desechado.

Por esta razón, el proceso de identificación de proyectos comenzó con el mapeo de las fuentes de calor existentes. A partir de los registros de RETC y del Servicio de Salud de la Región de Los Lagos, se generó un mapa georreferenciado de las calderas operativas en la comuna de Osorno, caracterizándolas por potencia nominal y tipo de combustible. A partir de este mapa, se identificaron los focos con mayor densidad térmica.

Por otro lado, se obtuvo información de los nuevos proyectos inmobiliarios en la comuna. Se limitó la búsqueda sólo a proyectos en verde, debido a que están acogidos a la reglamentación térmica vigente y permiten la instalación del sistema subterráneo de distribución de calor en conjunto con la construcción del resto de las obras civiles, acotando los costos de inversión.

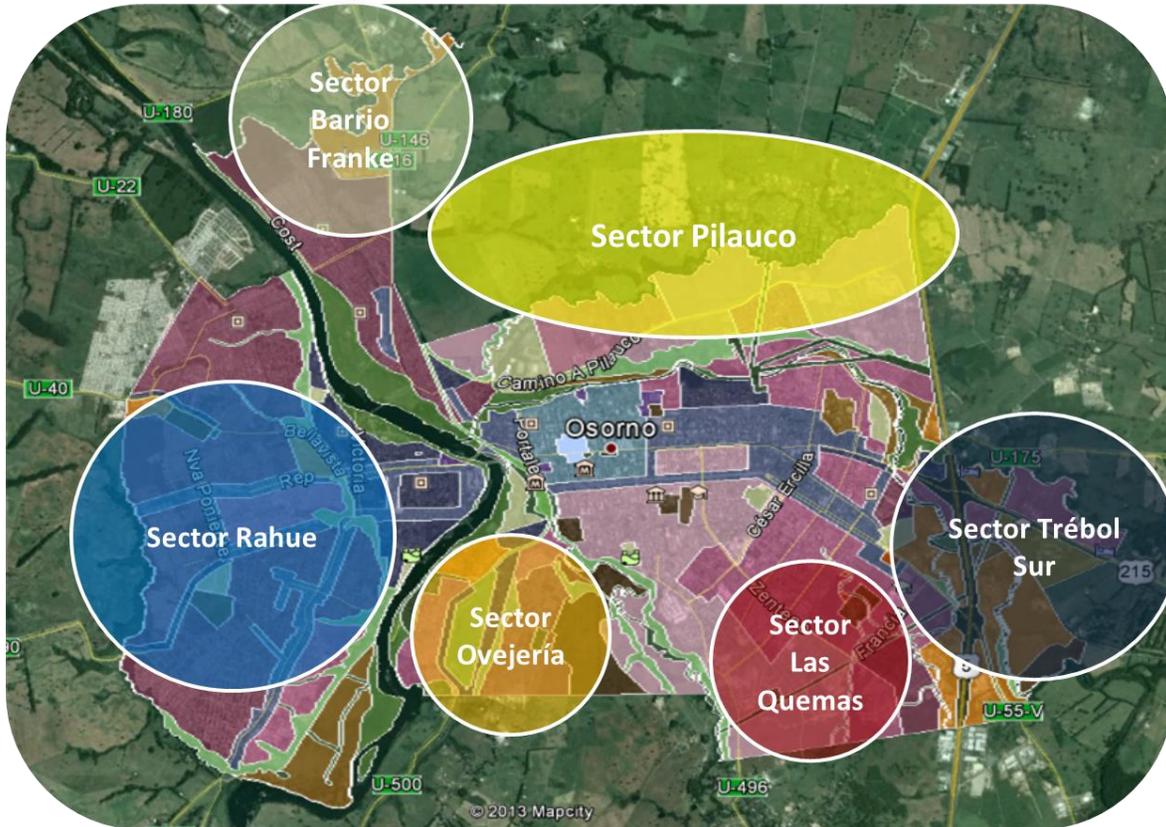
## 5.2 Ubicación de sectores de análisis

La figura 5.1 muestra la localización de las calderas registradas en Osorno. Aquellas fuentes con potencia nominal mayor a los 3 MW térmicos fueron visitadas, con el objeto de recopilar información adicional de estas fuentes y sus alrededores. Los colores indican la zonificación de acuerdo al Plan Regulador Comunal: los colores rosados indican zonas residenciales, los sectores en naranja indican zonas residenciales, los sectores en azul indican zonas comerciales y los sectores en verde indican zonas restringidas.



**Figura 5.1: Mapa de ubicación de calderas registradas en Osorno, por potencia nominal**  
Fuente: Elaboración propia a partir de información pública

Por otro lado, se identificaron los sectores donde se concentrará la expansión urbana y los futuros proyectos de vivienda en Osorno. Esta información se obtuvo a través de entrevistas con la Dirección de Obras y Asesoría Urbanística de la Secretaría de Planificación de la Municipalidad de Osorno, la Cámara Chilena de la Construcción y seis inmobiliarias que tienen operaciones en Osorno: Martabid, Socovesa, Aconcagua, Cinel, Galilea y Bedecarratz. Tal como se indica en la figura 5.2, se definieron 6 sectores de expansión urbana residencial: Franke, Pilauco, Trébol Sur, Las Quemadas, Ovejería y Rahue.



**Figura 5.2: Expansión residencial en la comuna de Osorno**  
Fuente: Elaboración propia a partir de información primaria recopilada

## 5.3 Análisis de sectores

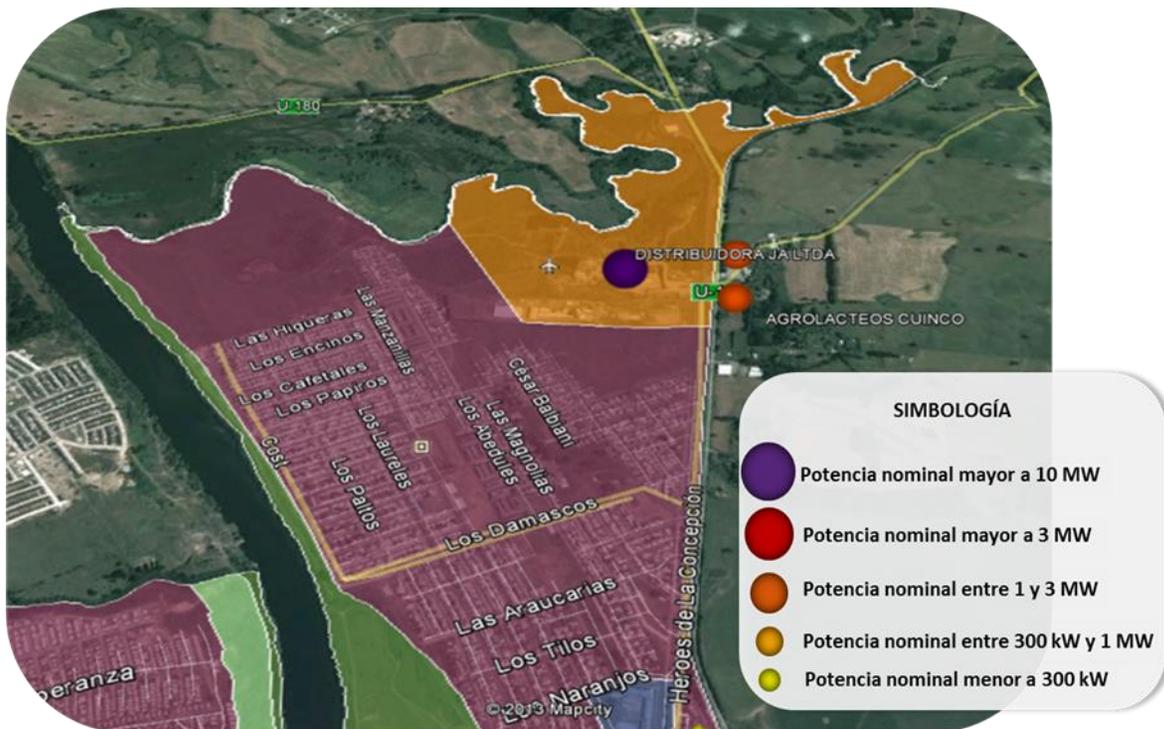
### 5.3.1 Sector del Barrio Franke

El sector Franke se encuentra ubicado en el extremo norte de la ciudad. Se caracteriza por tener suelos de uso residencial tipo H3<sup>5</sup> y por albergar una zona industrial donde se ubica la planta de procesamiento de Soprole (Prolesur S.A.). Esta planta opera 3 calderas de vapor a petróleo, con una potencia nominal de 16 MW térmicos en total, de acuerdo a la información que aparece en los registros.

<sup>5</sup> La Secretaría de Planificación de la Municipalidad de Osorno clasifica los suelos residenciales en H1 (avalúo alto), H2 (avalúo medio) y H3 (avalúo bajo).

No se evidencia demanda de terrenos para construcción de viviendas, ya que el sector presentaría problemas de inundaciones y humedad asociadas a aguas lluvias y a la proximidad del río<sup>6</sup>.

En la figura 5.3, se puede observar que existen terrenos sin construir, que separan a la planta de Soprole de los barrios residenciales.



**Figura 5.3: Sector Francke**

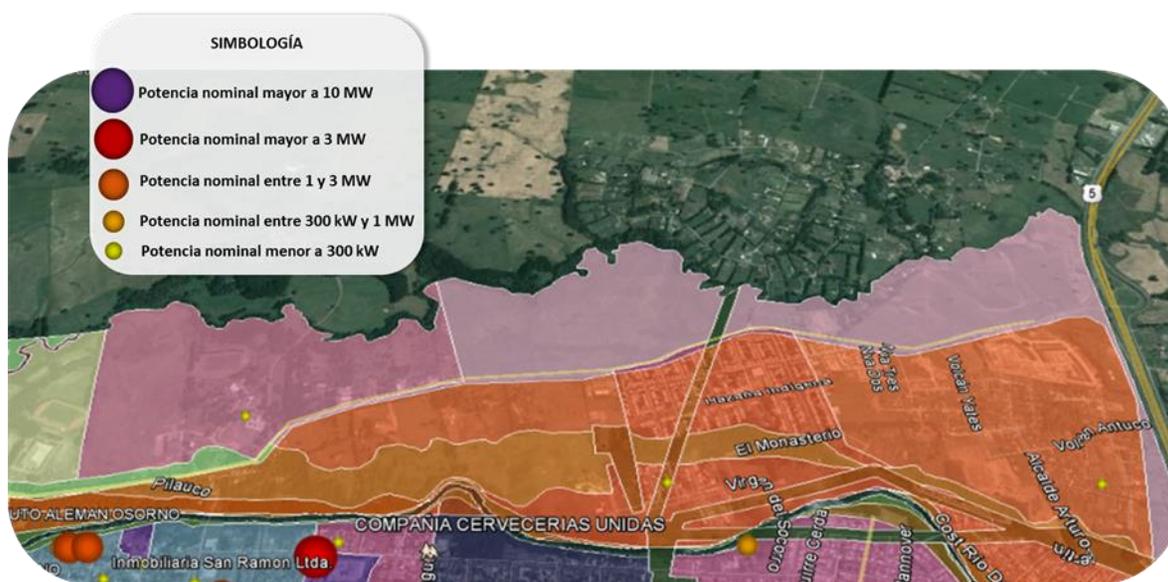
Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

### 5.3.2 Sector Pilauco

El sector Pilauco está localizado en el noreste de la ciudad de Osorno, en el acceso norte desde la Ruta 5. El uso de suelo es residencial, con clasificaciones tipo H1 y H2, como se indica en la figura 5.4.

<sup>6</sup> Según indica el Asesor Urbano de la Secretaría de Planificación, de la Ilustre Municipalidad de Osorno.

La inmobiliaria Galilea posee terrenos para construir aproximadamente 1500 viviendas a mediano y largo plazo. Actualmente, está desarrollando el proyecto residencial “Altos de Pilauco”, el cual consiste en un lote de 220 viviendas. En el mismo sector, en un terreno de 35 ha ubicado al frente de Maximiliano Golbe, se construirán 2000 viviendas dirigidas a clase media, media-alta, de entre 1200 y 2700 UF. La venta en verde se iniciaría en mayo de 2013.



**Figura 5.4: Sector Pilauco**

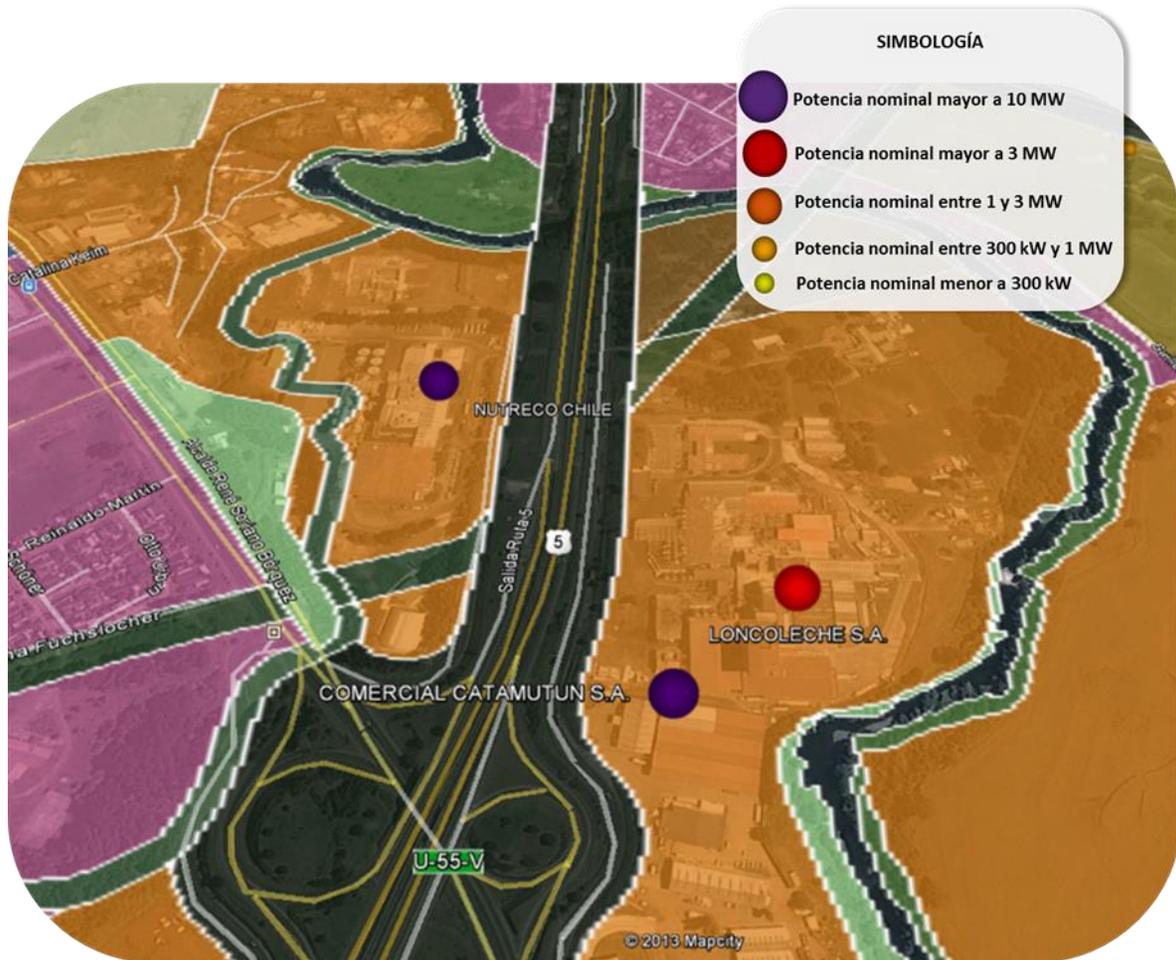
Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

### 5.3.3 Sector Trébol Sur

El sector Trébol Sur es una zona principalmente industrial, que se localiza en el sureste de la ciudad de Osorno y está dividida por la Ruta 5. En este sector, se localizan dos focos de consumo térmico importantes: Industrias Watts-Loncoleche y Skretting. El complejo Watts-Loncoleche se encuentra en una zona industrial, al lado oriente de la ruta 5, y no existen viviendas en las proximidades, por lo que se descarta para un proyecto de calefacción distrital. Esta planta opera 6 calderas de vapor a carbón y petróleo, con una potencia nominal total de 33 MW térmicos.

La planta de Skretting se ubica en el sector poniente de la ruta 5, quedando en las cercanías de las zonas residenciales del sector Las Quemadas; sin embargo, no se distingue

un proyecto distrital en forma clara. Skretting opera una caldera a biomasa y otra a petróleo, con una potencia nominal total de 12 MW térmicos.



**Figura 5.5: Sector Trébol Sur**

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

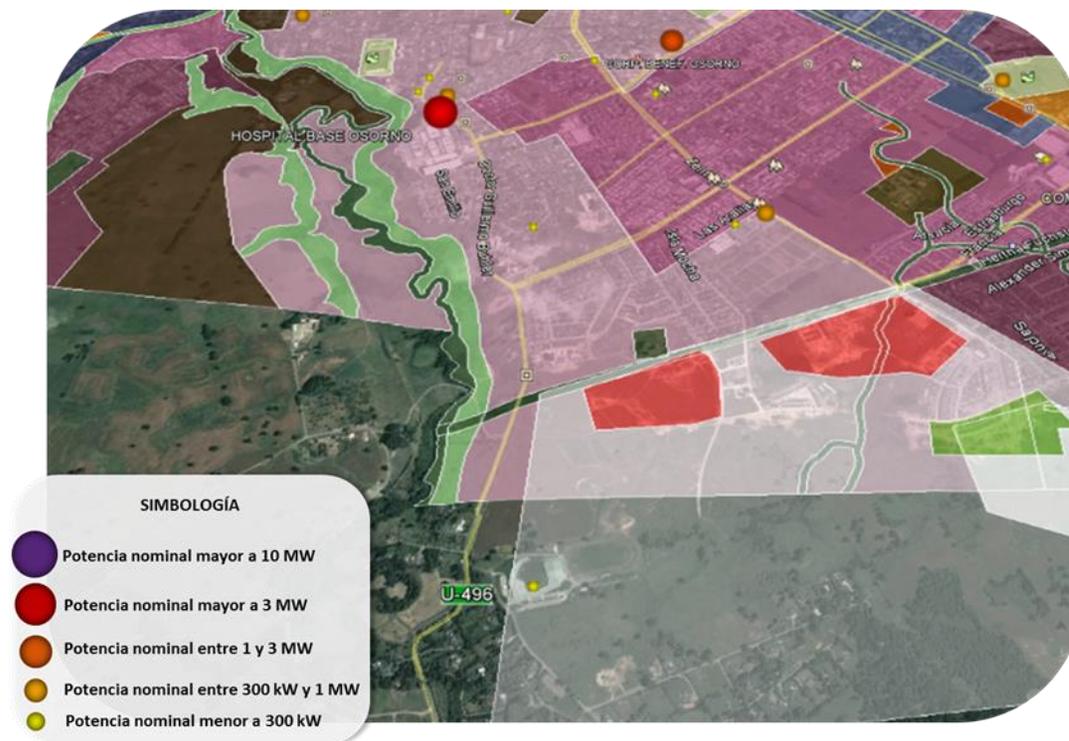
### 5.3.4 Sector Las Quemias

Las Quemias es un sector que se localiza en el sureste de la ciudad de Osorno, en las proximidades de la avenida Zenteno. El uso de suelo es predominantemente residencial, con clasificaciones tipo H1 y H2. En este sector, el principal foco de consumo térmico es el

Hospital Base de Osorno. Sus necesidades de calor son cubiertas por 5 calderas a petróleo y biomasa, con una potencia nominal total de 6 MW.

Los terrenos localizados en la parte posterior del hospital se encuentran sin construir y son zonas residenciales, de acuerdo al Plan Regulador Comunal; sin embargo, hay una quebrada que separa ambas zonas. Los barrios construidos en el sector son de clase media alta. A unos 500 m del hospital, se localizan 5 torres de departamentos y varias en construcción.

Las inmobiliarias que poseen proyectos en este sector son CINEL, Aconcagua y Socovesa. CINEL está desarrollando un proyecto de 180 departamentos y 200 casas por loteo. Las casas forman parte del Conjunto Habitacional Las Palmas, el que se construye en un terreno de 3 hectáreas al extremo sur de la avenida Zenteno. El proyecto de Aconcagua es un condominio, en el que aún está pendiente la construcción de la segunda y tercera etapa. Las viviendas tendrán un precio entre las 3700 y 4600 UF, y cuentan con calefacción centralizada por vivienda. Socovesa está construyendo en un terreno entre las calles Zenteno con Baviera. El proyecto se desarrollaría en un plazo de 7 años y las viviendas tendrían un costo de entre 1500 y 4500 UF.



**Figura 5.6: Sector Las Quemas**

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

### 5.3.5 Sector Ovejería

El sector Ovejería está localizado en las cercanías de las plantas Nestlé y Frigorífico de Osorno, en el suroeste de la ciudad. Se caracteriza por ser un sector residencial-industrial, con escasos terrenos disponibles para la construcción de viviendas. Aconcagua desarrolla el conjunto residencial Jardín Alto, cuyas viviendas están avaluadas entre 1000 y 1500 UF, con una superficie de entre 40 m<sup>2</sup> y 65 m<sup>2</sup>. Faltan 130 viviendas por construir.

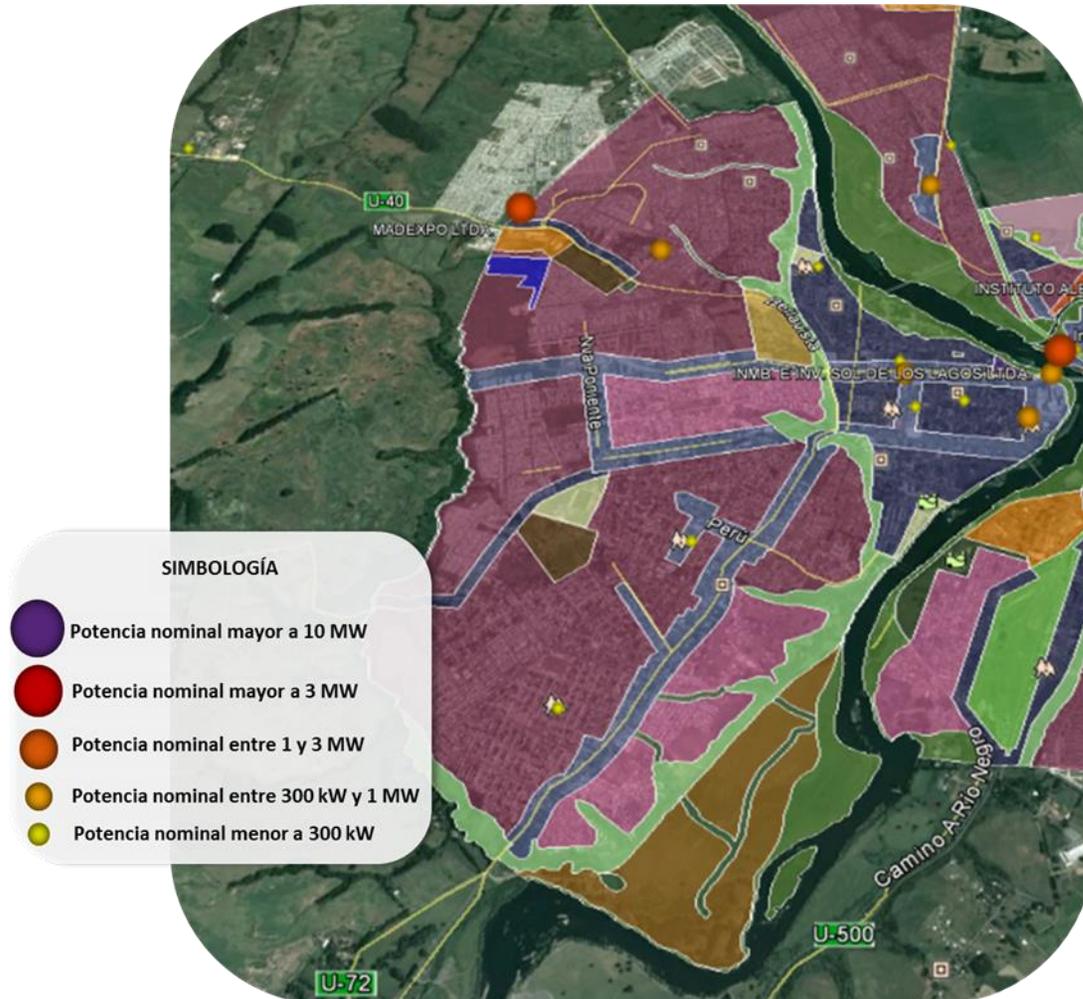


**Figura 5.7: Sector Ovejería**

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

### 5.3.6 Sector Rahue

El sector se localiza al poniente del río Rahue y se caracteriza por su alta densidad poblacional y ser uno de los principales polos de crecimiento urbanístico de la ciudad de Osorno.



**Figura 5.8: Sector Rahue**

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

En la zona norte del sector Rahue, en lo que se conoce como Camino al Mar o Ruta U-40, hay dos focos de consumo energético importantes. Se trata de los aserraderos Madesur y Madexpo, que operan calderas alimentadas por los propios residuos que se generan en sus procesos. La Ruta U-40 separa a estos aserraderos de un conjunto habitacional de 1500 viviendas de bajo costo y alta densidad poblacional. Este proyecto fue iniciado por Socovesa hace 17 años atrás. El valor de las viviendas está entre 1000 y 1500 UF. Actualmente, se están construyendo 106 viviendas y se dispone de un terreno para construir 200 viviendas más.

Al sur de la zona industrial compuesta por estos aserraderos, Martabid tiene un terreno para futuros proyectos inmobiliarios. Este sector cumple con todas las características que se buscan en un proyecto distrital: disponibilidad directa de biomasa, consumo industrial durante todo el año y existen sectores residenciales aledaños.

Martabid tiene planificado construir 1300 casas en un plazo de 13 años en los terrenos anexos a Madexpo y Madesur. En la primera etapa, en el conjunto habitacional Reina Luisa, se construirían 245 viviendas. El valor por vivienda es de aproximadamente 1300 a 1400 UF.

### **5.3.7 Selección de proyectos**

Los proyectos de calefacción distrital que se busca desarrollar, deben reunir 3 características principales:

1. Debe existir un foco de consumo térmico importante
2. Debe haber fácil acceso a biomasa sólida para combustible
3. Es preferible que hayan sectores residenciales cerca

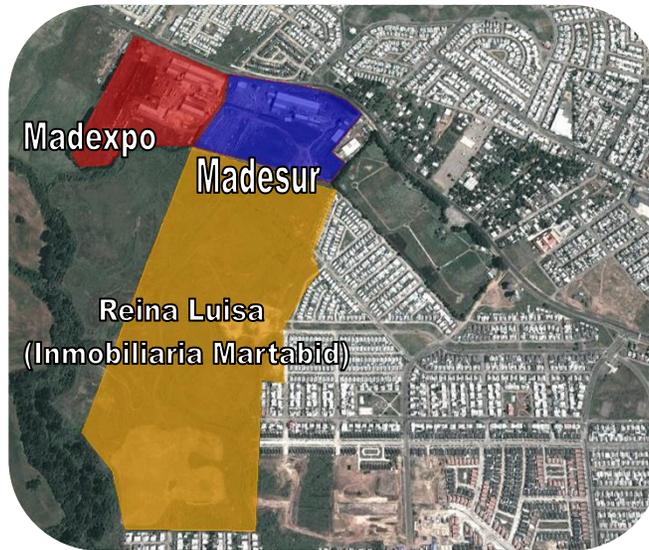
Se detectó que el sector compuesto por las plantas de Madexpo y Madesur, en el sector norte de Rahue, reúne estas 3 características. Por un lado, la potencia total instalada por ambas plantas sería de unos 4 MW térmicos. Por otra parte, la disponibilidad de biomasa para combustible existe de la misma actividad desarrollada por los aserraderos. Finalmente, existen sectores residenciales cercanos que podrían ser abastecidos con el calor producido por ambas plantas.

Además, se sometieron a evaluación tres proyectos exclusivamente residenciales, con el fin de evaluar su factibilidad en condiciones que son más fáciles de encontrar, pero menos ideales que el proyecto mixto identificado previamente. Los proyectos seleccionados fueron el Conjunto Las Palmas, el Conjunto Reina Luisa y el Condominio Bellavista.

## **5.4 Proyecto mixto**

El proyecto mixto se localiza en una zona de expansión urbana en el sector poniente del río Rahue, específicamente en el kilómetro 2 de la Ruta del Mar "U40". La zona se caracteriza por su alta densidad poblacional y presencia de industrias madereras, aspectos positivos desde el punto de vista de la viabilidad de un proyecto de calefacción distrital. Otras características interesantes del sector son la disponibilidad de biomasa, consumo

energético industrial estable y la presencia de futuros proyectos habitacionales. El proyecto está compuesto por el Conjunto Residencial Reina Luisa, Madexpo Ltda. y Madesur Ltda.



**Figura 5.9: Localización del proyecto mixto**

Fuente: Elaboración propia

### 5.4.1 Madexpo

Madexpo Ltda. se dedica a la producción y comercialización de productos a partir de las materias primas de pino radiata y pino oregón. Las operaciones de la empresa incluyen la explotación forestal y la elaboración de productos con valor agregado como la madera aserrada.

Las principales líneas de productos son: Blocks Clear, Vutstocks, Blancks Clear, Pallets, madera rústica, madera cepillada, forros, pisos, traslapos, molduras, marcos de puertas, entre otros. La mayor parte de los productos se exportan a los mercados de Estados Unidos, Europa y Asia.

La planta comprende un área construida de 6.471 m<sup>2</sup>, que incluye un aserradero, seis secadores, una caldera de agua y maquinaria para la remanufactura. La producción mensual de madera aserrada de pino radiata y pino oregón alcanza los 4.000 m<sup>3</sup>.

La caldera se abastece de los residuos de los propios procesos productivos, los que incluyen aserrín, astilla y viruta. Anualmente, se produce un alto volumen de residuos industriales. La disponibilidad anual de biomasa residual sería de 60.000 m<sup>3</sup> de astillas, 22.000 m<sup>3</sup> de aserrín, 12.000 m<sup>3</sup> de corteza y 2.000 m<sup>3</sup> de raspado de cancha<sup>7</sup>. Los remanentes se venden a clientes externos.

La caldera es de 4 MW y fue fabricada por la empresa italiana Bano Caldae. El consumo diario de combustible es 100 m<sup>3</sup> al día, con una mezcla de 50% material seco y 50% material verde, produce agua caliente con un factor de plante del 95%. La parrilla es móvil y el sistema de alimentación tiene dos silos (aserrín y viruta) y una tolva que inyecta astillas con una banda sinfín a la parrilla móvil. La instalación de la caldera, en general, se ha ido adaptando según las necesidades de secado.

#### **5.4.2 Madesur**

Madesur Ltda. se dedica a la producción y comercialización de madera aserrada. Su principal mercado es el nacional.

Una parte importante del consumo energético de la empresa se debe a las dos cámaras de secado de 90 m<sup>3</sup> y un túnel de secado de 120 m<sup>3</sup>.

Los procesos de Madesur Ltda. generan 25 m<sup>3</sup> de biomasa residual, principalmente aserrín de viruta con un contenido de humedad de entre el 10 y 15% (base húmeda). Las astillas tienen un contenido de humedad de entre el 30-35% (base húmeda).

Las necesidades de energía térmica son cubiertas por una caldera que produce agua caliente (80°C) y utiliza biomasa residual de los procesos de Madesur Ltda. Las especificaciones técnicas de la caldera se presentan en la tabla 5.1.

---

<sup>7</sup> Entrevista con Christian Porte, Gerente General de Madexpo,

Aspecto	Descripción
Fabricante	Nova
Tipo	Igneotubular
Producción de agua caliente	32.000 litros
Temperatura	10 – 80 °C
Eficiencia	75%
Tipo de parrilla	Parrilla seca, ladrillos refractarios
Superficie de parrilla	1,7 x 1 m
Volumen de hogar	4 m <sup>3</sup>
Combustible	Viruta seca
Poder calorífico	2.500 kcal /kg
Consumo por hora	1 m <sup>3</sup>
Cantidad de combustible almacenado	50 m <sup>3</sup>

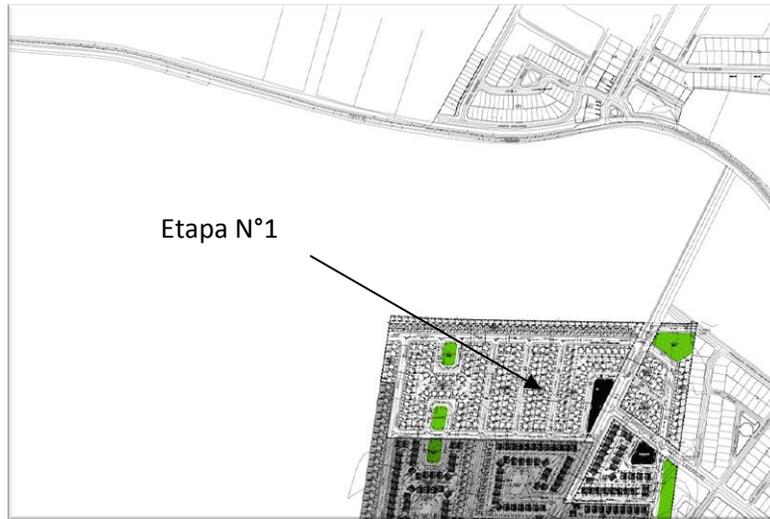
**Tabla 5.1: Especificaciones técnicas de la caldera de Madesur Ltda.**

Fuente: Madesur Ltda.

### 5.4.3 Conjunto habitacional Reina Luisa

El Conjunto habitacional Reina Luisa es un proyecto de la Inmobiliaria y Constructora Martabid, que tiene por objetivo la construcción de 1300 viviendas en 13 años. La etapa del proyecto que se consideró en la evaluación, está compuesta por 245 viviendas individuales, que van desde los 45,52 m<sup>2</sup> hasta los 68,26 m<sup>2</sup> de superficie y valores entre las 800 UF y 1.100 UF.

El proyecto está emplazado en un terreno de 5,8 ha, con una superficie total construida de 15.804 m<sup>2</sup>, anexo a dos de los aserraderos con más capacidad de la ciudad: Madesur y Madexpo.



**Figura 5.10: Etapa N°1 del proyecto “Conjunto habitacional Reina Luisa”**  
Fuente: Martabid

## 5.5 Proyectos residenciales

### 5.5.1 Conjunto Las Palmas

El conjunto residencial Las Palmas está emplazado en un terreno de 12 ha en el sector sector Las Quemadas, al sur de la ciudad de Osorno (figura 5.11) y se compone de 310 viviendas individuales, de 85,9 y 97,1 m<sup>2</sup> de superficie construida y avalúos que rondan entre las 2.600 y 2.900 UF.

Modelo	Superficie (m <sup>2</sup> )	Valor aprox. (UF)
90	85,9	2.600
100	97,1	2.900

**Tabla 5.2: Modelos de vivienda Conjunto Las Palmas**  
Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto



**Figura 5.11: Ubicación del Conjunto Las Palmas**  
Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)



**Figura 5.12: Plano de loteo y representación visual del Conjunto Las Palmas**  
Fuente: Cinel

Las viviendas son aisladas de 2 pisos y de las siguientes características:

- Los muros son de tabiquería liviana con 50 mm de espesor de fibra de vidrio. La conductividad térmica de este muro es de  $U=1,33$  ( $W/m^2K$ ).
- Las ventanas son de PVC con vidrio termopanel. La superficie total de ventanas es de  $17 m^2$ , lo que corresponde a un 20,0% del área de piso.
- El cielo se compone de una placa de yeso cartón de 10 mm de espesor y una capa de aislante de poliestireno expandido de 120 mm de espesor. La transmitancia térmica del muro es de  $U=0,33$  ( $W/m^2K$ ).
- El piso está montado sobre el terreno y no tiene aislación.

## 5.5.2 Conjunto Reina Luisa

El conjunto habitacional Reina Luisa se encuentra ubicado en la avenida Farellones, sector poniente de la ciudad de Osorno (figura 5.13), está conformado por 245 viviendas individuales, que van desde los 45,52 m<sup>2</sup> hasta los 68,26 m<sup>2</sup> de superficie y valores entre las 800 UF y 1.100 UF. El proyecto está emplazado en un paño de 5,8 ha, la superficie total construida es de 15.804 m<sup>2</sup>.

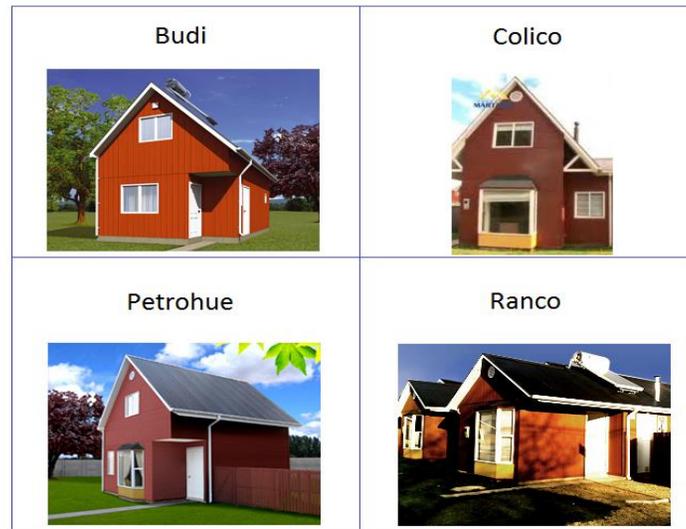


**Figura 5.13: Ubicación del Conjunto Reina Luisa**  
Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)

En la tabla 5.3, se señalan los 6 modelos de vivienda que contempla el proyecto con sus respectivas superficies construidas y precios aproximados.

Modelo	N° de viviendas	Superficie (m <sup>2</sup> )	Valor aprox. (UF)
<b>Budi</b>	146	63,76	900
<b>Colico</b>	10	67,04	900
<b>Petrohué</b>	78	68,26	1.100
<b>Ranco</b>	11	45,52	800

**Tabla 5.3: Modelos de vivienda Conjunto Reina Luisa**  
Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto



**Figura 5.14: Viviendas del Conjunto Reina Luisa**

Fuente: Martabid

Los tres primeros modelos tienen características muy similares y conforman el 97% de la superficie construida en el conjunto. Las características del modelo Budi son:

- Es una vivienda adosada de 2 pisos de 64 m<sup>2</sup> de superficie construida.
- Los muros son de tabiquería liviana de madera con 50 mm de aislamiento de lana mineral ( $U=1,33 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).
- Las ventanas son de vidrio simple. La superficie total de ventanas es de 6,7 m<sup>2</sup>, lo que corresponde a un 10% del área de piso.
- El cielo se compone de una placa de Volcanita y una capa de aislante de poliestireno expandido de 100 mm de espesor. El  $U$  del muro es de 0,40 ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ).
- El piso está montado sobre el terreno y no tiene aislamiento.

### 5.5.3 Condominio Bellavista

El condominio Bellavista se encuentra ubicado en un terreno de 1,1 ha en el sector sur de la ciudad de Osorno (figura 5.15), está conformado por 46 viviendas aisladas de 76,8 m<sup>2</sup> y 87,7 m<sup>2</sup>, con sitios que van desde los 113,78 m<sup>2</sup> a 240,4 m<sup>2</sup>. Los avalúos se encuentran entre las 2.300 y 2.560 UF.



**Figura 5.15: Ubicación del Condominio Bellavista**  
Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)

En la tabla 5.4, se señalan los 2 modelos de vivienda que contempla el proyecto, con sus respectivas superficies construidas y precios aproximados.

Modelo	N° de viviendas	Superficie (m <sup>2</sup> )	Valor aprox. (UF)
<b>76</b>	18	76,8	2.300
<b>87</b>	28	87,7	2.560

**Tabla 5.4: Modelos de vivienda Condominio Bellavista**  
Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto



**Figura 5.16: Viviendas del Condominio Bellavista**  
Fuente: Socovesa

Se trata, en general, de viviendas de 2 pisos con superficies construidas de entre 77 a 88 m<sup>2</sup>.



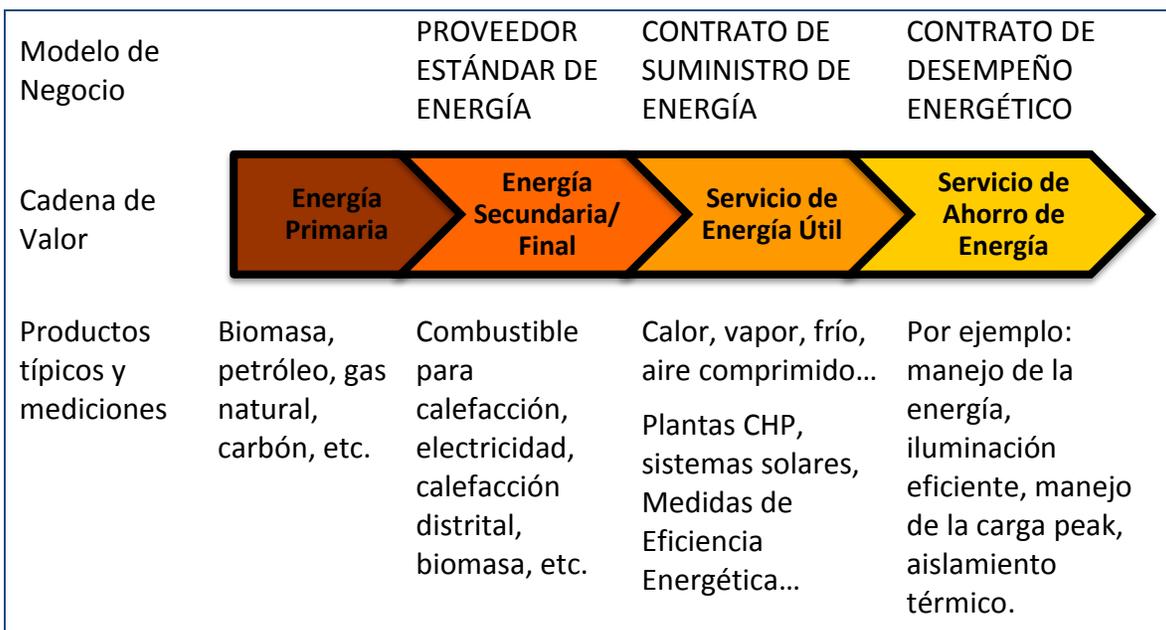
- Los muros del primer nivel son de albañilería de ladrillo con 20 mm de aislación y un revestimiento de yeso cartón,  $U=0,98$  (W/m<sup>2</sup>K).
- Los muros del segundo nivel corresponden a una tabiquería liviana con 30 mm de aislación  $U=1,63$  (W/m<sup>2</sup>K)
- Las ventanas son de PVC. La mayoría de las ventanas son de vidrio simple. Sólo la ventana del dormitorio principal es de DVH (doble vidriado hermético o termopanel). La superficie total de ventanas es de 16,8 m<sup>2</sup>, lo que corresponde a un 19% del área de piso.
- El cielo se compone de una placa de Volcanita y 12 cm de aislante. El U del cielo es de 0,33 (W/m<sup>2</sup>K).
- El piso está montado sobre el terreno y no tiene aislación.

# 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 ESCO 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 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, dado que cuenta con el conocimiento técnico y equipos tecnológicos para hacerse cargo del diseño del proyecto, instalación, operación y mantenimiento de los servicios del sistema.

#### **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	Disposición a financiar la inversión.
Red de distribución	Copropiedad de los propietarios del condominio o edificio	Inversión incluida en el valor de la vivienda/departamento (Ley N° 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

viviendas<sup>8</sup>. 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.

---

<sup>8</sup> 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.

	<b>Conjunto Las Palmas</b>	<b>Conjunto Reina Luisa</b>	<b>Condominio Bellavista</b>
<b>Modelo de negocio</b>	Servicio de energía útil.	Servicio de energía útil.	Servicio de energía útil.
<b>Mercado objetivo</b>	Proyecto dirigido a familias de clase socioeconómica media o media-alta, con avalúos de entre 2.600 y 2.900 UF por vivienda.	Proyecto dirigido a familias de clase socioeconómica media o media-baja, con avalúos de entre 800 y 1.100 UF por vivienda. Aunque no está dirigido a familias vulnerables, necesariamente, la disposición a pago podría complicarse.	Proyecto dirigido a familias de clase socioeconómica media o media-alta, con avalúos de entre 2.300 y 2.560 UF por vivienda.
<b>Producto/servicio</b>	■ Calefacción y ACS por circulación de agua caliente.		

<b>Actividades clave y participantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abastecimiento de biomasa: proveedor de astillas de cosecha forestal</li> <li>■ Instalación, operación y mantenimiento de la planta térmica: ESCO</li> <li>■ Instalación, operación y mantenimiento de la red primaria: inmobiliaria</li> <li>■ Instalación equipos de distribución interior: inmobiliaria</li> <li>■ Operación equipos distribución interior: cliente final</li> <li>■ Mediciones, cobro y servicio post-venta: ESCO</li> <li>■ Seguros, contratos y financiamiento: ESCO</li> <li>■ Supervisión de correcta prestación de servicio: cliente/autoridades públicas</li> <li>■ Promoción de tecnologías: ESCO/Gobierno Regional</li> </ul>
<b>Estructura de ingresos y costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Suministro de biomasa: intercambio comercial entre ESCO y proveedor de biomasa</li> <li>■ 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.</li> <li>■ 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).</li> <li>■ 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.</li> </ul>

**Tabla 6.3: Modelo de negocio para los proyectos residenciales seleccionados**

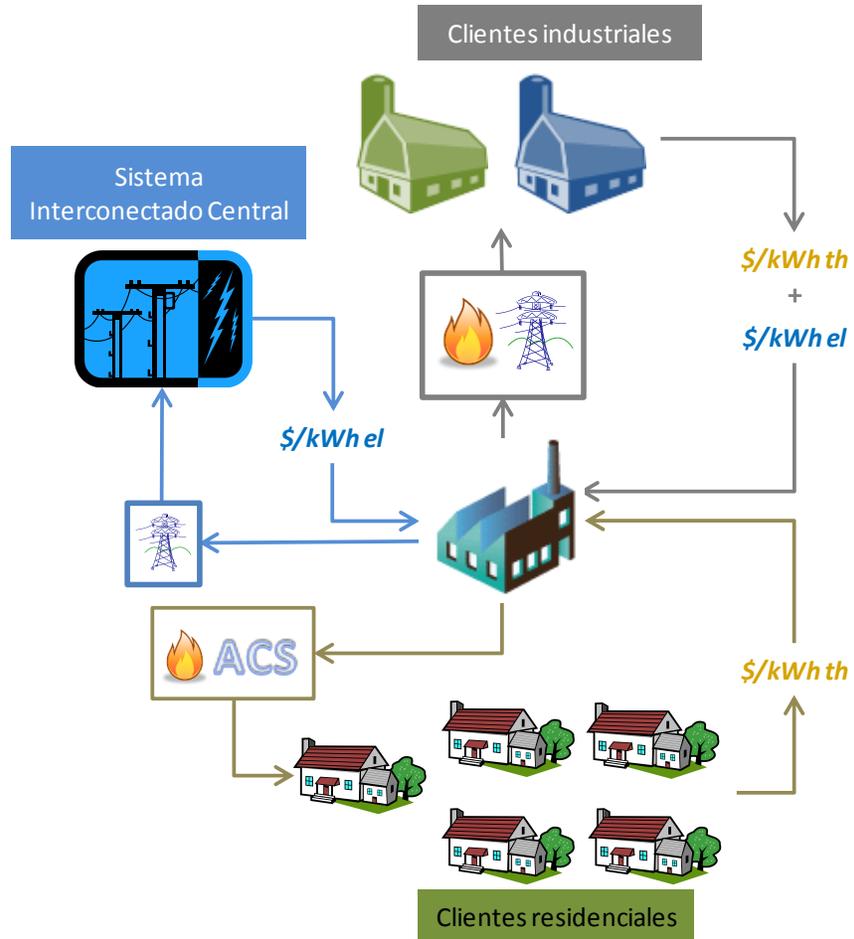
Fuente: elaboración propia

	<b>Madexpo</b>	<b>Madesur</b>	<b>Conjunto Reina Luisa</b>	<b>Conjunto Reina Luisa (etapas posteriores)</b>
<b>Modelo de negocio</b>	■ Servicio de ahorro de energía		■ Servicio de energía útil	
<b>Mercado objetivo</b>				
<b>Producto/servicio</b>	■ Calor industrial y electricidad (opcional).		■ Calefacción y ACS por circulación de agua caliente.	

<b>Actividades clave y participantes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abastecimiento de biomasa: venta a ESCO de residuos autogenerados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abastecimiento de biomasa: residuos industriales de Madexpo y Madesur, a través de ESCO.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación, operación y mantención de la planta térmica: ESCO</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación equipos de utilización de calor: equipos ya instalados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalación equipos de distribución interior de calor: inmobiliaria</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación equipos utilización de calor: cliente final</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación equipos distribución al interior de viviendas: cliente final</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mediciones, cobro y servicio post-venta: ESCO</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Seguros, contratos y financiamiento: ESCO</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Supervisión de correcta prestación de servicio: cliente según contrato (puede recurrir a SERNAC o a tribunales de justicia en caso de incumplimiento).</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Promoción de tecnologías: ESCO/Gobierno Regional</li> </ul>	
<b>Estructura de ingresos y costos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suministro de biomasa: intercambio comercial con la ESCO para valorizar los residuos autogenerados y suministrarlos por contrato.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Suministro de biomasa: intercambio comercial entre ESCO y aserraderos Madexpo y Madesur.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se establece un contrato de prestación de servicios con cada cliente. Se instala un medidor de consumo para cada cliente y se cobra tarifa establecida en contrato, ajustable según lo señalado en el mismo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tarifa incluye toda la gestión de la operación: energía primaria (valorización de los residuos de biomasa autogenerados), energía secundaria (generación de calor en central térmica) y servicio de energía útil (distribución hasta las cámaras de secado).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>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 al interior de éstas).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>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.</li> </ul>	

**Tabla 6.4: Modelo de negocio para el proyecto mixto seleccionado**

Fuente: elaboración propia



**Figura 6.3: Modelo de negocio general para un proyecto de cogeneración**

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, los que se indican en la tabla 7.1. Esto está basado en un estudio realizado sobre 75 viviendas de bajo costo entre Talca y Coyhaique<sup>9</sup>.

Modelo	Características
<b>A</b>	Uso continuo de calefacción día y noche, 24 horas al día
<b>B</b>	Calefacción encendida durante 15 horas al día, entre las 8 y 23 horas
<b>C</b>	Calefacción encendida durante 11 horas al día, entre las 12 y 23 horas
<b>D</b>	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)

<sup>9</sup> Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico (2012)

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**

El requerimiento de ACS se determina a partir de valores referenciales de organismos técnicos; en este caso, se utilizarán los valores reportados en el Código Técnico de Edificación (CTE)<sup>10</sup>, de la normativa española.

---

<sup>10</sup> 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).

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)

Para calcular las necesidades de ACS, se considera 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 considera en 45°C, la que se obtiene mezclando el agua caliente de alimentación con agua fría de la red. Considerando un consumo de agua a 45°C estable durante el año y un consumo per cápita promedio anual de agua a 60°C, según se reporta en la tabla 7.2 para viviendas unifamiliares, el consumo de agua a 60°C variará en el año según varíe 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 Osorno, se

consideró, como aproximación, un promedio entre las temperaturas reportadas para Valdivia y Puerto Montt.

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 con los que se almacena, 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 (cal·g<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>),

$T_{ref}$  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.

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 inercia tal que se eliminen las fluctuaciones intradiarias en el consumo, y sobre la base de un factor de planta de 18 hrs/día.

## 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)
<b>Conjunto Las Palmas</b>	2.427.441	3.775	3.984.715 ↑64%	2.671 ↓29%
<b>Conjunto Reina Luisa</b>	1.502.151	1.949	2.442.379 ↑63%	426 ↓25%
<b>Condominio Bellavista</b>	400.143	520	678.266 ↑70%	403 ↓23%

**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. En todos los proyectos estudiados en Osorno, la capacidad calórica de las viviendas es similar. Un aumento de entre un 63% y un 70% en el consumo de calor, bajo las condiciones establecidas en el escenario 2, implica una reducción de entre un 23% y un 29% de la potencia necesaria de generación. Las diferencias que se observan, se deben a las condiciones particulares de arquitectura de cada vivienda. Las curvas diarias de consumo promedio en calefacción se reportan en el Anexo **A**.

Al comparar estos resultados con aquellos obtenidos para los proyectos de Rancagua, se puede observar que se requiere un mayor consumo de combustible para disminuir en igual proporción la potencia de generación. Esto puede explicarse por los factores climáticos que diferencian a ambas ciudades: en Osorno, las temperaturas ambientales son más bajas y existe menos radiación solar, lo que debe ser compensado con mayor consumo de combustible.

#### **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 a 60°C. 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 Osorno, se tomó como aproximación el promedio de las temperaturas correspondientes a las comunas de Valdivia y Puerto Montt, ambas en la Región de Los Lagos.

	Temperatura de la red (°C)	Conjunto Las Palmas		Conjunto Reina Luisa		Condominio Bellavista	
		Consumo (kWh)	Potencia (kW)	Consumo (kWh)	Potencia (kW)	Consumo (kWh)	Potencia (kW)
Ene	15,1	77.842	139,5	61.520	110,3	11.551	20,7
Feb	16,0	68.105	135,1	53.825	106,8	10.106	20,1
Mar	15,6	76.429	137,0	60.404	108,3	11.341	20,3
Abr	13,9	78.191	144,8	61.797	114,4	11.603	21,5
May	11,8	86.328	154,7	68.227	122,3	12.810	23,0
Jun	9,6	88.892	164,6	70.253	130,1	13.190	24,4
Jul	8,3	95.319	170,8	75.332	135,0	14.144	25,3
Ago	7,8	96.605	173,1	76.349	136,8	14.335	25,7
Sep	8,3	92.244	170,8	72.902	135,0	13.688	25,3
Oct	9,7	91.727	164,4	72.494	129,9	13.611	24,4
Nov	11,3	84.663	156,8	66.911	123,9	12.563	23,3
Dic	13,4	82.212	147,3	64.974	116,4	12.199	21,9
Anual	11,7	1.018.557	173,1	804.988	136,8	151.141	25,7

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

Fuente: elaboración propia

### 7.1.2.3 Resumen requerimientos térmicos proyectos residenciales

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 27% y un 35% del consumo total de calor para el escenario 1 y entre un 18% y un 25% para el escenario 2. La calefacción representa el resto.

	Conjunto Las Palmas			Conjunto Reina Luisa			Condominio Bellavista		
	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total
Ene	0	77.842	77.842	0	61.520	61.520	0	11.551	11.551
Feb	0	68.105	68.105	0	53.825	53.825	0	10.106	10.106
Mar	0	76.429	76.429	0	60.404	60.404	0	11.341	11.341
Abr	177.217	78.191	255.408	120.496	61.797	182.293	30.835	11.603	42.437
May	358.210	86.328	444.538	219.161	68.227	287.387	57.655	12.810	70.465
Jun	483.381	88.892	572.273	285.417	70.253	355.671	75.937	13.190	89.127
Jul	538.070	95.319	633.389	314.232	75.332	389.565	84.527	14.144	98.671
Ago	406.292	96.605	502.896	254.858	76.349	331.207	66.345	14.335	80.680
Sep	261.029	92.244	353.273	171.021	72.902	243.923	45.134	13.688	58.822
Oct	147.357	91.727	239.084	98.269	72.494	170.763	28.141	13.611	41.752
Nov	55.886	84.663	140.549	38.697	66.911	105.608	11.569	12.563	24.132
Dic	0	82.212	82.212	0	64.974	64.974	0	12.199	12.199
Anual	2.427.441	1.018.557	3.445.998	1.502.151	804.988	2.307.139	400.143	151.141	551.284

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

Fuente: elaboración propia

	Conjunto Las Palmas			Conjunto Reina Luisa			Condominio Bellavista		
	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total
Ene	0	77.842	77.842	0	61.520	61.520	0	11.551	11.551
Feb	0	68.105	68.105	0	53.825	53.825	0	10.106	10.106
Mar	0	76.429	76.429	0	60.404	60.404	0	11.341	11.341
Abr	329.818	78.191	408.009	208.158	61.797	269.955	56.008	11.603	67.611
May	565.873	86.328	652.200	339.792	68.227	408.019	93.640	12.810	106.450
Jun	759.276	88.892	848.169	445.042	70.253	515.295	123.857	13.190	137.048
Jul	832.156	95.319	927.475	485.583	75.332	560.915	136.131	14.144	150.275
Ago	689.004	96.605	785.609	421.028	76.349	497.377	114.851	14.335	129.186
Sep	473.721	92.244	565.965	295.109	72.902	368.012	81.163	13.688	94.851
Oct	290.417	91.727	382.144	179.695	72.494	252.188	52.108	13.611	65.719
Nov	108.890	84.663	193.553	67.972	66.911	134.883	20.507	12.563	33.070
Dic	0	82.212	82.212	0	64.974	64.974	0	12.199	12.199
Anual	4.049.156	1.018.557	5.067.712	2.442.379	804.988	3.247.367	678.266	151.141	829.407

**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 4% y un 7% de la potencia total de generación calor para el escenario 1 y entre un 6% y un 9% para el escenario 2. La calefacción representa el resto.

	Conjunto Las Palmas			Conjunto Reina Luisa			Condominio Bellavista		
	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total
Ene	0	140	140	0	110	110	0	21	21
Feb	0	135	135	0	107	107	0	20	20
Mar	0	137	137	0	108	108	0	20	20
Abr	1.846	145	1.991	1.056	114	1.171	272	21	294
May	2.447	155	2.602	1.299	122	1.421	350	23	373
Jun	2.958	165	3.123	1.566	130	1.697	416	24	440
Jul	3.775	171	3.946	1.949	135	2.084	520	25	546
Ago	2.701	173	2.874	1.432	137	1.569	383	26	409
Sep	2.063	171	2.234	1.221	135	1.356	322	25	347
Oct	2.072	164	2.237	1.203	130	1.333	323	24	348
Nov	1.453	157	1.610	768	124	891	209	23	233
Dic	0	147	147	0	116	116	0	22	22
Anual	3.775	173	3.946	1.949	137	2.084	520	26	546

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

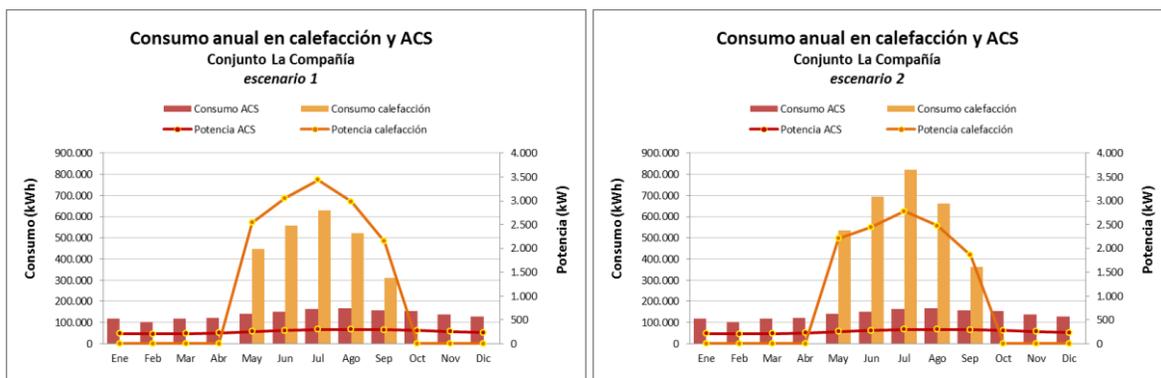
Fuente: elaboración propia

	Conjunto Las Palmas			Conjunto Reina Luisa			Condominio Bellavista		
	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total	Calefacción	ACS	Total
Ene	0	140	140	0	110	110	0	21	21
Feb	0	135	135	0	107	107	0	20	20
Mar	0	137	137	0	108	108	0	20	20
Abr	1.635	145	1.780	984	114	1.099	257	21	279
May	2.054	155	2.208	1.212	122	1.334	316	23	339
Jun	2.489	165	2.653	1.443	130	1.573	391	24	416
Jul	2.671	171	2.842	1.463	135	1.598	403	25	428
Ago	2.162	173	2.335	1.263	137	1.400	336	26	362
Sep	1.902	171	2.073	1.124	135	1.259	299	25	324
Oct	1.973	164	2.137	1.142	130	1.272	308	24	332
Nov	1.363	157	1.520	737	124	861	199	23	223
Dic	0	147	147	0	116	116	0	22	22
Anual	2.671	173	2.842	1.463	137	1.598	403	26	428

**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

La metodología que se utilizó para determinar los consumos energéticos de cada componente del proyecto mixto varía según el tipo de edificación, las necesidades energéticas y la información disponible.

Para el caso del proyecto residencial “Conjunto habitacional Reina Luisa”, se utilizaron los resultados generados sobre el consumo energético para calefacción y agua caliente sanitaria presentados en la sección anterior. En este caso, se presentan los consumos para el proyecto de 245 viviendas considerado en la evaluación previa, además de los consumos para el proyecto de 1300 viviendas.

Los requerimientos energéticos de los aserraderos Madexpo y Madesur fueron determinados con base a las especificaciones técnicas de los equipos de combustión, frecuencia y tiempo de operación, además de información sobre el consumo de electricidad a partir de facturas de servicio eléctrico.

## **7.2.2 Madexpo**

### **7.2.2.1 Requerimientos actuales de energía térmica**

La energía térmica que consume Madexpo se utiliza para la operación de 6 cámaras de secado de madera. Para la estimación de los requerimientos térmicos, se dispone de información técnica de la planta térmica actual y su factor de utilización, como también del consumo de biomasa diario. El consumo se calcula considerando que el 100% del calor producido es utilizado para el proceso productivo de Madexpo. La información de los equipos, consumo de biomasa y el modo de utilización fue entregada por la gerencia de operaciones de la empresa.

Primero, se estima el consumo energético a partir de la potencia nominal de la caldera (4MW) y un factor de planta de 0,85, lo cual da por resultado una demanda diaria de 81.600 kWh.

Posteriormente, se realizó el cálculo de los requerimientos energéticos a partir de un consumo de biomasa diario de 100 m<sup>3</sup>, compuesto por astillas de pino radiata, de las cuales un 50% poseen un contenido de humedad de 20% b.h. y el otro 50% tiene un contenido de humedad del 35% b.h. A partir de esta información, se estimó el consumo térmico diario en 84.432 kWh.

El requerimiento térmico que se consideró fue el de 81.600 kWh/día, lo que equivale a un consumo anual de 29.702.400 kWh.

### **7.2.2.2 Requerimientos actuales de electricidad**

El consumo mensual de electricidad se obtuvo a partir de la energía normal reportada en 4 facturas emitidas por la empresa de distribución de energía eléctrica SAESA, las que fueron facilitadas por Madexpo. El consumo mensual se mantiene estable durante todo el año.

Madexpo	Consumo (kWh)
Enero	273.600
Febrero	254.880
Marzo	271.620
Abril	271.620
Mayo	271.620
Junio	271.620
Julio	271.620
Agosto	292.320
Septiembre	265.680
Octubre	271.620
Noviembre	271.620
Diciembre	271.620
<b>Anual</b>	<b>3.259.440</b>

**Tabla 7.9: Consumo de electricidad de Madexpo**

Fuente: Madexpo

## 7.2.3 Madesur

### 7.2.3.1 Requerimientos actuales de energía térmica

La estimación de los requerimientos térmicos se realizó a través de la siguiente fórmula:

$$Q = C_{p_{\text{agua}}} \times m_{\text{agua}} \times \Delta T,$$

donde:

Q = Energía requerida

Cp = Calor específico del agua líquida (4,1813 kJ/kg°C)

m = Masa del agua (32.000 kg)

ΔT = Cambio de la temperatura del agua (80°C -10°C =70°C)

Al aplicar la fórmula, se obtiene el siguiente resultado: Q = 9.366.112 kJ = 2.602 kWh.

A partir de este resultado, se obtiene el calor requerido diariamente y mensualmente. Según lo reportado por la Gerencia, la caldera trabaja sólo 10 meses al año. En este periodo, se utiliza durante 10 horas/día. En estas condiciones, el consumo térmico de Madesur se calcula en 7.961.195 kWh/año.

### 7.2.3.2 Requerimientos actuales de electricidad

El consumo mensual de electricidad se obtuvo a partir de la energía normal reportada en 4 facturas emitidas por la empresa de distribución de energía eléctrica SAESA y facilitadas por Madesur. El consumo anual es de 263.690 kWh y se mantiene estable durante todo el año.

Mes	Consumo (kWh)
Enero	21.420
Febrero	16.320
Marzo	19.220
Abril	23.620
Mayo	22.970
Junio	22.970
Julio	22.970
Agosto	22.970
Septiembre	22.970
Octubre	22.970
Noviembre	22.970
Diciembre	22.320
<b>Anual</b>	<b>263.690</b>

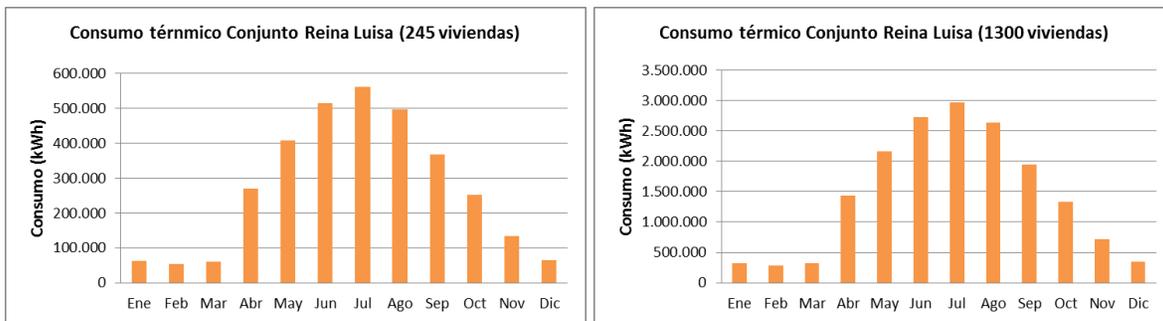
**Tabla 7.10: Consumo de electricidad de Madesur**

Fuente: Madesur

## 7.2.4 Conjunto habitacional Reina Luisa

### 7.2.4.1 Consumo de energía térmica

Para el cálculo de los requerimientos totales del proyecto mixto, se consideró el escenario 2 de consumo de calefacción. En la figura 7.2, se entrega el perfil de consumo térmico anual.



**Figura 7.2: Perfil de consumo de energía térmica del Conjunto Reina Luisa**

Fuente: elaboración propia

El consumo mensual de energía térmica de las viviendas, tanto de calefacción como agua caliente sanitaria (ACS) se presenta en la siguiente tabla.

## 7.2.5 Resumen de requerimientos energéticos del proyecto mixto

### 7.2.5.1 Consumo de energía térmica

Al reunir los requerimientos térmicos de los tres componentes del Proyecto Mixto, se obtiene un total anual de 40.910.962 kWh. El 73% del consumo térmico corresponde al aserradero Madexpo S.A., seguido de Madesur Ltda. con un 19%. El consumo del conjunto habitacional Reina Luisa representa únicamente un 8% del total del proyecto.

Mes	Madesur		Madexpo		Conjunto Reina Luisa		Total Proyecto
	Consumo (kWh)	Rel. (%)	Consumo (kWh)	Rel. (%)	Consumo (kWh)	Rel. (%)	
Ene	0	0%	2.448.000	98%	61.520	2%	2.509.520
Feb	0	0%	2.284.800	98%	53.825	2%	2.338.625
Mar	806.526	24%	2.529.600	74%	60.404	2%	3.396.530
Abr	780.509	22%	2.448.000	70%	269.955	8%	3.498.464
May	806.526	22%	2.529.600	68%	408.019	11%	3.744.145
Jun	780.509	21%	2.448.000	65%	515.295	14%	3.743.804
Jul	806.526	21%	2.529.600	65%	560.915	14%	3.897.041
Ago	806.526	21%	2.529.600	66%	497.377	13%	3.833.503
Sep	780.509	22%	2.448.000	68%	368.011	10%	3.596.520
Oct	806.526	22%	2.529.600	70%	252.189	7%	3.588.315
Nov	780.509	23%	2.448.000	73%	134.883	4%	3.363.392
Dic	806.526	24%	2.529.600	74%	64.974	2%	3.401.100
<b>Total año</b>	<b>7.961.195</b>	<b>19%</b>	<b>29.702.400</b>	<b>73%</b>	<b>3.247.367</b>	<b>8%</b>	<b>40.910.962</b>

**Tabla 7.11: Consumo de energía térmica del proyecto mixto (245 viviendas)**

Fuente: elaboración propia

Mes	Madesur		Madexpo		Conjunto Reina Luisa		Total Proyecto
	Consumo (kWh)	Rel. (%)	Consumo (kWh)	Rel. (%)	Consumo (kWh)	Rel. (%)	
Ene	0	0%	2.448.000	88%	326.433	12%	2.774.433
Feb	0	0%	2.284.800	89%	285.602	11%	2.570.402
Mar	806.526	22%	2.529.600	69%	320.511	9%	3.656.637
Abr	780.509	17%	2.448.000	53%	1.432.414	31%	4.660.924
May	806.526	15%	2.529.600	46%	2.164.999	39%	5.501.125
Jun	780.509	13%	2.448.000	41%	2.734.218	46%	5.962.728
Jul	806.526	13%	2.529.600	40%	2.976.284	47%	6.312.410
Ago	806.526	13%	2.529.600	42%	2.639.143	44%	5.975.270
Sep	780.509	15%	2.448.000	47%	1.952.711	38%	5.181.221
Oct	806.526	17%	2.529.600	54%	1.338.146	29%	4.674.272
Nov	780.509	20%	2.448.000	62%	715.706	18%	3.944.215
Dic	806.526	22%	2.529.600	69%	344.760	9%	3.680.886
<b>Total</b>	<b>7.961.195</b>	<b>15%</b>	<b>29.702.400</b>	<b>54%</b>	<b>17.230.927</b>	<b>31%</b>	<b>54.894.522</b>

**Tabla 7.12: Consumo de energía térmica del proyecto mixto (1300 viviendas)**

Fuente: elaboración propia

En el caso del proyecto con 245 viviendas, el consumo energético se mantiene estable, excepto para el caso de los meses de enero y febrero debido a que no hay consumo por parte del aserradero de Madesur.



**Figura 7.3: Consumo de energía térmica del proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

Con base en el consumo mensual del proyecto, se estima la potencia requerida para cubrir los requerimientos energéticos. El mes de mayor consumo es julio, con lo cual se determina una potencia requerida de 5.820 kW.

Mes	Madesur		Madexpo		Reina Luisa		Total Proyecto
	Consumo (kW)	Rel. (%)	Consumo (kW)	Rel. (%)	Consumo (kW)	Rel. (%)	
Ene	0	0%	3.778	98%	95	2%	3.873
Feb	0	0%	3.778	98%	89	2%	3.867
Mar	1.204	24%	3.778	74%	90	2%	5.072
Abr	1.204	22%	3.778	70%	417	8%	5.399
May	1.204	22%	3.778	68%	609	11%	5.592
Jun	1.204	21%	3.778	65%	795	14%	5.777
Jul	1.204	21%	3.778	65%	838	14%	5.820
Ago	1.204	21%	3.778	66%	743	13%	5.725
Sep	1.204	22%	3.778	68%	568	10%	5.550
Oct	1.204	22%	3.778	70%	377	7%	5.359
Nov	1.204	23%	3.778	73%	208	4%	5.190
Dic	1.204	24%	3.778	74%	97	2%	5.079
<b>Total año</b>	<b>1.204</b>	<b>21%</b>	<b>3.778</b>	<b>65%</b>	<b>838</b>	<b>14%</b>	<b>5.820</b>

**Tabla 7.13: Potencia de energía térmica del proyecto mixto (245 viviendas)**

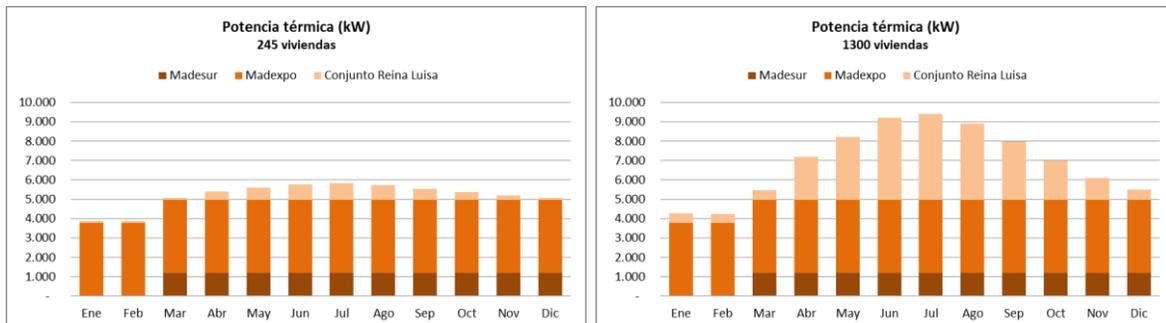
Fuente: elaboración propia

Mes	Madesur		Madexpo		Conjunto Reina Luisa		Total Proyecto
	Consumo (kW)	Rel. (%)	Consumo (kW)	Rel. (%)	Consumo (kW)	Rel. (%)	
Ene	0	0%	3.778	88%	504	12%	4.282
Feb	0	0%	3.778	89%	472	11%	4.250
Mar	1.204	22%	3.778	69%	479	9%	5.461
Abr	1.204	17%	3.778	53%	2.211	31%	7.193
May	1.204	15%	3.778	46%	3.233	39%	8.216
Jun	1.204	13%	3.778	41%	4.219	46%	9.202
Jul	1.204	13%	3.778	40%	4.445	47%	9.427
Ago	1.204	13%	3.778	42%	3.941	44%	8.924
Sep	1.204	15%	3.778	47%	3.013	38%	7.996
Oct	1.204	17%	3.778	54%	1.998	29%	6.981
Nov	1.204	20%	3.778	62%	1.104	18%	6.087
Dic	1.204	22%	3.778	69%	515	9%	5.497
<b>Total año</b>	<b>1.204</b>	<b>13%</b>	<b>3.778</b>	<b>40%</b>	<b>4.445</b>	<b>47%</b>	<b>9.427</b>

**Tabla 7.14: Potencia de energía térmica del proyecto mixto (1300 viviendas)**

Fuente: elaboración propia

La potencia requerida para cubrir los requerimientos térmicos de los dos aserraderos se aproxima a 5 MW. Al sumar los requerimientos térmicos del Conjunto Reina Luisa para 245 viviendas, la potencia requerida es de cerca de 6 MW, mientras que para el proyecto de 1300 viviendas, la potencia térmica requerida es de aproximadamente 9,5 MW.



**Figura 7.4: Potencia de energía térmica del proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

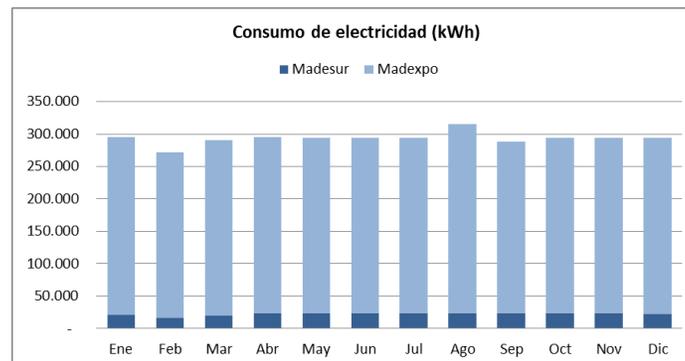
### 7.2.5.2 Consumo de electricidad

El consumo de electricidad de Madexpo representa el 93% del total requerido por el proyecto. El consumo anual supera ligeramente los 3,5 MWh.

Mes	Madesur		Madexpo		Total Proyecto
	Consumo (kWh)	Rel. (%)	Consumo (kWh)	Rel. (%)	
Enero	21.420	7%	273.600	93%	295.020
Febrero	16.320	6%	254.880	94%	271.200
Marzo	19.220	7%	271.620	93%	290.840
Abril	23.620	8%	271.620	92%	295.240
Mayo	22.970	8%	271.620	92%	294.590
Junio	22.970	8%	271.620	92%	294.590
Julio	22.970	8%	271.620	92%	294.590
Agosto	22.970	7%	292.320	93%	315.290
Septiembre	22.970	8%	265.680	92%	288.650
Octubre	22.970	8%	271.620	92%	294.590
Noviembre	22.970	8%	271.620	92%	294.590
Diciembre	22.320	8%	271.620	92%	293.940
<b>Anual</b>	<b>263.690</b>	<b>7%</b>	<b>3.259.440</b>	<b>93%</b>	<b>3.523.130</b>

**Tabla 7.15: Consumo eléctrico del proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia



**Figura 7.5: Consumo eléctrico del proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

La potencia requerida para cubrir el requerimiento de electricidad de ambos aserraderos es de aproximadamente 0,4 MW<sub>e</sub>.

Mes	Madesur		Madexpo		Total Proyecto
	Consumo (kW)	Rel. (%)	Consumo (kW)	Rel. (%)	
Enero	30	8%	380	96%	397
Febrero	23	6%	354	97%	365
Marzo	27	7%	377	97%	391
Abril	33	8%	377	95%	397
Mayo	32	8%	377	95%	396
Junio	32	8%	377	95%	396
Julio	32	8%	377	95%	396
Agosto	32	8%	406	96%	424
Septiembre	32	8%	369	95%	388
Octubre	32	8%	377	95%	396
Noviembre	32	8%	377	95%	396
Diciembre	31	8%	377	95%	395
<b>Anual</b>	<b>33</b>	<b>8%</b>	<b>406</b>	<b>96%</b>	<b>424</b>

**Tabla 7.16: Potencia eléctrica del proyecto mixto**

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

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

### 8.2.1 Planta de generación

Los proyectos Conjunto Las Palmas y Condominio Bellavista se ubican en sectores residenciales cuyo acceso implica el tránsito de camiones por calles que no son de tipo avenidas, aunque esto no debiera ser un impedimento para el acceso de la biomasa al lugar. En el caso del Conjunto Reina Luisa, la biomasa para combustión se genera en el mismo sitio de la planta térmica, por lo cual no existe ningún inconveniente con respecto al acceso de biomasa.

Se estima que se requieren unos 100-150 m<sup>2</sup> 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 Conjunto Las Palmas y Conjunto Reina Luisa son loteos grandes que no tienen mayores restricciones de espacio. En el caso del Condominio Bellavista, 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
<b>Caldera ACS</b>	180	180	180	180	180	180
<b>Caldera calefacción</b>	3.800	2.700	2.000	2.000	1.500	1.500
<b>Caldera respaldo</b>	3.800	2.700	2.000	2.000	1.500	1.500
<b>Central térmica biomasa</b>	<b>3.800</b>	<b>3.100</b>	<b>2.800</b>	<b>2.300</b>	<b>2.300</b>	<b>2.300</b>

**Tabla 8.1: Potencia de central térmica (kW), Conjunto Las Palmas**

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
<b>Caldera ACS</b>	140	140	140	140	140	140
<b>Caldera calefacción</b>	2.000	1.500	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Caldera respaldo</b>	2.000	1.500	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Central térmica biomasa</b>	<b>560</b>	<b>510</b>	<b>410</b>	<b>360</b>	<b>360</b>	<b>360</b>

**Tabla 8.2: Potencia de central térmica (kW), Conjunto Reina Luisa**

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
<b>Caldera ACS</b>	30	30	30	30	30	30
<b>Caldera calefacción</b>	600	400	300	300	250	250
<b>Caldera respaldo</b>	600	400	300	300	250	250
<b>Central térmica biomasa</b>	<b>4.100</b>	<b>3.600</b>	<b>3.000</b>	<b>2.600</b>	<b>2.600</b>	<b>2.600</b>

**Tabla 8.3: Potencia de central térmica (kW), Condominio Bellavista**

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 Las Palmas	Conjunto Reina Luisa	Condominio Bellavista
Tubería fierro Sch 40 20 mm	m	407	292	158
Tubería fierro Sch 40 25 mm	m	826	994	189
Tubería fierro Sch 40 32 mm	m	863	850	151
Tubería fierro Sch 40 40 mm	m	1.772	977	114
Tubería fierro Sch 40 50 mm	m	297	-	210
Tubería fierro Sch 40 65 mm	m	362	-	-
Tubería fierro Sch 40 80 mm	m	263	596	-
Tubería fierro Sch 40 100 mm	m	610	42	-
Tubería fierro Sch 40 125 mm	m	155	-	-
<b>Total tuberías</b>	<b>m</b>	<b>5.555</b>	<b>3.752</b>	<b>823</b>
<b>Aislación tuberías</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>11,0</b>	<b>8,0</b>	<b>2,0</b>
<b>Pérdidas de calor</b>	<b>kcal/h</b>	<b>138.984</b>	<b>47.407</b>	<b>21.847</b>

**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 0,56 kW en todos los casos. En la tabla 8.5, se resumen estos requerimientos para los 3 proyectos residenciales.

	<b>Conjunto La Compañía</b>	<b>Condominio Samuel Román</b>	<b>Parque Viña Santa Blanca</b>
<b>Calefacción</b>			
<b>Escenario 1</b>	12,18	7,96	11,31
<b>Escenario 2</b>	8,62	5,97	8,76
<b>ACS</b>	0,56	0,56	0,56
<b>Total escenario 1</b>	<b>12,74</b>	<b>13,52</b>	<b>11,87</b>
<b>Total escenario 2</b>	<b>9,18</b>	<b>6,53</b>	<b>9,32</b>

**Tabla 8.5: Potencia térmica requerida por vivienda, proyectos residenciales**

Fuente: elaboración propia

Para cumplir con los requerimientos calculados en el escenario 2, se requieren estaciones de transferencia de aproximadamente 10 kW de potencia útil.

## 8.3 Proyecto mixto

### 8.3.1 Central de generación

Para este proyecto, se evaluó la alternativa de instalar una planta CHP para el suministro total de los requerimientos de calor y el suministro parcial o total de los requerimientos de electricidad de los dos aserraderos que integran el proyecto. Para el caso del Conjunto Reina Luisa, sólo se consideró el proyecto de 245 viviendas, ya que las otras etapas se van a ir construyendo en el transcurso de los siguientes 13 años y no estarán operativas al momento de la instalación de la planta. Una opción es sobredimensionar el diámetro de la red de distribución, de forma de ampliar la capacidad de la central a medida que la demanda va también aumentando.

No se evaluó la instalación de una planta exclusivamente térmica, porque ésta ya existe en las instalaciones de Madexpo y Madesur, y, en el caso del Conjunto Reina Luisa, ya fue considerada dentro de las evaluaciones residenciales.

La planta de generación podría localizarse en las instalaciones actuales de Madexpo o Madesur, o bien evaluar la adquisición de un terreno anexo. Lo importante es que no habría complicaciones de espacio, ya que el proyecto se ubica en una zona industrial con disponibilidad de terrenos no utilizados actualmente.

La configuración de la planta evaluada consiste de una caldera de aceite térmico de 5,8 MW<sub>th</sub> que alimenta un módulo ORC de 1 MW<sub>e</sub>, con un factor de planta de 8.000 h/año (91%). Los parámetros de operación de la central CHP se resumen en la tabla 8.6.

Además, se considera una caldera de agua caliente a biomasa, con capacidad de 1 MW, para suministrar el calor que no alcanza a suministrarse con la planta CHP. Los parámetros de operación de esta segunda caldera, se resumen en la tabla 8.7.

Los parámetros de operación del sistema completo, se resumen en la tabla 8.8.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Capacidad de generación eléctrica CHP	1.000	Kwel
Capacidad de generación de calor útil CHP	4.800	Kwth
Horas de operación CHP	8.000	h/año
Eficiencia eléctrica anual	15%	
Eficiencia total anual	88%	
Consumo específico de electricidad del CHP (total)	27	kWh/MWh
Consumo específico de electricidad del CHP (calor)	13	kWh/MWh
Consumo eléctrico total CHP	715.200	kWh/año
Consumo eléctrico relacionado al calor	499.200	kWh/año
Consumo eléctrico - CHP	216.000	kWh/año
<b>Producción de electricidad</b>	<b>8.000.000</b>	<b>kWh/año</b>
<b>Producción de calor CHP</b>	<b>38.400.000</b>	<b>kWh/año</b>
Entrada de combustible CHP	52.727.273	kWh/año
Consumo de combustible para producción de calor	43.636.364	kWh/año
Consumo de combustible - generación eléctrica	9.090.909	kWh/año

**Tabla 8.6: Parámetros de operación de la planta CHP del proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

Horas de operación	5.122 h/año
Entrada de energía de combustible	5.820.796 kWh/año
Capacidad nominal de la caldera	1.000 kW
Producción de calor	5.122.300 kWh/año
Consumo específico de electricidad	13 kWh/MWh
Consumo total de electricidad	66.590 kWh/año

**Tabla 8.7: Parámetros de operación de la caldera de agua caliente del proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

Entrada de energía de combustible	58.548.068 kWh/año
<b>Producción total de electricidad</b>	<b>8.000.000 kWh/año</b>
<b>Producción total de calor</b>	<b>43.522.300 kWh/año</b>
Pérdidas del sistema (red de distribución)	6%
<b>Calor útil disponible para la venta</b>	<b>40.910.962 kWh/año</b>
<b>Calor útil para vender a clientes residenciales</b>	<b>3.247.367 kWh/año</b>
<b>Calor útil para vender a clientes industriales</b>	<b>37.663.595 kWh/año</b>

**Tabla 8.8: Parámetros de operación de toda la planta térmica 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 Chile<sup>11</sup>. 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.

---

<sup>11</sup> 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 50% 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 Las Palmas			Conjunto Reina Luisa			Condominio Bellavista		
	Dimensión	Cant.	Costo total	Dimensión	Cant.	Costo total	Dimensión	Cant.	Costo total
Caldera ACS biomasa	180 kW	1	55	140 kW	1	15	30 kW	1	10
Caldera calefacción biomasa	1,5 MW	1	200	1,0 MW	1	65	250 kW	1	55
Caldera respaldo gas licuado	1,5 MW	1	70	1,0 MW	1	20	250 kW	1	20
Estanque inercia	10.000 litros	3	21	10.000 litros	2	7			
Estanque inercia				5.000 litros	1	4	5.000 litros	1	4
Precipitador electrostático		1	70		1	40		1	20
Terreno	500 m <sup>2</sup>	1	20	280 m <sup>2</sup>	1	11	150 m <sup>2</sup>	1	6
Edificación	300 m <sup>2</sup>	1	60	170 m <sup>2</sup>	1	34	50 m <sup>2</sup>	1	10
Obra civil, fletes, seguros y montaje		1	146		1	103		1	39
<b>Total inversión</b>			<b>644</b>			<b>443</b>			<b>166</b>

**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	Conjunto Las Palmas		Conjunto Reina Luisa		Condominio Bellavista	
		Cantidad	Costo total (\$)	Cantidad	Costo total (\$)	Cantidad	Costo total (\$)
Total tuberías	m	5.555	18.447.569	3.752	10.490.457	823	1.535.988
Aislación tuberías	m <sup>3</sup>	11,0	12.760.000	8,0	9.280.000	2,0	2.320.000
Excavaciones y retapes	m	5.555	38.885.000	3.752	26.262.600	823	5.758.200
Fitting y soldaduras	m	5.555	111.100.000	3.752	75.036.000	823	16.452.000
Bombas	gl	1	35.000.000	1	25.000.000	1	6.000.000
Válvulas	gl	1	7.000.000	1	5.000.000	1	1.000.000
Accesorios de montaje y control	gl	1	2.000.000	1	2.500.000	1	1.000.000
Gastos generales	gl	1	7.000.000	1	5.000.000	1	1.000.000
Mano de obra montaje tuberías	m	5.555	83.325.000	3.752	56.277.000	823	12.339.000
<b>Total</b>			<b>315.517.569</b>		<b>214.846.057</b>		<b>47.405.188</b>

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

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 Las Palmas		Conjunto Reina Luisa		Condominio Bellavista	
		Cant.	Costo total (\$)	Cant.	Costo total (\$)	Cant.	Costo total (\$)
Red de tuberías e instalación	m <sup>2</sup>	92	920.000	64,5	645.000	83,4	834.000
Intercambiador de calor	gl	1	200.000	1	150.000	1	200.000
Radiadores y accesorios	kW	8,62	862.000	5,97	597.000	8,75	875.000
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 <sup>2</sup>	92	276.000	64,5	193.500	83,4	250.200
<b>Total</b>			<b>2.908.000</b>		<b>2.235.500</b>		<b>2.809.200</b>

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

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 Las Palmas	Conjunto Reina Luisa	Condominio Bellavista
Estudios y permisos	50	50	15
Planta térmica	644	443	166
Red de distribución	316	215	47
Distribución en viviendas	901	548	129
<b>Total</b>	<b>1.911</b>	<b>1.256</b>	<b>357</b>

**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 B, 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 Las Palmas		Conjunto Reina Luisa		Condominio Bellavista	
		Cantidad	Costo total	Cantidad	Costo total	Cantidad	Costo total
Biomasa	ton b.s.	967	29,0	633	19,0	161	4,8
Gas licuado	kg	4.217	3,5	590	0,5	379	0,3
Electricidad	kWh	100.000	6,0	80.000	4,8	10.000	0,6
Horas hombre operación	HH	2.500	7,5	2.500	7,5	2.500	7,5
Gastos de mantención	gl	1	5,0	1	5,0	1	2,0
Seguros	gl	1	4,8	1	3,3	1	1,2
Gastos de administración	gl	1	10,0	1	8,0	1	2,0
<b>Total</b>			<b>65,8</b>		<b>48,1</b>		<b>18,5</b>

**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 60 dólares la tonelada seca, lo que considera, principalmente, astillas de plantaciones forestales, además de otras fuentes de menor costo en proporciones menores.

El costo de la biomasa equivale a cerca de un 50% del costo total de operación de la planta, en los proyectos más grandes. En los proyectos más pequeños, este porcentaje puede disminuir a un 30%, 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.

Al analizar la estructura de costos de la tabla 9.10, se observa que los costos de capital están entre un 68% y un 76% del costo total, mientras que el costo de biomasa representa entre un 8% y un 9%.

<b>CAE (\$/año) por vivienda</b>	<b>Conjunto Las Palmas</b>	<b>Conjunto Reina Luisa</b>	<b>Condominio Bellavista</b>
Estudios y permisos	21.205	26.831	42.872
Planta térmica	267.487	233.086	464.715
Red de distribución	117.797	101.492	119.272
Distribución interior	352.580	271.043	340.601
Biomasa	93.613	77.539	105.104
Otros costos operación	118.645	118.694	296.190
<b>Total</b>	<b>971.327</b>	<b>828.685</b>	<b>1.368.754</b>
Total costos capital	759.069	632.452	967.460
Biomasa	93.613	77.539	105.104
Otros costos	118.645	118.694	296.190

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

Fuente: elaboración propia

<b>CAN (\$) por vivienda</b>	<b>Conjunto Las Palmas</b>	<b>Conjunto Reina Luisa</b>	<b>Condominio Bellavista</b>
Estudios y permisos	161.290	204.082	326.087
Planta térmica	2.034.524	1.772.870	3.534.658
Red de distribución	895.972	771.959	907.195
Distribución interior	2.681.751	2.061.573	2.590.637
Biomasa	712.026	589.764	799.432
Otros costos operación	902.425	902.798	2.252.845
<b>Total</b>	<b>7.387.988</b>	<b>6.303.045</b>	<b>10.410.854</b>
Total costos capital	5.773.537	4.810.483	7.358.578
Biomasa	712.026	589.764	799.432
Otros costos	902.425	902.798	2.252.845

**Tabla 9.9: Costo actual neto por vivienda, pesos chilenos**

Fuente: elaboración propia

<b>Estructura de costos</b>	<b>Conjunto Las Palmas</b>	<b>Conjunto Reina Luisa</b>	<b>Condominio Bellavista</b>
Estudios y permisos	2%	3%	3%
Planta térmica	28%	28%	34%
Red de distribución	12%	12%	9%
Distribución interior	36%	33%	25%
Biomasa	10%	9%	8%
Otros costos operación	12%	14%	22%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>
Total costos capital	76%	73%	68%
Biomasa	10%	9%	8%
Otros costos	12%	14%	22%

**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.

	<b>Conjunto Las Palmas</b>	<b>Conjunto Reina Luisa</b>	<b>Condominio Bellavista</b>
<b>Tarifa calefacción diurna (\$/kWh)</b>			
Costos de capital	84,85	80,10	97,27
Costos de operación	13,15	14,80	22,26
Impuestos	20,44	19,42	23,66
Retorno sobre el capital	25,46	24,03	29,18
<b>Total tarifa</b>	<b>143,90</b>	<b>138,35</b>	<b>172,36</b>
<b>Tarifa calefacción nocturna (\$/kWh)</b>			
Costos de capital	0,00	0,00	0,00
Costos de operación	13,15	14,80	22,26
Impuestos	0,00	0,00	0,00
Retorno sobre el capital	0,00	0,00	0,00
<b>Total tarifa</b>	<b>13,15</b>	<b>14,80</b>	<b>22,26</b>
<b>Tarifa ACS (\$/kWh)</b>			
Costos de capital	84,85	80,10	97,27
Costos de operación	13,15	14,80	22,26
Impuestos	20,44	19,42	23,66
Retorno sobre el capital	25,46	24,03	29,18
<b>Total tarifa</b>	<b>143,90</b>	<b>138,35</b>	<b>172,36</b>

**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 63,06 \$/kWh, 65,75 \$/kWh y 101,27 \$/kWh, tarifas que pueden competir directamente con los combustibles alternativos como el gas licuado (78 \$/kWh) y la parafina (63 \$/kWh), pero con una calidad muy superior en el servicio. Se observa claramente que los proyectos más pequeños, como el Condominio Bellavista, se ven desfavorecidos por menores economías de escala y costos específicos más elevados.

Considerando que la zona de expansión urbana de Osorno crecería a una tasa de 300 viviendas/año dentro de los próximos 12 años, se requeriría un fondo anual de 1.100 millones de pesos para financiar un esquema de subsidio estatal como el que se ha considerado en la evaluación<sup>12</sup>.

Con las tarifas calculadas, el gasto anual promedio en calefacción y ACS de una familia conectada a una red de calefacción distrital en los proyectos evaluados, en el mismo orden presentado en las tablas anteriores, sería de 659 mil pesos, 598 mil pesos y 1,187 millones de pesos.

De acuerdo a lo señalado en la tabla 9.13, una familia tipo en Osorno gasta anualmente una suma de 317 mil pesos en calefacción (considerando el precio de la leña certificada), 256 mil pesos en ACS y ahorra 180 mil pesos en cocina (cuando se detecta cocina a leña, que corresponde a un 56% de los casos encuestados). Sin considerar el ahorro obtenido por cocinar con leña, las tarifas de calefacción distrital (salvo en el proyecto menos

---

<sup>12</sup> 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".

ventajoso) serían levemente superiores al costo actual en calefacción y ACS (574 mil pesos).

	<b>Conjunto Las Palmas</b>	<b>Conjunto Reina Luisa</b>	<b>Condominio Bellavista</b>
<b>Tarifa calefacción diurna (\$/kWh)</b>			
Costos de capital	32,27	32,89	51,03
Costos de operación	13,15	14,80	22,26
Impuestos	7,96	8,19	12,67
Retorno sobre el capital	9,68	9,87	15,31
<b>Total tarifa</b>	<b>63,06</b>	<b>65,75</b>	<b>101,27</b>
<b>Tarifa calefacción nocturna (\$/kWh)</b>			
Costos de capital	0,00	0,00	0,00
Costos de operación	13,15	14,80	22,26
Impuestos	0,00	0,00	0,00
Retorno sobre el capital	0,00	0,00	0,00
<b>Total tarifa</b>	<b>13,15</b>	<b>14,80</b>	<b>22,26</b>
<b>Tarifa ACS (\$/kWh)</b>			
Costos de capital	32,27	32,89	51,03
Costos de operación	13,15	14,80	22,26
Impuestos	7,96	8,19	12,67
Retorno sobre el capital	9,68	9,87	15,31
<b>Total tarifa</b>	<b>63,06</b>	<b>65,75</b>	<b>101,27</b>

**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 9.14.

	<b>Consumo kWh/año</b>	<b>Energético</b>	<b>C.unitario \$/kWh</b>	<b>Gasto \$/año</b>
Calefacción	12.692,6	Leña	25	317.314
ACS	3.285,7	GLP	78	256.282
<b>Total</b>	<b>15.978,2</b>			<b>573.596</b>
Ahorro cocina	2.307,7	GLP	78	180.000
<b>Saldo final</b>	<b>13.670,5</b>			<b>393.596</b>

**Tabla 9.13: Gasto promedio anual en calefacción, ACS y cocina de una familia tipo en Osorno**

Fuente: elaboración propia

	<b>Conjunto Las Palmas</b>	<b>Conjunto Reina Luisa</b>	<b>Condominio Bellavista</b>
Ingresos por ventas	1.553.227	1.114.804	415.381
Costos operacionales	-500.480	-365.640	-140.405
Impuestos	-167.834	-120.367	-44.103
Estudios y permisos	-50.000	-50.000	-15.000
Planta térmica	-630.703	-433.690	-162.594
Red de distribución de calor	0	0	0
Distribución interior	0	0	0
<b>VAN(10%)</b>	<b>204.211</b>	<b>145.107</b>	<b>53.278</b>
TIR	14,8%	14,8%	14,8%
IVAN	0,30	0,30	0,30

**Tabla 9.14: 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 inmobiliarios<sup>13</sup>.

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 9.15, 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	2.174	4.349	6.524	8.701	10.878	13.057	15.236	17.416	19.597	21.779	21.783	21.788
Adm Hosp. Respiratoria	3,9	7,8	11,7	15,5	19,4	23,3	27,2	31,1	35,0	38,9	38,9	38,9
Adm Hosp. Cardiovascular	1,3	2,5	3,8	5,0	6,3	7,5	8,8	10,0	11,3	12,5	12,5	12,5
Adm. Hosp. Asma	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
<b>Total</b>	<b>2.179</b>	<b>4.359</b>	<b>6.540</b>	<b>8.722</b>	<b>10.904</b>	<b>13.088</b>	<b>15.272</b>	<b>17.457</b>	<b>19.643</b>	<b>21.831</b>	<b>21.835</b>	<b>21.839</b>

**Tabla 9.15: 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 Osorno, alcanzaría un valor de \$102.991 millones. Cabe destacar que estos beneficios son directos en salud y no se ha considerado otros posibles beneficios indirectos para la población.

<sup>13</sup> 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 en Osorno".

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 1.100 millones de pesos, que llevado a valor presente (aplicando una tasa de descuento social del 6%), equivale a 9.222 millones de pesos, se obtiene una relación beneficio/costo de 11,17. Esto quiere decir que, por cada peso invertido por el Estado, éste se ve retribuido en 11,17 pesos como beneficio social.

Desde un punto de vista de los beneficios ambientales, considerando una reducción de 458,8 ton/año de MP10 y 446,5 ton/año de MP2,5 producto de la implementación de un plan de calefacción distrital con biomasa en la expansión urbana de Osorno dentro de los próximos 12 años<sup>14</sup>, se llega a la conclusión de que el costo del programa es de 2,40 millones de pesos por tonelada reducida de MP10 o de 2,46 millones de pesos por tonelada reducida de MP2,5.

## 9.2 Proyecto Mixto

### 9.2.1 Costos de inversión

La planta CHP contempla la instalación de una caldera de aceite térmico de 5,8 MW de potencia útil, marca Uniconfort modelo Global/G/O 500, de acero con revestimiento refractario y seis pasos de humo, 4 bar de presión y parrilla móvil inclinada, con producción de aceite térmico a 320°C para alimentar un módulo ORC Turboden CHP T10 Split, de 1 MW<sub>e</sub> de potencia. El combustible admitido por la caldera consiste en pellets de madera, aserrín, astillas P100, madera en trozas P300, madera molida P16, corteza (hasta el 50% del volumen de carga) o una mezcla de estos combustibles. La potencia nominal de la caldera está garantizada con una humedad máxima del combustible del 50% en base húmeda.

La inversión correspondiente a la caldera de aceite térmico se distribuyó entre la producción de calor y la producción de electricidad. El criterio utilizado para dicha distribución, consistió en asignar a la planta térmica, el costo alternativo de una caldera de agua caliente de igual capacidad; el resto de la inversión, se asignó a la planta eléctrica. De esta forma, se está asignando a la planta eléctrica, el costo marginal por producción de electricidad, mientras que la planta térmica refleja el costo por producción de calor.

---

<sup>14</sup> Dato extraído de “Calefacción distrital con biomasa en Chile: Evaluación del potencial de reducción de emisiones en Osorno”.

Las inversiones asociadas a la planta eléctrica y la planta térmica se reportan en las tablas 9.16 y 9.17, respectivamente. En total, la inversión de la planta de cogeneración es de casi 4.000 millones de pesos, unos 8 millones de dólares, aproximadamente.

<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caldera de aceite 5,8MW (% asignado a planta eléctrica)	1.090.000.000	\$
Transporte y descarga	25.000.000	\$
Instalaciones eléctricas	90.517.241	\$
Instalaciones hidráulicas	50.689.655	\$
Infraestructura de acero	incluido	\$
Módulo CHP	1.050.000.000	\$
Planificación	119.120.690	\$
Otras inversiones	45.062.552	\$
<b>Costos de inversión CHP</b>	<b>2.470.390.138</b>	<b>\$</b>

**Tabla 9.16: Costos de inversión planta eléctrica proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caldera de aceite - 5.8MW (% Asignado a planta térmica)	800.000.000	\$
Transporte y descarga de caldera 5.8 MW	30.000.000	\$
Caldera de agua caliente (1 MW)	200.000.000	\$
Transporte y descarga de caldera 1 MW	7.500.000	\$
Sistema de abatimiento de MP: Filtro de manga	142.800.000	\$
Contenedor de cenizas	incluido	\$
Recuperación del calor	incluido	\$
Transportador del combustible	incluido	\$
Terreno + edificación	212.044.100	\$
Instalaciones eléctricas	-	\$
Instalaciones hidráulicas	incluido	\$
Infraestructura de acero	incluido	\$
Estudios de ingeniería	135.484.410	\$
<b>Costos de inversión planta térmica</b>	<b>1.527.828.510</b>	<b>\$</b>

**Tabla 9.17: Costos de inversión planta térmica proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

## 9.2.2 Costos de operación

En las tablas 9.19 y 9.20, se resumen todos los costos de generación eléctrica y térmica, respectivamente. Los costos considerados se clasifican en costos de capital, costos de consumo de energéticos, costos de operación por personal de planta y administrativo, y gastos generales, que corresponden a un 1% de la inversión de la planta.

## 9.2.3 Rentabilidad privada

En la tabla 9.18, se indican las tarifas calculadas para la electricidad cogenerada, el calor industrial y el calor residencial. La diferencia que se observa entre la tarifa de calor industrial y la tarifa residencial, radica en que, a esta última, se le cargaron los costos por la red de distribución de calor hasta las viviendas, además de los elementos de distribución interna de calor.

	<b>Tarifa electricidad (\$/kWh<sub>e</sub>)</b>	<b>Tarifa calor industrial (\$/kWh<sub>th</sub>)</b>	<b>Tarifa calor residencial (\$/kWh<sub>th</sub>)</b>
Costos de capital	39,63	4,77	32,87
Costos de consumo	11,45	7,35	7,35
Costos de operación	1,42	0,84	0,84
Gastos generales	3,09	0,26	0,26
Impuestos	8,25	0,88	7,25
Retorno sobre el capital	11,89	1,43	9,86
<b>Total tarifa</b>	<b>75,72</b>	<b>15,53</b>	<b>58,43</b>

**Tabla 9.18: Composición de la tarifa de electricidad cogenerada, calor industrial y calor residencial**

Fuente: elaboración propia

La tarifa de electricidad calculada (75,72 \$/kWh) es más alta que los costos alternativos de la electricidad contratada por ambos aserraderos (alrededor de 60 \$/kWh incluyendo costos fijos y variables).

La tarifa de calor industrial (15,53 \$/kWh) es razonable, aunque el costo actual de ambos aserraderos es menor, debido a que éstos ya cuentan con los equipos de generación de calor y sólo incurren en costos de operación.

La tarifa residencial (58,43 \$/kWh) es menor al costo de otros combustibles alternativos para calefacción individual, como el gas licuado (78 \$/kWh) o la parafina (63 \$/kWh). Es importante destacar que esta tarifa incluye la amortización de los elementos de distribución al interior de las viviendas. Si estos costos fueran asumidos por los usuarios, la tarifa de calefacción residencial se reduciría a 27,35 \$/kWh.

Los costos de capital representan entre un 31% y un 56% de los costos totales de producción. En este sentido, se observa una diferencia en relación a los proyectos residenciales, estos últimos más intensivos en capital.

Los impuestos representan entre un 6% y un 12% de los costos totales de producción. Un mecanismo de exención tributaria total o parcial puede ser considerado, con el fin de potenciar estos proyectos.

Por último, se concluye que la generación eléctrica no es económicamente rentable en las condiciones evaluadas, pues el costo de producción es superior a la tarifa industrial disponible en la zona de estudio. La generación térmica a escalas industriales es altamente positiva para los proyectos residenciales asociados, ya que los costos de producción se reducen significativamente en relación a proyectos exclusivamente residenciales, que tienen un factor de planta reducido y alcanzan menores escalas de producción.

Producto de estos resultados, se puede pensar en canalizar subsidios estatales al cofinanciamiento de infraestructura y equipamiento de autogeneración de electricidad, que beneficie a industrias mediante tarifas reducidas de electricidad y a usuarios residenciales ofreciéndoles tarifas reducidas de calor. Los resultados serían positivos desde un punto de vista de ampliar la matriz de ERNC y de disminuir el número de fuentes de emisión de material particulado.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Costo de capital</b>		
Tasa de descuento	10%	
<b>Costo de capital</b>	<b>317.016.271</b>	<b>\$/año</b>
<b>Costo de capital específicos</b>	<b>39,63</b>	<b>\$/kWh<sub>e</sub></b>
<b>Costos de consumo</b>		
Precio de la biomasa	5,39	\$/kWh
Costo de disposición de cenizas	Incluido	\$/año
Costos del combustible	49.021.888	\$/año
Precio de la electricidad	60	\$/kWh
Costos de electricidad	12.960.000	\$/año
Costos específicos para la generación de calor adicional CHP	3.084	\$/MWh
Costo de generación de calor adicional CHP	24.669.736	\$/año
Porcentaje de otros costos de consumo	0,20%	
Costos generales de consumo	4.940.780	\$/año
<b>Costos de consumo</b>	<b>91.592.404</b>	<b>\$/año</b>
<b>Costos de consumo específicos</b>	<b>11,45</b>	<b>\$/kWh<sub>e</sub></b>
<b>Costos operacionales</b>		
Costo RRHH	3.000	\$/h
Total de horas de RRHH	2.500	h/año
Administración CHP	3.882.859	\$/año
Costos totales de RRHH	11.382.859	\$/año
Costos de mantenimiento	-	\$/año
<b>Costos operacionales</b>	<b>11.382.859</b>	<b>\$/año</b>
<b>Costos operacionales específicos</b>	<b>1,42</b>	<b>\$/kWh<sub>e</sub></b>
<b>Gastos generales</b>		
Peso relativo de gastos generales con respecto a la inversión	1%	
Gastos generales	24.703.901	\$/año
Gastos generales por kWh	3,09	\$/kWh <sub>e</sub>
<b>Costos totales de generación de electricidad</b>	<b>444.695.435</b>	<b>\$/año</b>
<b>Costos específicos de generación de electricidad</b>	<b>55,59</b>	<b>\$/kWh<sub>e</sub></b>

**Tabla 9.19: Costos de generación eléctrica proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
<b>Costo de capital</b>		
Tasa de descuento	10%	
<b>Costo de capital de planta térmica</b>	<b>195.059.657</b>	<b>\$/año</b>
<b>Costo de capital por kWh</b>	<b>4,77</b>	<b>\$/kWh<sub>e</sub></b>
<b>Costos de consumo</b>		
Precio del combustible	5,39	\$/kWh
Costo de disposición de cenizas	Incluido	\$/año
Costos del combustible	266.693.165	\$/año
Precio de la electricidad	60	\$/kWh
Costos de electricidad	33.947.394	\$/año
<b>Costos de consumo</b>	<b>300.640.559</b>	<b>\$/año</b>
<b>Costos de consumo por kWh</b>	<b>7,35</b>	<b>\$/kWh<sub>e</sub></b>
<b>Costos operacionales</b>		
Costo RRHH	3.000	\$/h
Total de horas de RRHH	8.000	h/año
Administración CHP	7.900.221	\$/año
Costos totales de RRHH	31.900.221	\$/año
Costos de mantenimiento	2.323.509	\$/año
<b>Costos operacionales</b>	<b>34.223.729</b>	<b>\$/año</b>
<b>Costos operacionales por kWh</b>	<b>0,84</b>	<b>\$/kWh<sub>e</sub></b>
<b>Gastos generales</b>		
Proporción de gastos generales en relación a la inversión	0,70%	
<b>Gastos generales</b>	<b>10.694.800</b>	<b>\$/año</b>
<b>Gastos generales por kWh</b>	<b>0,26</b>	<b>\$/kWh<sub>th</sub></b>
<b>Costos totales de generación de calor</b>	<b>540.618.745</b>	<b>\$/año</b>
<b>Costos de generación de calor por kWh</b>	<b>13,21</b>	<b>\$/kWh<sub>th</sub></b>

**Tabla 9.20: Costos de generación térmica proyecto mixto**

Fuente: elaboración propia

# 10 Conclusiones

Los proyectos residenciales de calefacción distrital con biomasa, en una evaluación privada y 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 138,35 \$/kWh y 172,36 \$/kWh para que los proyectos resulten rentables. Los costos de capital representan entre un 68% y un 76% de los costos totales de producción, mientras que el costo de la biomasa se encuentra entre un 8% y 10%.

Sin embargo, considerando un esquema de financiamiento público de los elementos de distribución de calor, como un subsidio del Estado, y financiamiento privado de la planta de generación de calor, entonces las tarifas se reducen a valores que están entre 63,06 \$/kWh y 65,75 \$/kWh, pudiendo llegar a los 101,27 \$/kWh para proyectos más pequeños, posicionándose en un nivel similar al de los combustibles alternativos distintos de la leña, como el gas licuado (78 \$/kWh) y la parafina (63 \$/kWh). Con estas tarifas, el costo anual en calefacción (64% - 72%) y agua caliente sanitaria (28% - 36%) por vivienda estaría entre 598 mil y 659 mil pesos para los proyectos más favorables, pudiendo llegar a 1,187 millones para el proyecto más pequeño. Considerando que el consumo promedio de una familia de Osorno por estos servicios se estimó en 574 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: la calefacción distrital, además de ofrecer una mayor facilidad y comodidad en la operación del sistema, con nulas emisiones intradomiciliarias, considera 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 300 viviendas/año dentro de los próximos 12 años, se requeriría un fondo anual de 1.100 millones de pesos, que llevado a valor presente (aplicando una tasa de descuento social del 6%), equivale a 9.222 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 Osorno, alcanzaría un valor de 102.991 millones de pesos. No se evaluaron otros posibles beneficios indirectos para la población. En consecuencia, se obtiene una relación beneficio/costo de 11,17. Esto quiere decir que, por cada peso invertido por el Estado, éste se ve retribuido en 11,17 pesos como beneficio social.

Desde un punto de vista de los beneficios ambientales, considerando una reducción de 458,8 ton/año de MP10 y 446,5 ton/año de MP2,5 producto de la implementación de un plan de calefacción distrital con biomasa en la expansión urbana de Osorno dentro de los próximos 12 años, se llega a la conclusión de que el costo del programa es de 2,40 millones de pesos por tonelada reducida de MP10 o de 2,46 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.

**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”.

# ANEXOS

## Listado de Anexos:

ANEXO A:	SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE VIVIENDAS EN PROYECTOS RESIDENCIALES	<b>120</b>
ANEXO B:	CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN DISTINTOS ESCENARIOS DE CALEFACCIÓN	<b>145</b>
ANEXO C:	DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR	<b>147</b>
ANEXO D:	ESTIMACIÓN DEL GASTO PROMEDIO EN CALEFACCIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA EN UN HOGAR DE OSORNO	<b>154</b>

## ANEXO A

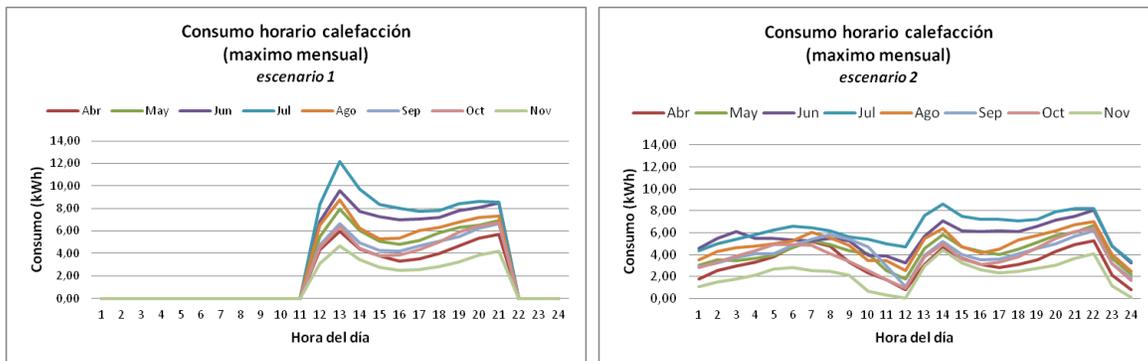
### SIMULACIONES TÉRMICAS DINÁMICAS DE VIVIENDAS EN PROYECTOS RESIDENCIALES

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

#### Conjunto Las Palmas

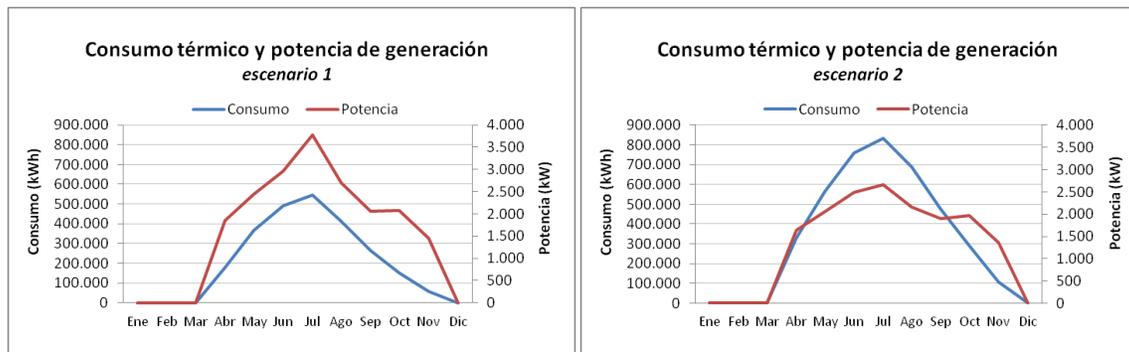
Bajo el escenario 1 de consumo de calefacción, la carga máxima horaria es de 12,18 kW por vivienda, cifra que corresponde a la potencia requerida para llevar la temperatura de la vivienda hasta 21°C durante el día más frío de un año promedio a las 14:00 hrs. Asimismo, bajo el escenario 2 de consumo, la carga máxima horaria es de 8,62 kW por vivienda.

De esta forma, la potencia total en calefacción requerida para el proyecto sería de 3.775 kW bajo el escenario 1 y 2.671 kW bajo el escenario 2.



**Figura A.1: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia



**Figura A.2: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Conjunto Las Palmas**

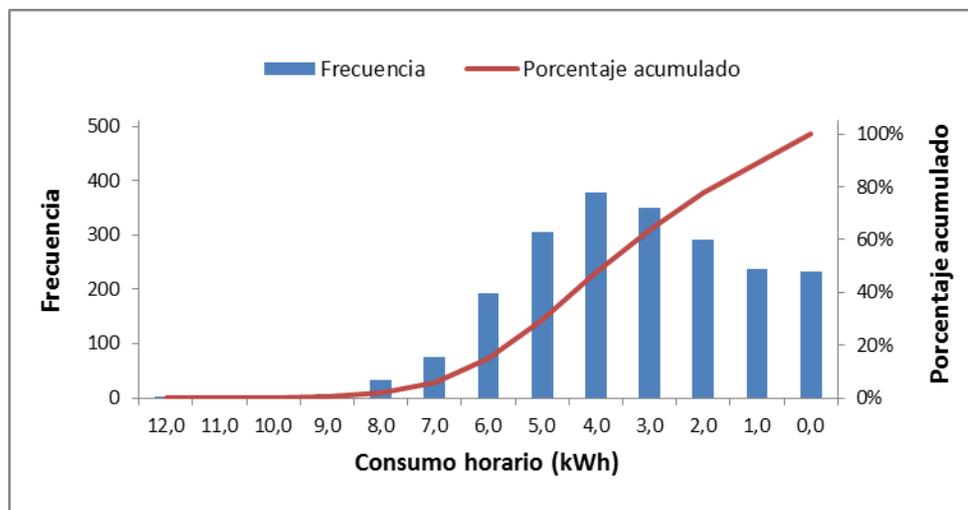
Fuente: elaboración propia

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 (0,1%) que sobrepasan los 10,00 kW y sólo 119 valores (5,7%) que sobrepasan los 7,00 kW, de un total de 2.106 horas de calefacción al año. Si se considera una potencia de calefacción de 6,45 kW por vivienda, la temperatura interior de ésta será levemente inferior a los 21°C durante 210 horas al año, lo que equivale a un 10,0% de las horas totales de calefacción.

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 12,0$	1	1	0,0%
$11,0 < c \leq 12,0$	0	1	0,0%
$10,0 < c \leq 11,0$	2	3	0,1%
$9,0 < c \leq 10,0$	7	10	0,5%
$8,0 < c \leq 9,0$	33	43	2,0%
$7,0 < c \leq 8,0$	76	119	5,7%
$6,0 < c \leq 7,0$	193	312	14,8%
$5,0 < c \leq 6,0$	305	617	29,3%
$4,0 < c \leq 5,0$	378	995	47,2%
$3,0 < c \leq 4,0$	350	1.345	63,9%
$2,0 < c \leq 3,0$	291	1.636	77,7%
$1,0 < c \leq 2,0$	238	1.874	89,0%
$c \leq 1,0$	232	2.106	100,0%

**Tabla A.1: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia



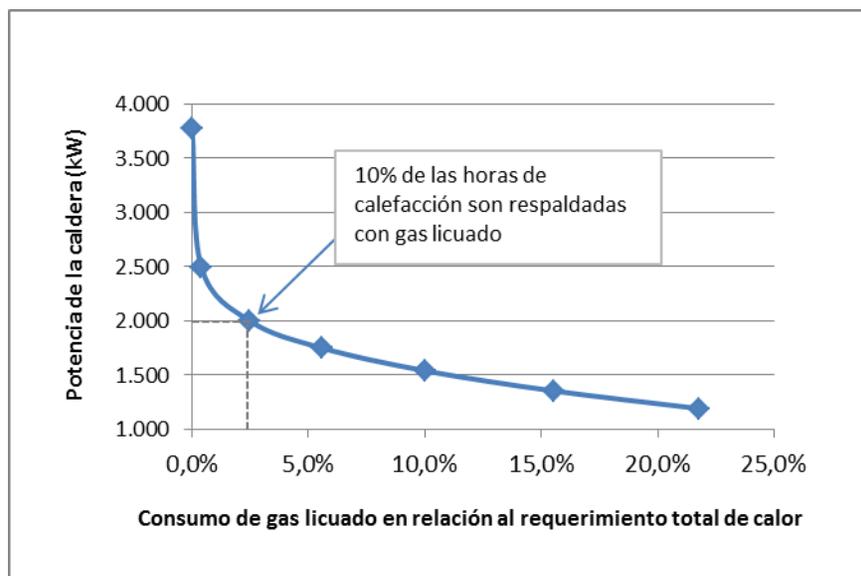
**Figura A.3: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

Una buena opción es ocupar la caldera de respaldo a gas licuado durante esas 210 horas al año en que se requieren más de 6,45 kW de carga de calefacción por vivienda. Esto permitiría reducir la potencia de la caldera a biomasa en 1.774 kW.

Utilizar gas licuado como respaldo en más de un 10% de las horas de calefacción anuales, permitiría una disminución aún mayor de la potencia de la caldera a biomasa, pero el impacto es mucho menos significativo, tal como se puede ver en la figura A.4.

Para el escenario 2, las conclusiones son similares. Existen 162 valores que sobrepasan los 6,0 kW, de un total de 4.808 horas de calefacción al año. Si se considera una potencia de calefacción de 4,97 kW por vivienda, la temperatura interior de ésta será levemente inferior a los 21°C durante 481 horas al año, lo que equivale a un 10,0% de las horas totales de calefacción.



**Figura A.4: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo el escenario 1, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

Horas de calefacción al año cubiertas sólo con biomasa	Consumo de gas licuado en relación al requerimiento total de calor	Potencia nominal de la caldera a biomasa (kW)	Potencia de la caldera a biomasa en relación a la potencia total de diseño
100%	0,0%	3.774	100%
98%	0,4%	2.488	66%
90%	2,5%	1.996	53%
80%	5,6%	1.748	46%
70%	10,0%	1.538	41%
60%	15,5%	1.352	36%
50%	21,7%	1.190	32%

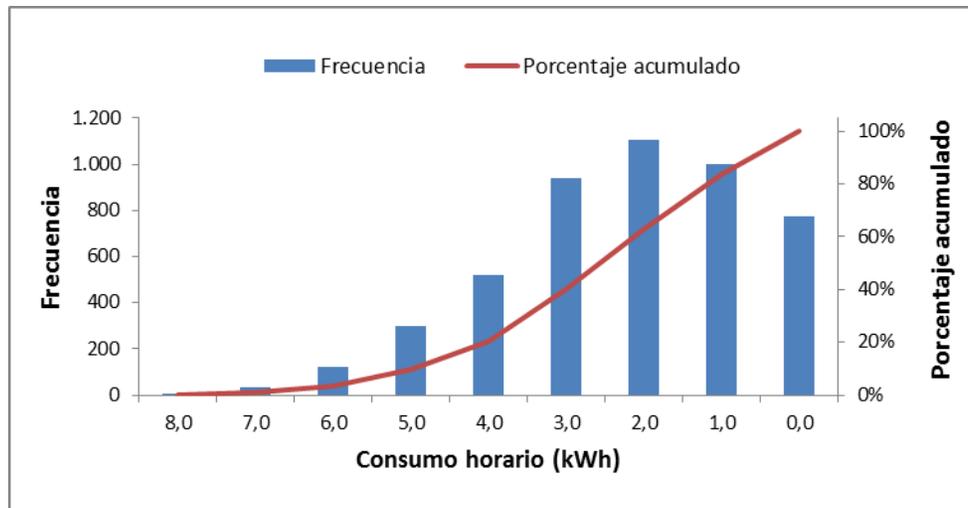
**Tabla A.2: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 8,0$	6	6	0,1%
$7,0 < c \leq 8,0$	32	38	0,8%
$6,0 < c \leq 7,0$	124	162	3,4%
$5,0 < c \leq 6,0$	299	461	9,6%
$4,0 < c \leq 5,0$	522	983	20,4%
$3,0 < c \leq 4,0$	942	1.925	40,0%
$2,0 < c \leq 3,0$	1.106	3.031	63,0%
$1,0 < c \leq 2,0$	1.003	4.034	83,9%
$c \leq 1,0$	774	4.808	100,0%

**Tabla A.3: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

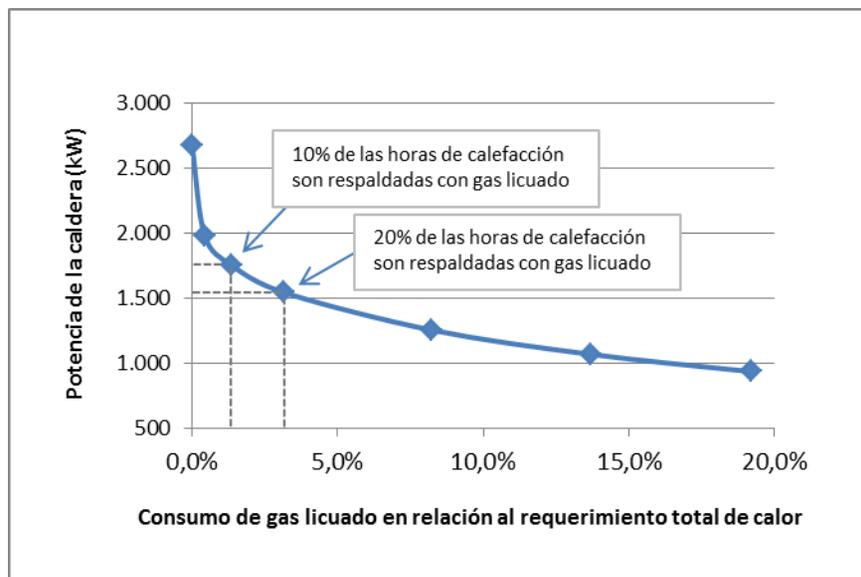


**Figura A.5: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

Ocupar la caldera de respaldo a gas licuado durante esas 481 horas al año en que se requieren más de 4,97 kW de carga de calefacción por vivienda, permitiría reducir la potencia de la caldera a biomasa en 1.128 kW.

Utilizar gas licuado como respaldo en más de un 10% de las horas de calefacción anuales, permitiría una disminución aún mayor de la potencia de la caldera a biomasa, aunque el impacto es menos significativo, tal como se puede ver en la figura A.6.



**Figura A.6: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo el escenario 2, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

Horas de calefacción al año cubiertas sólo con biomasa	Consumo de gas licuado en relación al requerimiento total de calor	Potencia nominal de la caldera a biomasa (kW)	Potencia de la caldera a biomasa en relación a la potencia total de diseño
100%	0,0%	2.670	100%
98%	0,4%	1.980	74%
90%	1,4%	1.748	65%
80%	3,2%	1.542	58%
70%	8,2%	1.252	47%
60%	13,7%	1.066	40%
50%	19,2%	934	35%

**Tabla A.4: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

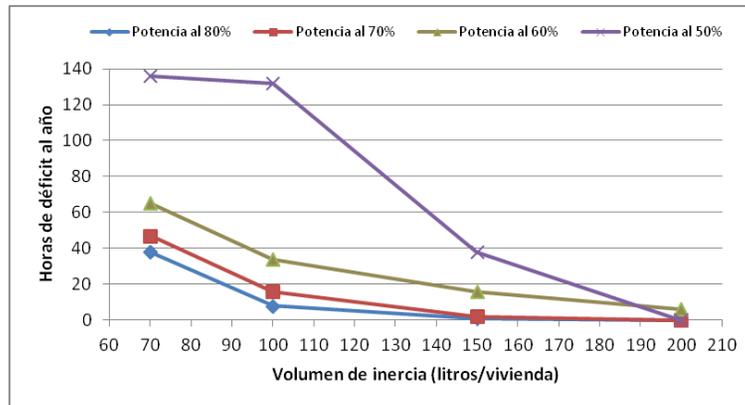
Otro aspecto que se analizó fue la inclusión de depósitos de inercia, con el fin de estabilizar la demanda y reducir los peaks de consumo, lo que se traduce en una reducción de la potencia necesaria de la caldera. En teoría, a medida que aumente el volumen de inercia del sistema, la potencia de la caldera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

Para determinar el impacto que tiene aumentar el volumen de inercia en la potencia de operación de la caldera, se simularon escenarios en los que se hizo funcionar la caldera a un 80%, 70% y 60% de su capacidad, para volúmenes de inercia de 70 litros/vivienda, 100 litros/vivienda, 150 litros/vivienda y 200 litros/vivienda, bajo el escenario 1 de consumo. 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 A.5.

	Volumen de inercia (litros/vivienda)	Horas de déficit al año	Déficit máximo (kW/vivienda)	Percentil 90 (kW/vivienda)
Operación de la caldera 80%	70	38	7,36	4,31
	100	8	6,52	4,72
	150	1	1,70	1,70
	200	0	0,00	0,00
Operación de la caldera 70%	70	47	7,95	4,90
	100	16	7,28	3,83
	150	2	2,34	2,11
	200	0	0,00	0,00
Operación de la caldera 60%	70	65	8,04	5,40
	100	34	5,64	3,42
	150	16	2,80	1,43
	200	6	1,01	0,90
Operación de la caldera 50%	70	136	6,03	3,34
	100	132	6,40	2,34
	150	38	2,67	2,51
	200	0	0,00	0,00

**Tabla A.5: Escenarios de calefacción con depósitos de inercia bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas**

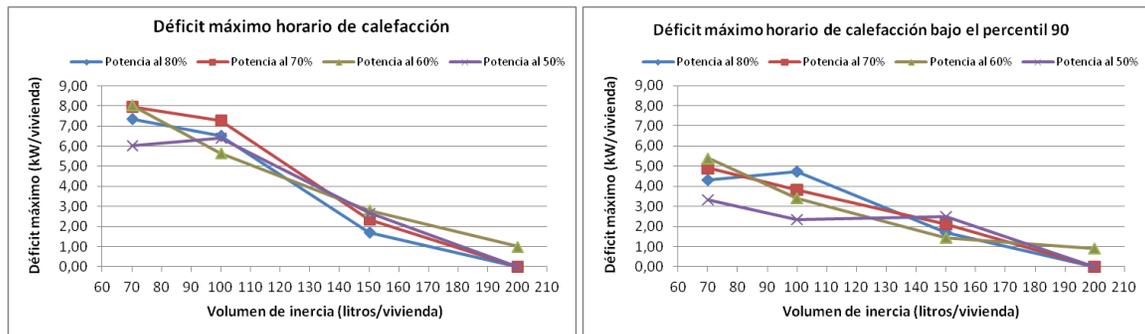
Fuente: elaboración propia



**Figura A.7: Horas de déficit de calefacción al año según nivel de operación de la caldera y volumen de inercia bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

Además, el déficit máximo del sistema también tiende a disminuir a medida aumenta el volumen de inercia, sin mostrar sensibilidad al nivel de operación de la caldera.



**Figura A.8: Déficit máximo de calefacción según volumen de inercia y nivel de operación de la caldera bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas**

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 34 horas al año, de 2.107 horas de calefacción al año; o a un 50% de la capacidad de diseño, con un volumen de inercia de 150 litros/vivienda, y fallar sólo en 38 horas al año. Las horas de déficit serían respaldadas con la caldera de gas licuado.

Inercia (litros/vivienda)	70	100	150	200
<b>Operación de la caldera 80%</b>				
<b>Consumo biomasa (kWh)</b>	2.404.530	2.421.961	2.426.915	2.427.441
<b>Consumo gas licuado (kWh)</b>	22.911	5.480	526	-
<b>Consumo gas / total</b>	0,94%	0,23%	0,02%	0,00%
<b>Operación de la caldera 70%</b>				
<b>Consumo biomasa (kWh)</b>	2.391.019	2.419.563	2.426.700	2.427.441
<b>Consumo gas licuado (kWh)</b>	36.422	7.878	741	-
<b>Consumo gas / total</b>	1,50%	0,32%	0,03%	0,00%
<b>Operación de la caldera 60%</b>				
<b>Consumo biomasa (kWh)</b>	2.380.953	2.412.641	2.422.620	2.426.225
<b>Consumo gas licuado (kWh)</b>	46.488	14.801	4.821	1.216
<b>Consumo gas / total</b>	1,92%	0,61%	0,20%	0,05%
<b>Operación de la caldera 50%</b>				
<b>Consumo biomasa (kWh)</b>	2.358.469	2.377.536	2.410.434	2.427.441
<b>Consumo gas licuado (kWh)</b>	68.972	49.905	17.007	-
<b>Consumo gas / total</b>	2,84%	2,06%	0,70%	0,00%

**Tabla A.6: Consumo biomasa-gas según volumen de inercia y potencia de la caldera bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

En consecuencia, una caldera a biomasa para calefacción con una capacidad nominal de 2.000 kW (53% de la potencia total de calefacción) y un volumen de inercia de 100 litros por vivienda, permite operar con un consumo de respaldo de gas licuado que equivale a un 1,62% <sup>15</sup> del consumo total de combustible (en términos de contenido energético), y se traduce en una reducción de 1.775 kW con respecto al escenario 1 de calefacción.

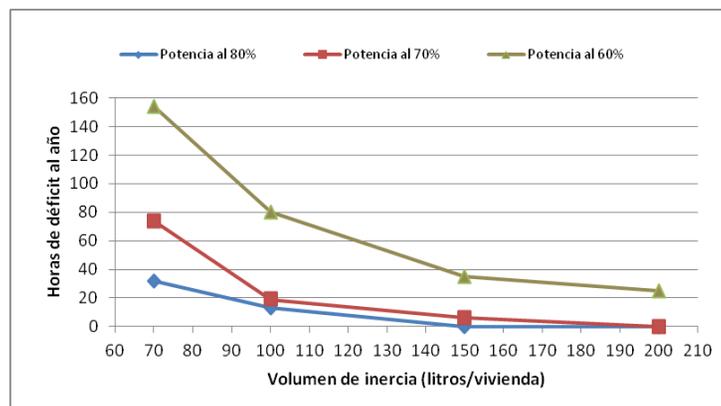
El mismo análisis se realizó para el escenario 2 de consumo. Los resultados se reportan en la tabla A.7.

<sup>15</sup> Dato obtenido por interpolación lineal de resultados tabulados

	Volumen de inercia (litros/vivienda)	Horas de déficit al año	Déficit máximo (kW/vivienda)	Percentil 90 (kW/vivienda)
Operación de la caldera 80%	70	32	4,07	1,49
	100	13	1,27	0,96
	150	0	0,00	0,00
	200	0	0,00	0,00
Operación de la caldera 70%	70	74	5,64	1,75
	100	19	2,11	2,03
	150	6	1,98	1,70
	200	0	0,00	0,00
Operación de la caldera 60%	70	154	3,98	2,30
	100	80	3,67	2,57
	150	35	3,40	2,65
	200	25	3,26	2,31

**Tabla A.7: Escenarios de calefacción con depósitos de inercia bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

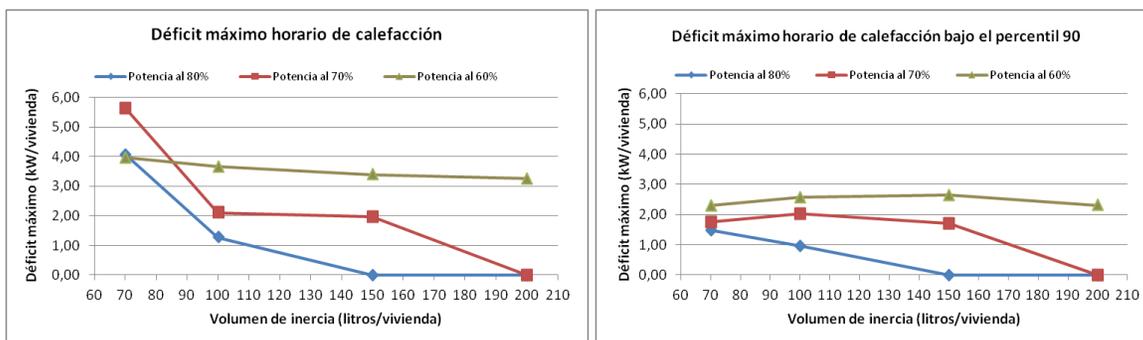


**Figura A.9: Horas de déficit de calefacción al año según nivel de operación de caldera y volumen de inercia bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

En este escenario, el número de horas de déficit de calefacción al año sigue un patrón similar al escenario 1. 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 80 horas al año, de 4.771 horas de calefacción al año. Estas 80 horas de déficit al año (1,7% del total) serían abastecidas con la caldera de respaldo a gas licuado; el déficit máximo en este escenario es de 3,67 kW/vivienda, mientras que en 72 de esas 80 horas, el déficit no sobrepasa los 2,57 kW/vivienda.



**Figura A.10: Déficit máximo de calefacción según volumen de inercia y nivel de operación de la caldera bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, un aumento en el volumen de inercia provoca una disminución significativa del déficit máximo de calefacción al operar la caldera a un 80%, el efecto disminuye al operar la caldera a un 70% y es prácticamente nulo al operar la caldera al 60%. El efecto sobre el déficit máximo dentro del percentil 90, sólo es significativo a un nivel de operación de la caldera de un 80%; a un 70% de operación, sólo existe un efecto significativo al aumentar la inercia a 200 litros por vivienda, mientras que al 60% de operación, no se aprecia disminución en el déficit.

Por lo tanto, en el escenario 2 de consumo, una reducción de la potencia de calefacción a un 80% introduciendo depósitos de inercia de 150 litros por vivienda, y hasta un 70% introduciendo depósitos de inercia de 200 litros por vivienda, permite satisfacer los requerimientos de calefacción de este proyecto sin inconvenientes. Forzar más allá la disminución de potencia obliga a utilizar un sistema de respaldo para suministrar el calor requerido, aunque el consumo de combustible de respaldo sería en una proporción muy reducida en comparación al consumo de biomasa.

Inercia (litros/vivienda)	70	100	150	200
<b>Operación de la caldera 80%</b>				
<b>Consumo biomasa (kWh)</b>	3.975.657	3.982.459	3.984.715	3.984.715
<b>Consumo gas licuado (kWh)</b>	9.058	2.256	-	-
<b>Consumo gas / total</b>	0,23%	0,06%	0,00%	0,00%
<b>Operación de la caldera 70%</b>				
<b>Consumo biomasa (kWh)</b>	3.964.783	3.977.647	3.982.800	3.984.715
<b>Consumo gas licuado (kWh)</b>	19.932	7.068	1.915	-
<b>Consumo gas / total</b>	0,50%	0,18%	0,05%	0,00%
<b>Operación de la caldera 60%</b>				
<b>Consumo biomasa (kWh)</b>	3.929.498	3.949.656	3.967.167	3.974.033
<b>Consumo gas licuado (kWh)</b>	55.217	35.059	17.548	10.682
<b>Consumo gas / total</b>	1,39%	0,88%	0,44%	0,27%

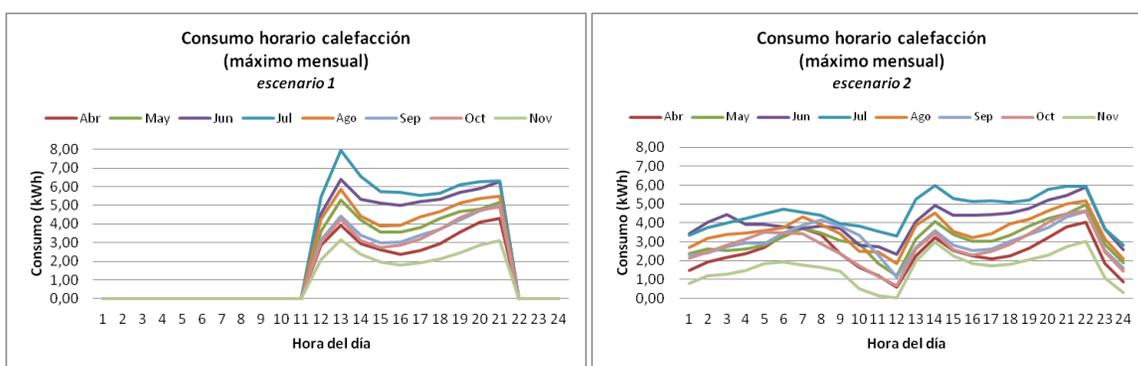
**Tabla A.8: Consumo biomasa-gas según volumen de inercia y potencia de la caldera bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

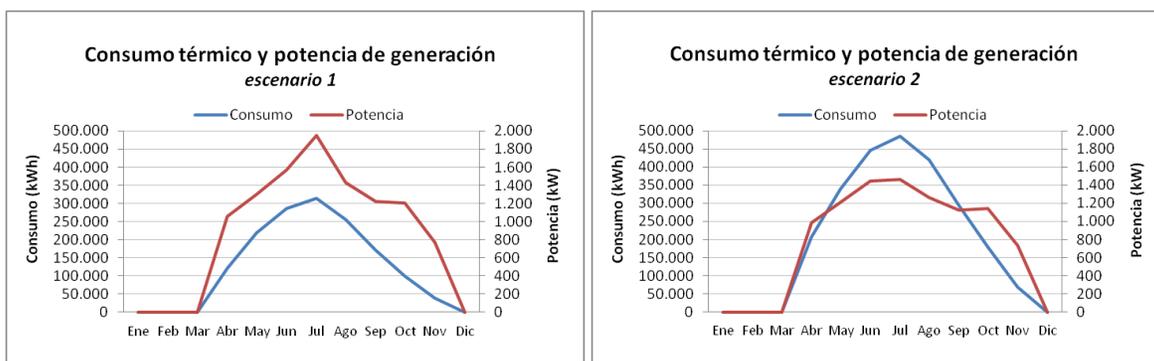
## Conjunto Reina Luisa

Bajo el escenario 1 de consumo de calefacción, la carga máxima horaria es de 7,96 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 5,97 kW por vivienda.

De esta forma, la potencia total en calefacción requerida para el proyecto sería de 1.949 kW bajo el escenario 1 y 1.463 kW bajo el escenario 2.



**Figura A.11: Consumo horario máximo mensual en calefacción, Conjunto Reina Luisa**  
Fuente: elaboración propia



**Figura A.12: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Conjunto Reina Luisa**  
Fuente: elaboración propia

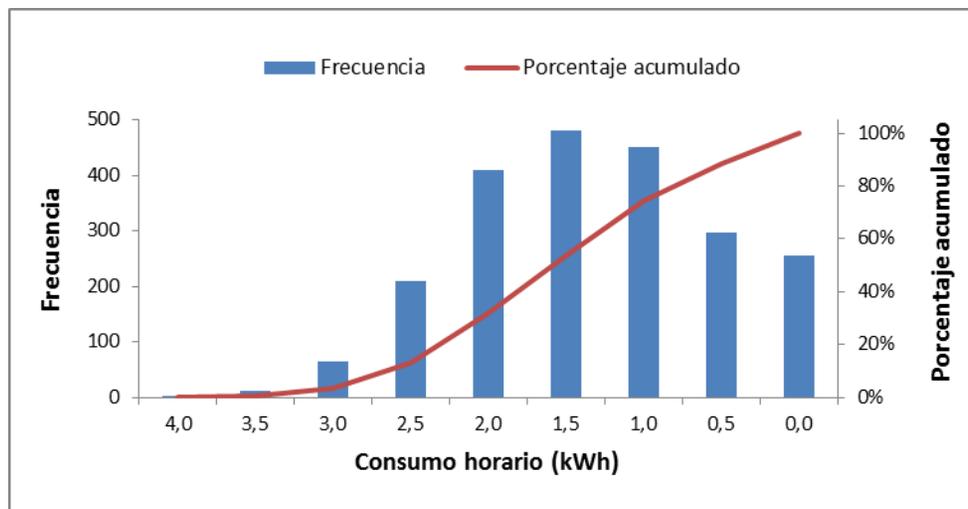
Un análisis de las cargas horarias en calefacción por vivienda durante todo el año, para el escenario 1, lleva a la conclusión de que sólo existen 2 valores (0,1%) que sobrepasan los 4,00 kW y sólo 77 valores (3,5%) que sobrepasan los 3,00 kW, de un total de 2.184 horas

de calefacción al año. Al considerar una potencia de calefacción de 2,63 kW por vivienda, la temperatura interior de ésta será levemente inferior a los 21°C durante 218 horas al año, lo que equivale a un 10,0% de las horas totales de calefacción.

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 4,0$	2	2	0,1%
$3,5 < c \leq 4,0$	11	13	0,6%
$3,0 < c \leq 3,5$	64	77	3,5%
$2,5 < c \leq 3,0$	210	287	13,1%
$2,0 < c \leq 2,5$	410	697	31,9%
$1,5 < c \leq 2,0$	481	1.178	53,9%
$1,0 < c \leq 1,5$	452	1.630	74,6%
$0,5 < c \leq 1,0$	298	1.928	88,3%
$c \leq 0,5$	256	2.184	100,0%

**Tabla A.9: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa**

Fuente: elaboración propia

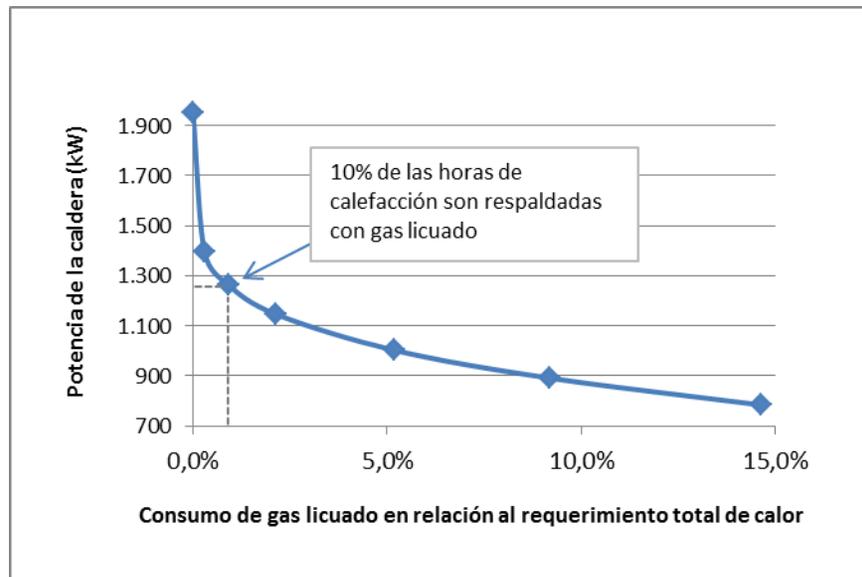


**Figura A.13: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa**

Fuente: elaboración propia

Una buena opción es ocupar la caldera de respaldo a gas licuado durante esas 218 horas al año en que se requieren más de 2,63 kW de carga de calefacción por vivienda. Esto permitiría reducir la potencia de la caldera a biomasa en 452 kW.

Utilizar gas licuado como respaldo en más de un 10% de las horas de calefacción anuales, permitiría una disminución aún mayor de la potencia de la caldera a biomasa, pero el impacto es mucho menos significativo, tal como se puede ver en la figura A.14.



**Figura A.14: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa**

Horas de calefacción al año cubiertas sólo con biomasa	Consumo de gas licuado en relación al requerimiento total de calor	Potencia nominal de la caldera a biomasa (kW)	Potencia de la caldera a biomasa en relación a la potencia total de diseño
100%	0,0%	1.950	100%
98%	0,3%	1.396	72%
90%	0,9%	1.264	65%
80%	2,1%	1.147	59%
70%	5,2%	1.003	51%
60%	9,2%	892	46%
50%	14,6%	784	40%

**Tabla A.10: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa**

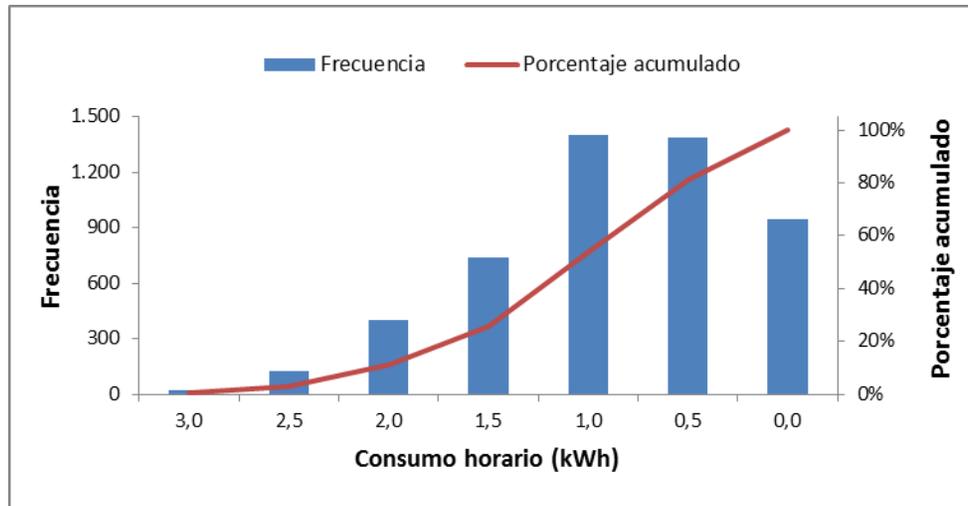
Fuente: elaboración propia

Para el escenario 2, las conclusiones son similares. Existen 23 valores que sobrepasan los 3,00 kW, de un total de 5.023 horas de calefacción al año. Si se considera una potencia de calefacción de 2,05 kW por vivienda, la temperatura interior de ésta será levemente inferior a los 21°C durante 502 horas al año, lo que equivale a un 10,00% de las horas totales de calefacción.

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 3,0$	23	23	0,5%
$2,5 < c \leq 3,0$	123	146	2,9%
$2,0 < c \leq 2,5$	404	550	10,9%
$1,5 < c \leq 2,0$	737	1.287	25,6%
$1,0 < c \leq 1,5$	1.401	2.688	53,5%
$0,5 < c \leq 1,0$	1.387	4.075	81,1%
$c \leq 0,5$	948	5.023	100,0%

**Tabla A.11: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa**

Fuente: elaboración propia

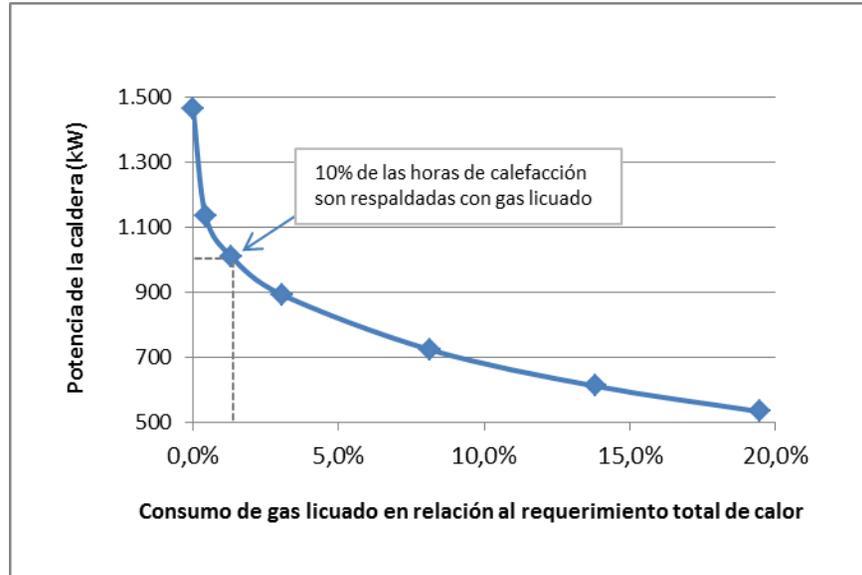


**Figura A.15: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa**

Fuente: elaboración propia

Ocupar la caldera de respaldo a gas licuado durante esas 502 horas al año en que se requieren más de 2,05 kW de carga de calefacción por vivienda, permitiría reducir la potencia de la caldera a biomasa en 322 kW.

Utilizar gas licuado como respaldo en más de un 10% de las horas de calefacción anuales, permitiría una disminución aún mayor de la potencia de la caldera a biomasa, aunque el impacto es menos significativo, tal como se puede ver en la figura A.16.



**Figura A.16: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa**

Fuente: elaboración propia

Horas de calefacción al año cubiertas sólo con biomasa	Consumo de gas licuado en relación al requerimiento total de calor	Potencia nominal de la caldera a biomasa (kW)	Potencia de la caldera a biomasa en relación a la potencia total de diseño
100%	0,0%	1.463	100%
98%	0,4%	1.134	77%
90%	1,3%	1.009	69%
80%	3,1%	892	61%
70%	8,2%	722	49%
60%	13,8%	611	42%
50%	19,5%	532	36%

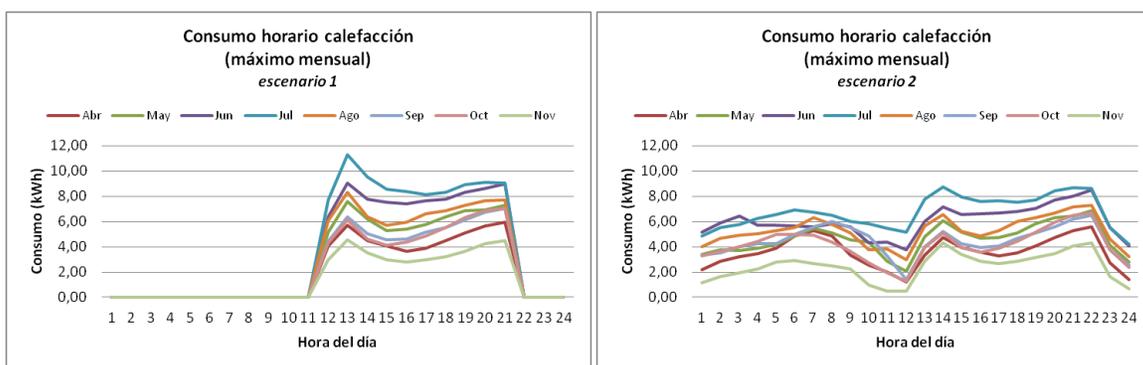
**Tabla A.12: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa**

Fuente: elaboración propia

### Condominio Bellavista

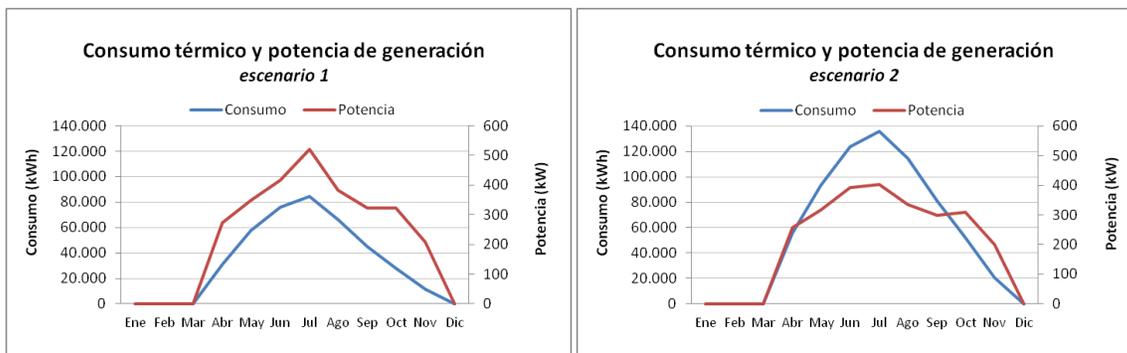
Bajo el escenario 1 de consumo de calefacción, la carga máxima horaria es de 11,31 kW por vivienda, cifra que corresponde a la potencia requerida para llevar la temperatura de la vivienda hasta 21°C durante el día más frío de un año promedio a las 14:00 hrs. Asimismo, bajo el escenario 2 de consumo, la carga máxima horaria es de 8,75 kW por vivienda.

De esta forma, la potencia total en calefacción requerida para el proyecto sería de 520 kW bajo el escenario 1 y de 403 kW bajo el escenario 2.



**Figura A.17: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia



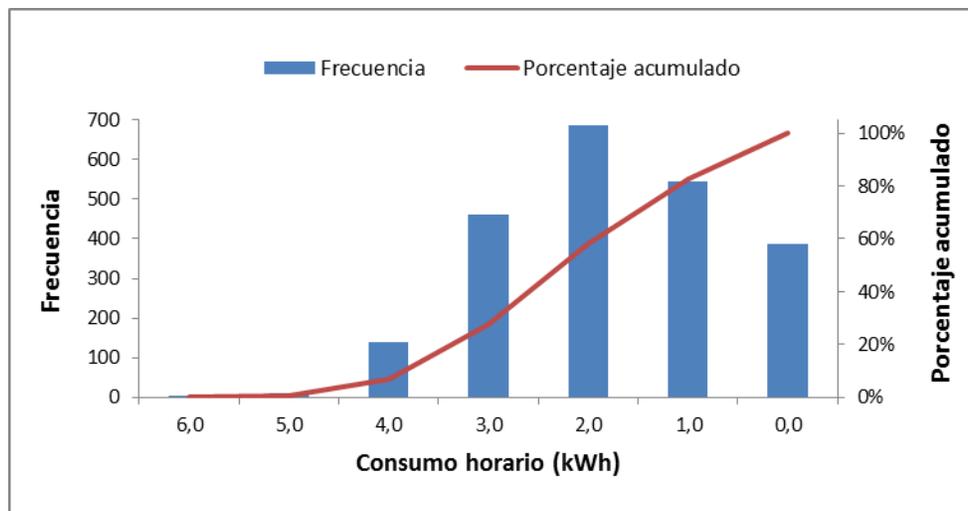
**Figura A.18: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia

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 existe 1 valor (0,04%) que sobrepasa los 6,00 kW y sólo 151 valores (6,8%) que sobrepasan los 4,00 kW, de un total de 2.232 horas de calefacción al año. Al considerar una potencia de calefacción de 3,79 kW por vivienda, la temperatura interior de ésta será levemente inferior a los 21°C durante 223 horas al año, lo que equivale a un 10,0% de las horas totales de calefacción.

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 6,0$	1	1	0,0%
$5,0 < c \leq 6,0$	10	11	0,5%
$4,0 < c \leq 5,0$	140	151	6,8%
$3,0 < c \leq 4,0$	460	611	27,4%
$2,0 < c \leq 3,0$	688	1.299	58,2%
$1,0 < c \leq 2,0$	545	1.844	82,6%
$c \leq 1,0$	388	2.232	100,0%

**Tabla A.13: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Condominio Bellavista**

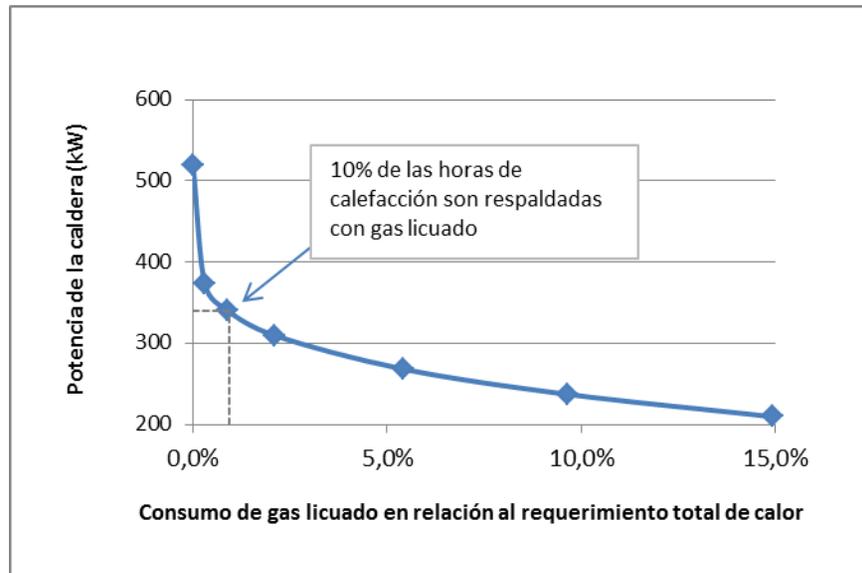


**Figura A.19: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia

Una buena opción es ocupar la caldera de respaldo a gas licuado durante esas 223 horas al año en que se requieren más de 3,79 kW de carga de calefacción por vivienda. Esto permitiría reducir la potencia de la caldera a biomasa en 118 kW.

Utilizar gas licuado como respaldo en más de un 10% de las horas de calefacción anuales, permitiría una disminución aún mayor de la potencia de la caldera a biomasa, pero el impacto es mucho menos significativo, tal como se puede ver en la figura A.20.



**Figura A.20: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 1, Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia

Horas de calefacción al año cubiertas sólo con biomasa	Consumo de gas licuado en relación al requerimiento total de calor	Potencia nominal de la caldera a biomasa (kW)	Potencia de la caldera a biomasa en relación a la potencia total de diseño
100%	0,0%	520	100%
98%	0,3%	373	72%
90%	0,9%	340	65%
80%	2,1%	310	60%
70%	5,4%	269	52%
60%	9,6%	237	46%
50%	14,9%	210	40%

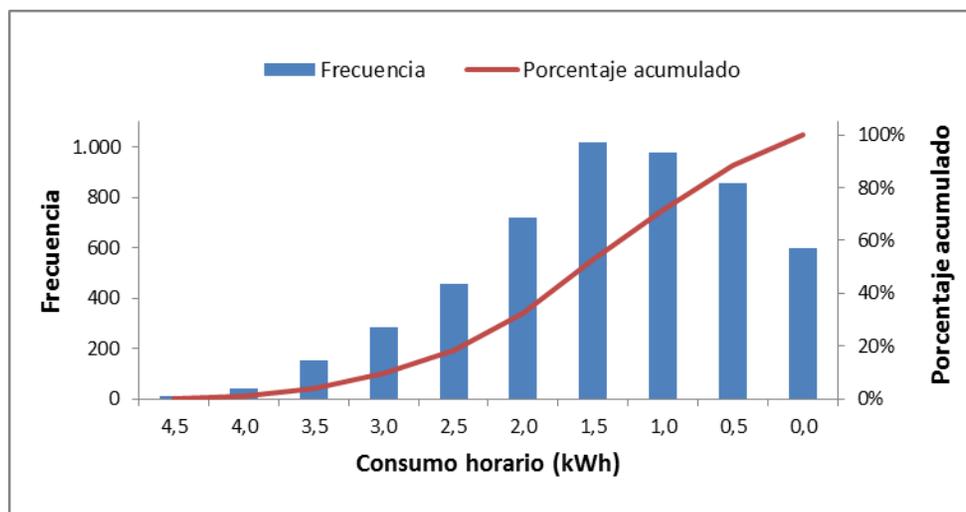
**Tabla A.14: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia

Para el escenario 2, las conclusiones son similares. Existen 55 valores que sobrepasan los 4,00 kW, de un total de 5.116 horas de calefacción al año. Si se considera una potencia de calefacción de 2,98 kW por vivienda, la temperatura interior de ésta será levemente inferior a los 21°C durante 512 horas al año, lo que equivale a un 10,00% de las horas totales de calefacción.

Consumo (kWh)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Porcentaje acumulado
$c > 4,5$	13	13	0,3%
$4,0 < c \leq 4,5$	42	55	1,1%
$3,5 < c \leq 4,0$	155	210	4,1%
$3,0 < c \leq 3,5$	282	492	9,6%
$2,5 < c \leq 3,0$	458	950	18,6%
$2,0 < c \leq 2,5$	720	1.670	32,6%
$1,5 < c \leq 2,0$	1.017	2.687	52,5%
$1,0 < c \leq 1,5$	976	3.663	71,6%
$0,5 < c \leq 1,0$	856	4.519	88,3%
$c \leq 0,5$	597	5.116	100,0%

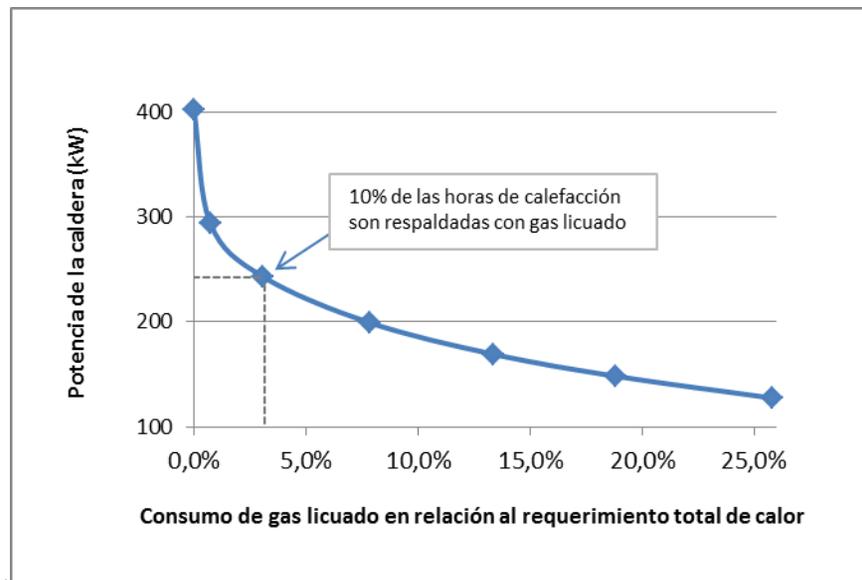
**Tabla A.15: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Condominio Bellavista**  
 Fuente: elaboración propia



**Figura A.21: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Condominio Bellavista**  
 Fuente: elaboración propia

Ocupar la caldera de respaldo a gas licuado durante esas 512 horas al año en que se requieren más de 2,98 kW de carga de calefacción por vivienda, permitiría reducir la potencia de la caldera a biomasa en 89 kW.

Utilizar gas licuado como respaldo en más de un 10% de las horas de calefacción anuales, permitiría una disminución aún mayor de la potencia de la caldera a biomasa, aunque el impacto es menos significativo, tal como se puede ver en la figura A.22.



**Figura A.22: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 2, Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia

Horas de calefacción al año cubiertas sólo con biomasa	Consumo de gas licuado en relación al requerimiento total de calor	Potencia nominal de la caldera a biomasa (kW)	Potencia de la caldera a biomasa en relación a la potencia total de diseño
100%	0,0%	402	100%
98%	0,7%	294	73%
90%	3,1%	243	60%
80%	7,8%	199	50%
70%	13,4%	169	42%
60%	18,8%	148	37%
50%	25,8%	128	32%

**Tabla A.16: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia

## ANEXO B

### CONSUMO DE COMBUSTIBLES EN DISTINTOS ESCENARIOS DE CALEFACCIÓN

En la tabla B.1, 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/m<sup>3</sup>. Para el cálculo del volumen de gas licuado, se consideró un PCI de 11.040 kcal/kg (PCS = 12.000 kcal/kg).

			Conjunto Las Palmas	Conjunto Reina Luisa	Condominio Bellavista
<b>Escenario 1</b>	Consumo térmico	(kWh/año)	3.445.998	2.307.139	551.284
		(kWh/año)	3.445.998	2.307.139	551.284
	Consumo biomasa	(ton/año b.s.)	674	451	108
		(m3/año b.h.)	4.490	3.006	718
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	0	0	0
(kg/año)		0	0	0	
<b>Escenario 2</b>	Consumo térmico	(kWh/año)	5.003.271	3.247.367	829.407
		(kWh/año)	5.003.271	3.247.367	829.407
	Consumo biomasa	(ton/año b.s.)	978	635	162
		(m3/año b.h.)	6.519	4.231	1.081
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	0	0	0
(kg/año)		0	0	0	
<b>Escenario 1.1</b>	Consumo térmico	(kWh/año)	3.445.998	2.307.139	551.284
		(kWh/año)	3.385.602	2.229.314	539.750
	Consumo biomasa	(ton/año b.s.)	662	436	105
		(m3/año b.h.)	4.412	2.905	703
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	60.396	77.825	11.534
(kg/año)		4.705	6.062	898	
<b>Escenario 1.2</b>	Consumo térmico	(kWh/año)	3.445.998	2.307.139	551.284
		(kWh/año)	3.406.555	2.276.802	547.620
	Consumo biomasa	(ton/año b.s.)	666	445	107
		(m3/año b.h.)	4.439	2.967	714
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	39.443	30.337	3.664
(kg/año)		3.073	2.363	285	
<b>Escenario 2.1</b>	Consumo térmico	(kWh/año)	5.003.271	3.247.367	829.407
		(kWh/año)	4.847.212	3.215.439	810.477
	Consumo biomasa	(ton/año b.s.)	947	628	158
		(m3/año b.h.)	6.316	4.190	1.056
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	156.059	31.928	18.930
(kg/año)		12.157	2.487	1.475	
<b>Escenario 2.2</b>	Consumo térmico	(kWh/año)	5.003.271	3.247.367	829.407
		(kWh/año)	4.949.138	3.239.787	824.539
	Consumo biomasa	(ton/año b.s.)	967	633	161
		(m3/año b.h.)	6.449	4.222	1.074
	Consumo gas licuado	(kWh/año)	54.133	7.580	4.868
(kg/año)		4.217	590	379	

**Tabla B.1: Consumo de combustible por proyecto y en cada escenario evaluado**

Fuente: elaboración propia

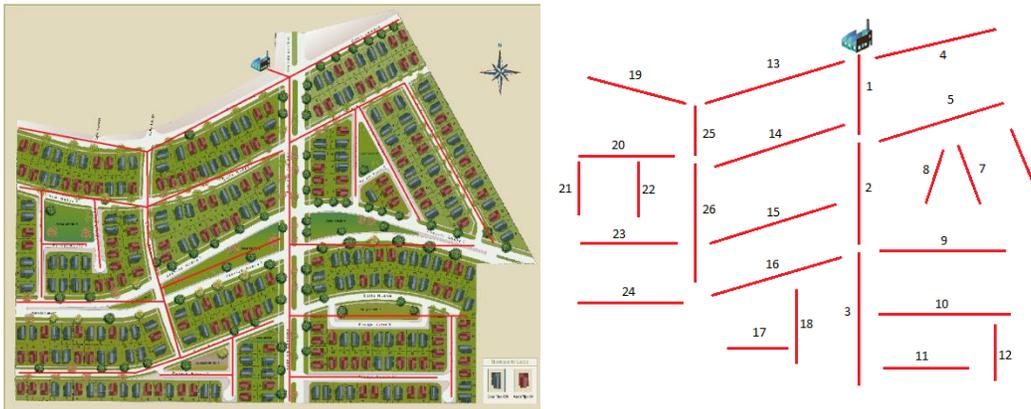
## ANEXO C

### DISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE CALOR

#### Conjunto Las Palmas

El trazado de la red de tuberías se realiza siguiendo las vías de acceso vehicular. La figura C.1 muestra un diagrama que representa dicha distribución.

La red se divide en 26 tramos, distribuidos según se muestra en la figura C.1. En la tabla C.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 (línea de ida + línea de retorno) es de 8.710 m.



**Figura C.1: Trazado red de tuberías, proyecto Conjunto Las Palmas**

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	586	23,83	123,2	125	40	17,17	104,6	125	40
2	340	10,38	81,3	100	40	7,48	69,0	80	30
3	358	4,38	52,8	65	30	3,16	44,8	50	30
4	376	0,69	21,0	25	20	0,50	17,8	20	20
5	430	4,84	55,5	65	30	3,49	47,1	50	30
6	388	2,08	36,4	40	30	1,50	30,9	32	20
7	388	1,08	26,2	32	20	0,78	22,2	25	20
8	418	0,92	24,2	25	20	0,66	20,6	25	20
9	472	1,15	27,1	32	20	0,83	23,0	25	20
10	484	2,69	41,4	50	30	1,94	35,1	40	30
11	436	1,69	32,8	40	30	1,22	27,9	32	20
12	526	0,85	23,2	25	20	0,61	19,7	20	20
13	245	12,76	90,1	100	40	9,19	76,5	80	30
14	245	1,69	32,8	40	30	1,22	27,9	32	20
15	246	1,54	31,3	32	20	1,11	26,6	32	20
16	247	2,00	35,7	40	30	1,44	30,3	32	20
17	248	0,54	18,5	20	20	0,39	15,7	20	20
18	249	1,31	28,8	32	20	0,94	24,5	25	20
19	250	0,77	22,1	25	20	0,55	18,8	20	20
20	251	2,08	36,4	40	30	1,50	30,9	32	20
21	252	0,54	18,5	20	20	0,39	15,7	20	20
22	253	0,69	21,0	25	20	0,50	17,8	20	20
23	254	1,92	35,0	40	30	1,38	29,7	32	20
24	255	1,85	34,3	40	30	1,33	29,1	32	20
25	256	11,07	84,0	100	40	7,98	71,3	80	30
26	257	7,30	68,2	80	30	5,26	57,9	65	30
<b>Total</b>	<b>8.710</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla C.1: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

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:

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

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.

Para calcular las pérdidas de calor en las tuberías de este proyecto, se utiliza la expresión indicada anteriormente 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.

Las pérdidas totales en la red son de 138.984 kcal/h, lo que equivale a una reducción de 162 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 18,6 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 <sub>s1</sub> (°C)	t <sub>s2</sub> (°C)	t <sub>a</sub> (°C)	Q <sub>1</sub> (kcal/h)	Q <sub>2</sub> (kcal/h)	Q <sub>T</sub> (kcal/h)
1	586	125	40	205	0,042	85	45	18	10.484	4.225	14.709
2	340	100	40	180	0,042	85	45	18	5.119	2.063	7.182
3	358	65	30	125	0,042	85	45	18	4.845	1.953	6.798
4	376	25	20	65	0,042	85	45	18	3.483	1.403	4.886
5	430	65	30	125	0,042	85	45	18	5.820	2.345	8.165
6	388	40	30	100	0,042	85	45	18	3.748	1.510	5.258
7	388	32	20	72	0,042	85	45	18	4.235	1.706	5.941
8	418	25	20	65	0,042	85	45	18	3.872	1.560	5.432
9	472	32	20	72	0,042	85	45	18	5.151	2.076	7.227
10	484	50	30	110	0,042	85	45	18	5.433	2.189	7.622
11	436	40	30	100	0,042	85	45	18	4.211	1.697	5.908
12	526	25	20	65	0,042	85	45	18	4.872	1.963	6.835
13	245	100	40	180	0,042	85	45	18	3.689	1.487	5.176
14	245	40	30	100	0,042	85	45	18	2.366	954	3.320
15	246	32	20	72	0,042	85	45	18	2.685	1.082	3.767
16	247	40	30	100	0,042	85	45	18	2.386	961	3.347
17	248	20	20	60	0,042	85	45	18	1.998	805	2.803
18	249	32	20	72	0,042	85	45	18	2.718	1.095	3.813
19	250	25	20	65	0,042	85	45	18	2.316	933	3.249
20	251	40	30	100	0,042	85	45	18	2.424	977	3.401
21	252	20	20	60	0,042	85	45	18	2.030	818	2.848
22	253	25	20	65	0,042	85	45	18	2.343	944	3.288
23	254	40	30	100	0,042	85	45	18	2.453	989	3.442
24	255	40	30	100	0,042	85	45	18	2.463	993	3.456
25	256	100	40	180	0,042	85	45	18	3.855	1.553	5.408
26	257	80	30	140	0,042	85	45	18	4.064	1.638	5.702
<b>Total</b>	<b>8.710</b>								<b>99.063</b>	<b>39.921</b>	<b>138.984</b>

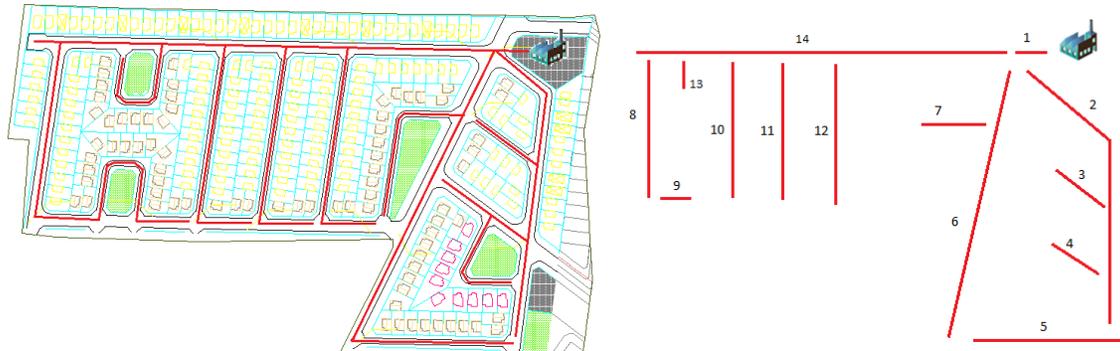
**Tabla C.2: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Conjunto Las Palmas**

Fuente: elaboración propia

### Conjunto Reina Luisa

El trazado de la red de tuberías se realiza siguiendo las vías de acceso vehicular. La figura C.2 muestra un diagrama que representa dicha distribución.

La red se divide en 14 tramos, distribuidos según se muestra en la figura C.2. En la tabla C.3 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 (línea de ida + línea de retorno) es de 3.123 m.



**Figura C.2: Trazado red de tuberías, proyecto Conjunto Reina Luisa**

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	359	12,39	88,8	100	40	9,50	77,8	80	30
2	15	2,07	36,3	40	30	1,59	31,8	32	20
3	246	0,61	19,7	20	20	0,47	17,2	20	20
4	246	0,86	23,4	25	20	0,66	20,5	25	20
5	15	0,51	17,9	20	20	0,39	15,7	20	20
6	246	1,67	32,6	40	30	1,28	28,5	32	20
7	246	0,71	21,2	25	20	0,54	18,6	20	20
8	247	1,72	33,1	40	30	1,32	29,0	32	20
9	248	0,76	22,0	25	20	0,58	19,2	20	20
10	249	1,47	30,6	32	20	1,12	26,8	32	20
11	250	1,31	28,9	32	20	1,01	25,3	32	20
12	251	1,21	27,8	32	20	0,93	24,3	25	20
13	252	0,71	21,2	25	20	0,54	18,6	20	20
14	253	8,65	74,2	80	30	6,63	65,0	65	30
<b>Total</b>	<b>3.123</b>	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla C.3: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Conjunto Reina Luisa**

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 <sub>s1</sub> (°C)	t <sub>s2</sub> (°C)	t <sub>a</sub> (°C)	Q <sub>1</sub> (kcal/h)	Q <sub>2</sub> (kcal/h)	Q <sub>T</sub> (kcal/h)
1	359	100	40	180	0,042	85	45	18	5.406	2.178	7.584
2	15	40	30	100	0,042	85	45	18	145	58	203
3	246	20	20	60	0,042	85	45	18	1.982	799	2.780
4	246	25	20	65	0,042	85	45	18	2.279	918	3.197
5	15	20	20	60	0,042	85	45	18	121	49	170
6	246	40	30	100	0,042	85	45	18	2.376	958	3.334
7	246	25	20	65	0,042	85	45	18	2.279	918	3.197
8	247	40	30	100	0,042	85	45	18	2.386	961	3.347
9	248	25	20	65	0,042	85	45	18	2.297	926	3.223
10	249	32	20	72	0,042	85	45	18	2.718	1.095	3.813
11	250	32	20	72	0,042	85	45	18	2.728	1.100	3.828
12	251	32	20	72	0,042	85	45	18	2.739	1.104	3.843
13	252	25	20	65	0,042	85	45	18	2.334	941	3.275
14	253	80	30	140	0,042	85	45	18	4.001	1.612	5.614
<b>Total</b>	<b>3.123</b>								<b>33.790</b>	<b>13.617</b>	<b>47.407</b>

**Tabla C.4: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Conjunto Reina Luisa**

Fuente: elaboración propia

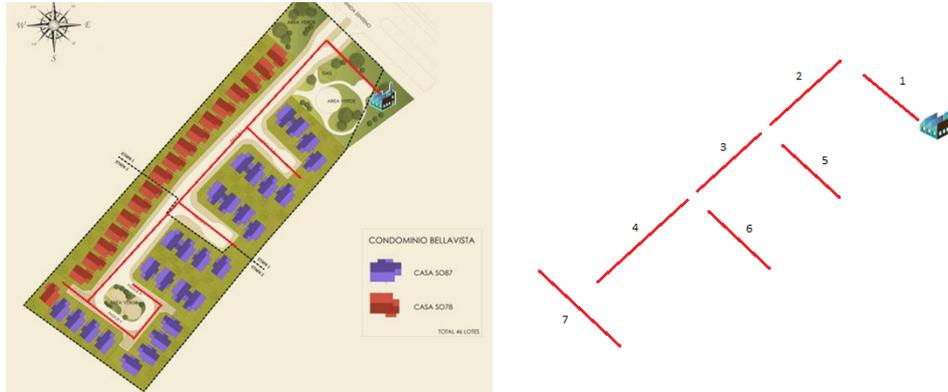
Las pérdidas totales en la red son de 47.407 kcal/h, lo que equivale a una reducción de 55 kW en la eficiencia térmica de la planta. En términos unitarios, las pérdidas de calor por unidad de longitud en la red de distribución de este proyecto son de 17,7 W/m.

### Condominio Bellavista

El trazado de la red de tuberías se realiza siguiendo las vías de acceso vehicular. La figura C.3 muestra un diagrama que representa dicha distribución.

La red primaria se divide en 7 tramos, distribuidos según se muestra en la figura C.3. En la tabla C.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 primaria es de 1.105 m.

Las pérdidas totales en la red son de 21.847 kcal/h, lo que equivale a una reducción de 25 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 23,0 W/m.



**Figura C.3: Trazado red de tuberías, proyecto Condominio Bellavista**

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	78	0	0	3,25	45,5	50	30	0	3,25	45,5	50	30
2	145	5	59	3,25	45,5	50	30	59	3,25	45,5	50	30
3	123	5	59	2,33	38,5	40	30	59	2,33	38,5	40	30
4	212	7	83	1,41	30,0	32	20	83	1,41	30,0	32	20
5	227	8	95	0,56	19,0	20	20	95	0,56	19,0	20	20
6	145	8	95	0,56	19,0	20	20	95	0,56	19,0	20	20
7	175	13	154	0,92	24,2	25	20	154	0,92	24,2	25	20
<b>Total</b>	<b>1.105</b>	<b>46</b>	<b>546</b>					<b>426</b>				

**Tabla C.5: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia

Tramo	L (m)	DN (mm)	E (mm)	DA (mm)	K ( $\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ )	$t_{s1}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_{s2}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$t_a$ ( $^\circ\text{C}$ )	$Q_1$ (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
<b>Total</b>	<b>1.105</b>								<b>15.572</b>	<b>6.275</b>	<b>21.847</b>

**Tabla C.6: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Condominio Bellavista**

Fuente: elaboración propia

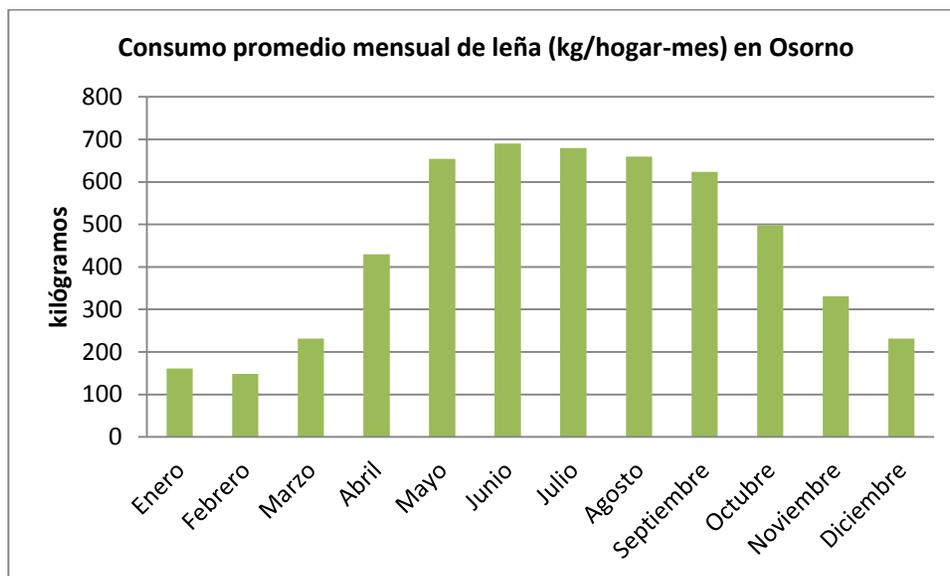
## ANEXO D

### ESTIMACIÓN DEL GASTO PROMEDIO EN CALEFACCIÓN Y AGUA CALIENTE SANITARIA EN UN HOGAR DE OSORNO

Para estimar el consumo de leña de los hogares de la ciudad de Osorno que utilizan este combustible para calefacción, se realizó una encuesta, cuyo tamaño muestral se definió considerando la información de consumo de leña en la comuna de Osorno obtenida con datos de la encuesta CASEN del año 2006 (es el único año en el cual esta encuesta consultó por consumo de leña). El valor promedio de consumo, según la encuesta Casen 2006, fue de 5.398 kg/hogar-año, con una desviación estándar de 4.007 kg/hogar-año, mientras que el número de hogares en Osorno que utilizan leña estaba compuesto por 33.063 hogares. Con estos antecedentes, se estimó, con un 95% de confianza y un 11% de error, que el tamaño muestral debía ser de 174 hogares.

Se realizó un trabajo de campo entre los meses de octubre y noviembre de 2012 para levantar la información de los hogares, se llegó a un total de 177 hogares encuestados y validados, para hacer los análisis sobre comportamiento de la compra y uso de la leña, la caracterización de las condiciones socioeconómicas de los hogares y las condiciones de materialidad de las viviendas de Osorno.

Considerando solamente los hogares que consumen leña, se determinó un consumo promedio de 5.218 kg/hogar-año en Osorno. Sin embargo, esta cifra es sensible a valores extremos, por lo que se sugiere considerar también la mediana (percentil 50) del consumo de leña por hogar, lo que arroja un valor de 4.344 kg/hogar-año. El promedio encontrado es muy similar al que se calculó en la Encuesta CASEN 2006, aunque ahora es posible estimar patrones de consumo y uso que no hubiesen podido generarse con los datos de la encuesta CASEN.



**Figura D.1: Consumo promedio mensual de leña (kg/hogar-mes) en Osorno**

Fuente: elaboración propia

El precio de la leña es muy variable, y depende principalmente del contenido de humedad (a mayor humedad, menor poder calorífico y más contaminante) y grado de certificación. A partir del levantamiento de información, se obtuvo el precio promedio para leña de distintas especies: \$20.701/m<sup>3</sup> de hualle, \$20.241/m<sup>3</sup> de eucaliptus y \$20.500/m<sup>3</sup> para otras especies nativas. Se puede concluir que los precios son muy similares, independientemente de la especie de leña comercializada. El precio por kilogramo oscila entre los \$55 y \$57. Donde sí hay una diferencia es cuando la leña cumple con el estándar del Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL). Se contactó a proveedores de leña certificada de eucaliptus, quienes informaron precios del metro cúbico estéreo entre los \$26.000 y \$29.000, lo cual representaría un valor aproximado de \$70/kg. Al considerar un poder calorífico de 2,78 kWh/kg (2.390 kcal/kg), el valor del kWh es cercano a los \$20 - \$25.

### Otras conclusiones

Una de las principales fuentes de contaminación en la ciudad de Osorno proviene de la combustión residencial de leña. De ahí la importancia de contar con información relevante del mercado de la leña. Para entender los patrones de consumo de leña en esta ciudad, se requiere conocer los hábitos de compra, tipos de equipo, tipo de especie, humedad de la leña, entre otras variables de interés. En este contexto, se desarrolla una campaña de

terreno, para recoger aspectos de la demanda de leña de la cual se desprenden las siguientes conclusiones.

A partir de los consumos de la encuesta CASEN 2006, se generó un muestreo probabilístico, con un tamaño muestral de 177 hogares encuestados (para un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 11%). Considerando solamente los hogares que consumen leña, se determinó un consumo promedio por hogar de 5.218,3 kg/hogar-año. Este consumo de leña está bastante arraigado en la población, considerando que, en promedio, llevan 25,3 años utilizando este energético para calefacción y/o cocina.

Los motivos por los cuales los hogares utilizan leña como energético, radica, principalmente, porque es considerado más económico y existe una sensación de que la leña calienta más. La unidad de compra predominante en Osorno corresponde al metro cúbico a granel ( $m^3$  estéreo), donde las especies arbóreas más utilizadas corresponderían al hualle y al eucalipto, aunque también se aprecia una utilización porcentualmente baja de especies nativas. Un 98,8% de los hogares encuestados señala que compra en su totalidad la leña que utiliza, mientras que un 1,2% de la leña utilizada en los hogares es parcialmente regalada.

El estudio muestra que la mayoría de los hogares que compra leña, adquieren este insumo, principalmente, a través de transportistas y vendedores ambulantes, teniendo una participación mucho menor el comerciante establecido o productor. Por otro lado, la informalidad de la venta de leña en términos de entrega de boletas o recibos de la venta es algo que se repite a lo largo del país, por lo que no sorprende que un 91% de los hogares encuestados señalaron que nunca reciben una factura o boleta por la compra de leña.

La forma más recurrente para adquirir la leña en los hogares entrevistados, corresponde a camiones largos, lo que refleja que, mayoritariamente, los hogares estarían adquiriendo grandes volúmenes de leña ( $9 m^3$ /hogar-año). La intensidad del consumo de leña en el año ocurre principalmente en los meses fríos, siendo los meses de mayo a septiembre los que en promedio registran el mayor consumo de leña en los hogares. También existe un consumo importante en los meses de abril y octubre de cada año, observándose además que en la temporada de primavera-verano también se consume leña, en un poco menos de un tercio del consumo registrado en los meses de invierno. Esto evidencia el uso de cocinas de leña para la preparación de alimentos, situación que coincide con que el principal equipo a leña utilizado en la ciudad de Osorno es la cocina de fierro (56,1%), seguida por la estufa de combustión lenta de doble cámara (26,9%), y la estufa de combustión lenta de cámara simple (13,0%). La antigüedad promedio de estos equipos es de 12,4 años, indicando un grado de obsolescencia de la tecnología de los equipos de combustión, en cuanto a la eficiencia y a la tasa de emisión de contaminantes del aire. Al analizar la tenencia de equipos por nivel socioeconómico del hogar, se determinó que,

proporcionalmente, es mayor el uso de cocinas a fierro en los hogares pertenecientes al quintil de ingreso más bajo, mientras que en el quintil de mayor ingreso se aprecia una mayor proporción de cocinas de fierro y de artefactos a combustión lenta de doble cámara.

En relación a la percepción sobre el contenido de humedad de la leña, el 27,7% de los hogares declara que la que adquiere se encuentra seca, un 57,1% semi-húmeda y sólo un 15,3% argumenta que la leña se encontraba húmeda. Se contrastó esta percepción con mediciones objetivas de humedad y se determinó que los hogares son capaces de identificar la leña seca, pero confunden la leña húmeda con la semi-húmeda. Al consultar por la preferencia de humedad de la leña, el 67,6% de los hogares entrevistados declaró que prefiere la leña seca, un 29,5% prefiere la leña semi-húmeda, un 1,1% prefiere leña húmeda, mientras el resto no tiene preferencias sobre el contenido de humedad de la leña. Esta respuesta refleja que los consumidores, aun cuando no prefieren leña húmeda, la compran porque no son capaces de distinguirla en el mercado. Se determinó en el estudio que la mediana del gasto mensual de leña por hogar en la temporada de frío es \$30.000/mes, mientras que en la temporada de calor es de \$14.642/mes.

Se consultó, además, la disposición de los hogares encuestados para cambiar su equipo de calefacción por un sistema de calefacción comunitaria (distrital), bajo distintos escenarios de precios, temperatura y metros cuadrados a calefaccionar. Se pudo determinar que la mitad de los hogares estaría dispuestos a cambiarse a un sistema de calefacción centralizado, pero mayoritariamente cuando los costos mensuales de la calefacción distrital sean en el orden de los \$20.000/mes. Es posible inferir, por lo tanto, que, sin subsidio a este sistema de calefacción, claramente no habría posibilidad de generar el cambio en los hogares.

## Índice de tablas

Tabla 3.1: Temperaturas mínimas mensuales en el periodo 2008-2012.....	7
Tabla 4.1: Comparación regional de la superficie forestal.....	10
Tabla 4.2: Distribución de la cobertura boscosa por provincias .....	11
Tabla 4.3: Balance de la superficie en uso de suelo de la Provincia de Osorno, período 1998-2006.....	12
Tabla 4.4: Superficie forestada y reforestada, por tipo de propietario y año .....	15
Tabla 4.5: Desglose de plantaciones forestales por provincia, año 2007 .....	16
Tabla 4.6: Composición de las plantaciones forestales.....	17
Tabla 4.7: Síntesis de las características de los aserraderos en la Provincia de Osorno.....	19
Tabla 4.8: Centrales de astillado en funcionamiento (2011) .....	21
Tabla 4.9: Planes de manejo aprobados por CONAF en la Región de Los Lagos .....	24
Tabla 4.10: Planes de manejo aprobados por CONAF en la Provincia de Osorno, Región de Los Lagos.....	24
Tabla 4.11: Cantidad de aserraderos de bosque nativo según tipo de aserradero y capacidades, Provincia de Osorno.....	25
Tabla 4.12: Listado de aserraderos de bosque nativo en la Provincia de Osorno .....	25
Tabla 4.13: Fuentes de biomasa identificadas para el Escenario 1.....	26
Tabla 4.14: Características de biomasa identificada en Rancagua .....	27
Tabla 4.15: Costos logísticos de la cosecha forestal .....	28
Tabla 4.16: Costos logísticos del procesamiento de residuos de cosecha forestal .....	29
Tabla 4.17: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 1 (b.h.).....	30
Tabla 4.18: Fuentes de biomasa identificadas para el escenario 2.....	31
Tabla 4.19: Características de biomasa identificada en Osorno .....	32
Tabla 4.20: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 2 .....	32
Tabla 5.1: Especificaciones técnicas de la caldera de Madesur Ltda.....	46
Tabla 5.2: Modelos de vivienda Conjunto Las Palmas .....	47
Tabla 5.3: Modelos de vivienda Conjunto Reina Luisa.....	49

Tabla 5.4: Modelos de vivienda Condominio Bellavista.....	51
Tabla 6.1: Rol de los participantes de un proyecto residencial .....	60
Tabla 6.2: Alternativas de financiamiento del sistema DH/CHP .....	61
Tabla 6.3: Modelo de negocio para los proyectos residenciales seleccionados.....	64
Tabla 6.4: Modelo de negocio para el proyecto mixto seleccionado .....	65
Tabla 7.1: Modelos de comportamiento humano en consumo de calefacción.....	68
Tabla 7.2: Consumos referenciales de ACS .....	70
Tabla 7.3: Consumo anual en calefacción y potencia de generación .....	72
Tabla 7.4: Consumo térmico y potencia de generación en ACS por proyecto.....	74
Tabla 7.5: Consumo (kWh) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto.....	75
Tabla 7.6: Consumo (kWh) en calefacción y ACS para escenario 2, por proyecto.....	75
Tabla 7.7: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto .....	76
Tabla 7.8: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto .....	76
Tabla 7.9: Consumo de electricidad de Madexpo.....	79
Tabla 7.10: Consumo de electricidad de Madesur.....	80
Tabla 7.11: Consumo de energía térmica del proyecto mixto (245 viviendas).....	82
Tabla 7.12: Consumo de energía térmica del proyecto mixto (1300 viviendas).....	83
Tabla 7.13: Potencia de energía térmica del proyecto mixto (245 viviendas).....	84
Tabla 7.14: Potencia de energía térmica del proyecto mixto (1300 viviendas).....	85
Tabla 7.15: Consumo eléctrico del proyecto mixto .....	86
Tabla 7.16: Potencia eléctrica del proyecto mixto.....	87
Tabla 8.1: Potencia de central térmica (kW), Conjunto Las Palmas.....	91
Tabla 8.2: Potencia de central térmica (kW), Conjunto Reina Luisa .....	91
Tabla 8.3: Potencia de central térmica (kW), Condominio Bellavista .....	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: Parámetros de operación de la planta CHP del proyecto mixto .....	94
Tabla 8.7: Parámetros de operación de la caldera de agua caliente del proyecto mixto.....	95
Tabla 8.8: Parámetros de operación de toda la planta térmica del proyecto mixto .....	95

Tabla 9.1: Características de los equipos de combustión cotizados .....	97
Tabla 9.2: Resumen de inversión en central térmica, proyectos residenciales, millones de pesos.....	97
Tabla 9.3: Resumen de inversión en red de distribución de calor, proyectos residenciales .....	98
Tabla 9.4: Resumen de inversión en distribución en viviendas, proyectos residenciales .....	99
Tabla 9.5: Resumen de inversión inicial, proyectos residenciales, millones de pesos .....	100
Tabla 9.6: Costos de operación, proyectos residenciales, millones de pesos.....	101
Tabla 9.7: Esquema de depreciación de activos, proyectos residenciales .....	102
Tabla 9.8: Costos anualizados de inversión y operación por vivienda, pesos chilenos .....	103
Tabla 9.9: Costo actual neto por vivienda, pesos chilenos .....	104
Tabla 9.10: Estructura de costos por vivienda .....	104
Tabla 9.11: Composición de la tarifa de los proyectos residenciales.....	105
Tabla 9.12: Composición de la tarifa de los proyectos residenciales, con cofinanciamiento público .....	107
Tabla 9.13: Gasto promedio anual en calefacción, ACS y cocina de una familia tipo en Osorno ...	108
Tabla 9.14: Rentabilidad privada de los proyectos, con cofinanciamiento público, miles de pesos chilenos .....	108
Tabla 9.15: Beneficios en salud por la implementación de un plan de calefacción distrital, millones de pesos chilenos.....	109
Tabla 9.16: Costos de inversión planta eléctrica proyecto mixto .....	111
Tabla 9.17: Costos de inversión planta térmica proyecto mixto .....	111
Tabla 9.18: Composición de la tarifa de electricidad cogenerada, calor industrial y calor residencial.....	112
Tabla 9.19: Costos de generación eléctrica proyecto mixto .....	114
Tabla 9.20: Costos de generación térmica proyecto mixto .....	115
Tabla A.1: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas .....	121
Tabla A.2: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas .....	123
Tabla A.3: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas .....	124

Tabla A.4: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas .....	125
Tabla A.5: Escenarios de calefacción con depósitos de inercia bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas .....	126
Tabla A.6: Consumo biomasa-gas según volumen de inercia y potencia de la caldera bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas .....	128
Tabla A.7: Escenarios de calefacción con depósitos de inercia bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas .....	129
Tabla A.8: Consumo biomasa-gas según volumen de inercia y potencia de la caldera bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas .....	131
Tabla A.9: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa.....	133
Tabla A.10: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa.....	135
Tabla A.11: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa.....	135
Tabla A.12: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa.....	137
Tabla A.13: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Condominio Bellavista.....	139
Tabla A.14: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Condominio Bellavista.....	141
Tabla A.15: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Condominio Bellavista.....	142
Tabla A.16: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Condominio Bellavista.....	144
Tabla B.1: Consumo de combustible por proyecto y en cada escenario evaluado .....	146
Tabla C.1: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Conjunto Las Palmas .....	148
Tabla C.2: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Conjunto Las Palmas.....	150
Tabla C.3: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Conjunto Reina Luisa .....	151
Tabla C.4: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Conjunto Reina Luisa .....	152
Tabla C.5: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Condominio Bellavista .....	153
Tabla C.6: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Condominio Bellavista .....	153

## Índice de figuras

Figura 3.1: Distribución de la población.....	5
Figura 3.2: Uso actual del suelo en la Región de Los Lagos .....	6
Figura 3.3: Temperaturas mínimas y promedio del año 2012 .....	7
Figura 3.4: Combustible para calefacción en la Provincia de Osorno y en la Comuna de Osorno .....	8
Figura 3.5: Consumo eléctrico por sector en el período 2007-2010.....	9
Figura 4.1: Estimación de la superficie cubierta por bosques en la Región de Los Lagos.....	13
Figura 4.2: Plantaciones anuales en la Región Los Lagos (forestación y reforestación) .....	13
Figura 4.3: Superficie anual de bosques plantados.....	14
Figura 4.4: Propiedad de las plantaciones forestales.....	14
Figura 4.5: Comunas de la provincia de Osorno con mayor superficie de plantaciones forestales, año 2007 .....	16
Figura 4.6: Distribución de las plantaciones forestales por distrito.....	17
Figura 4.7: Localización de los aserradores en la ciudad de Osorno .....	19
Figura 4.8: Composición del bosque nativo de la Región de Los Lagos .....	22
Figura 4.9: Composición del bosque nativo de la Provincia de Osorno .....	23
Figura 4.10: Proceso logístico de la biomasa .....	28
Figura 4.11: Proceso logístico de la biomasa .....	29
Figura 5.1: Mapa de ubicación de calderas registradas en Osorno, por potencia nominal.....	35
Figura 5.2: Expansión residencial en la comuna de Osorno.....	36
Figura 5.3: Sector Francke.....	37
Figura 5.4: Sector Pilauco.....	38
Figura 5.5: Sector Trébol Sur .....	39
Figura 5.6: Sector Las Quemadas .....	40
Figura 5.7: Sector Ovejuna .....	41
Figura 5.8: Sector Rahue .....	42

Figura 5.9: Localización del proyecto mixto .....	44
Figura 5.10: Etapa N°1 del proyecto “Conjunto habitacional Reina Luisa” .....	47
Figura 5.11: Ubicación del Conjunto Las Palmas.....	48
Figura 5.12: Plano de loteo y representación visual del Conjunto Las Palmas .....	48
Figura 5.13: Ubicación del Conjunto Reina Luisa .....	49
Figura 5.14: Viviendas del Conjunto Reina Luisa.....	50
Figura 5.15: Ubicación del Condominio Bellavista .....	51
Figura 5.16: Viviendas del Condominio Bellavista .....	51
Figura 6.1: Cadena de valor de los servicios energéticos, modelos de negocio, productos típicos y mediciones .....	53
Figura 6.2: Participantes un sistema de calefacción distrital residencial.....	59
Figura 6.3: Modelo de negocio general para un proyecto de cogeneración .....	66
Figura 7.1: Consumo residencial en calefacción y ACS .....	77
Figura 7.2: Perfil de consumo de energía térmica del Conjunto Reina Luisa.....	81
Figura 7.3: Consumo de energía térmica del proyecto mixto.....	83
Figura 7.4: Potencia de energía térmica del proyecto mixto .....	85
Figura 7.5: Consumo eléctrico del proyecto mixto .....	86
Figura A.1: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Conjunto Las Palmas .....	120
Figura A.2: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Conjunto Las Palmas .....	121
Figura A.3: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas .....	122
Figura A.4: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo el escenario 1, Conjunto Las Palmas .....	123
Figura A.5: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas .....	124
Figura A.6: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo el escenario 2, Conjunto Las Palmas .....	125
Figura A.7: Horas de déficit de calefacción al año según nivel de operación de la caldera y volumen de inercia bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas .....	127

Figura A.8: Déficit máximo de calefacción según volumen de inercia y nivel de operación de la caldera bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas.....	127
Figura A.9: Horas de déficit de calefacción al año según nivel de operación de caldera y volumen de inercia bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas .....	129
Figura A.10: Déficit máximo de calefacción según volumen de inercia y nivel de operación de la caldera bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas.....	130
Figura A.11: Consumo horario máximo mensual en calefacción, Conjunto Reina Luisa .....	132
Figura A.12: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Conjunto Reina Luisa .....	132
Figura A.13: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa.....	133
Figura A.14: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa.....	134
Figura A.15: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa.....	136
Figura A.16: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa.....	137
Figura A.17: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Condominio Bellavista.....	138
Figura A.18: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Condominio Bellavista .....	138
Figura A.19: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Condominio Bellavista.....	139
Figura A.20: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 1, Condominio Bellavista.....	140
Figura A.21: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Condominio Bellavista.....	142
Figura A.22: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 2, Condominio Bellavista.....	143
Figura C.1: Trazado red de tuberías, proyecto Conjunto Las Palmas.....	147
Figura C.2: Trazado red de tuberías, proyecto Conjunto Reina Luisa .....	151
Figura C.3: Trazado red de tuberías, proyecto Condominio Bellavista .....	153
Figura D.1: Consumo promedio mensual de leña (kg/hogar-mes) en Osorno .....	155