



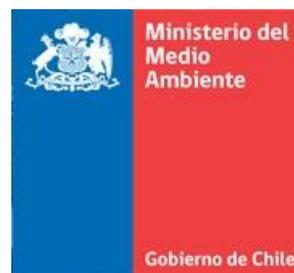
Evaluación de soluciones tecnológicas térmicas y eléctricas, marco regulatorio e instrumentos

Calefacción distrital con biomasa en Osorno **Evaluación técnica, económica y social**

Desarrollado por:



Para:



Abril de 2013

Tabla de Contenidos

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introducción..... | 7 |
| 2 | Antecedentes de la Región de Los Lagos | 8 |
| 2.1 | Población | 8 |
| 2.2 | Suelos y Vegetación | 9 |
| 2.3 | Clima | 10 |
| 2.4 | Consumo de Combustibles para Calefacción..... | 12 |
| 2.5 | Consumo eléctrico | 13 |
| 3 | Identificación y selección de proyectos | 15 |
| 3.1 | Metodología..... | 15 |
| 3.2 | Ubicación de sectores de análisis | 15 |
| 3.3 | Análisis de sectores | 19 |
| 3.3.1 | Sector del Barrio Franke..... | 19 |
| 3.3.2 | Sector Pilauco..... | 20 |
| 3.3.3 | Sector Trébol Sur..... | 21 |
| 3.3.4 | Sector Las Quemadas..... | 24 |
| 3.3.5 | Sector Ovejería..... | 25 |
| 3.3.6 | Sector Rahue | 27 |
| 3.3.7 | Selección de proyectos..... | 29 |
| 4 | Antecedentes de los proyectos | 31 |
| 4.1 | Proyecto mixto | 31 |
| 4.1.1 | Madexpo | 32 |
| 4.1.2 | Madesur Ltda. | 32 |
| 4.1.3 | Conjunto habitacional Reina Luisa..... | 33 |
| 4.2 | Conjunto Las Palmas..... | 34 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 4.3 | Conjunto Reina Luisa | 36 |
| 4.4 | Condominio Bellavista | 37 |
| 5 | Requerimientos térmicos | 40 |
| 5.1 | Metodología..... | 40 |
| 5.1.1 | Eficiencia térmica del sistema | 40 |
| 5.1.2 | Requerimiento de calefacción | 41 |
| 5.1.3 | Requerimiento de ACS | 43 |
| 5.1.4 | Potencia de generación..... | 45 |
| 5.2 | Resultados..... | 46 |
| 5.2.1 | Calefacción | 46 |
| 5.2.1.1 | Conjunto Las Palmas | 46 |
| 5.2.1.2 | Conjunto Reina Luisa..... | 58 |
| 5.2.1.3 | Condominio Bellavista | 65 |
| 5.2.1.4 | Resumen requerimientos calefacción proyectos residenciales..... | 70 |
| 5.2.2 | Agua caliente sanitaria | 71 |
| 5.3 | Resumen requerimientos térmicos proyectos residenciales..... | 73 |
| 5.3.1 | Escenario 1 | 73 |
| 5.3.2 | Escenario 2 | 76 |
| 5.4 | Requerimientos de combustibles de proyectos residenciales..... | 79 |
| 5.5 | Requerimientos energéticos proyecto mixto | 81 |
| 5.5.1 | Madexpo S.A. | 81 |
| 5.5.1.1 | Requerimientos actuales de energía térmica | 81 |
| 5.5.1.2 | Requerimientos actuales de electricidad..... | 82 |
| 5.5.2 | Madesur Ltda. | 82 |
| 5.5.2.1 | Requerimientos actuales de energía térmica | 82 |
| 5.5.2.2 | Requerimientos actuales de electricidad..... | 83 |
| 5.5.3 | Conjunto habitacional Reina Luisa | 84 |
| 5.5.3.1 | Consumo de energía térmica | 84 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.5.4 | Resumen de requerimientos energéticos del proyecto mixto | 85 |
| 5.5.4.1 | Consumo de energía térmica | 85 |
| 5.5.4.2 | Consumo de electricidad | 88 |
| 6 | Oferta de biomasa | 91 |
| 6.1 | Plantaciones forestales | 93 |
| 6.1.1 | Perspectiva provincial: Osorno | 96 |
| 6.1.2 | Fuentes de biomasa identificadas..... | 99 |
| 6.1.2.1 | Propietarios de plantaciones | 99 |
| 6.1.2.2 | Comercializadores de biomasa | 99 |
| 6.1.2.3 | Aserraderos forestales | 99 |
| 6.1.2.4 | Astilladores..... | 101 |
| 6.2 | Disponibilidad de biomasa del bosque nativo..... | 102 |
| 6.2.1 | Perspectiva regional..... | 102 |
| 6.2.2 | Perspectiva provincial: Osorno | 103 |
| 6.2.3 | Fuentes de biomasa identificadas..... | 104 |
| 6.2.3.1 | Comercializadores de leña | 104 |
| 6.2.3.2 | Propietarios de plantaciones | 104 |
| 6.2.3.3 | Aserraderos forestales:..... | 105 |
| 6.3 | Selección de escenarios logísticos | 106 |
| 6.3.1 | Escenario 1: Autogestión del abastecimiento..... | 107 |
| 6.3.1.1 | Origen de la biomasa | 107 |
| 6.3.1.2 | Características de la biomasa identificada..... | 108 |
| 6.3.1.3 | Costos logísticos | 108 |
| 6.3.2 | Escenario 2: Contrato a largo plazo con proveedores | 114 |
| 6.3.2.1 | Origen de biomasa | 114 |
| 6.3.2.2 | Características de la biomasa..... | 114 |
| 6.3.2.3 | Estimación de los costos logísticos | 115 |
| 6.4 | Comentarios finales | 116 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 7 | Infraestructura y tecnología..... | 117 |
| 7.1 | Estructura de los proyectos..... | 117 |
| 7.1.1 | Planta de generación..... | 117 |
| 7.1.2 | Red de distribución | 118 |
| 7.1.3 | Distribución al interior de las viviendas | 119 |
| 7.2 | Proyecto mixto | 121 |
| 7.3 | Conjunto Las Palmas..... | 123 |
| 7.3.1 | Planta de generación..... | 123 |
| 7.3.1.1 | Potencia de la central térmica | 123 |
| 7.3.1.2 | Ubicación y espacio..... | 123 |
| 7.3.2 | Red de distribución de calor | 123 |
| 7.3.3 | Distribución al interior de las viviendas | 126 |
| 7.4 | Conjunto residencial Reina Luisa | 126 |
| 7.4.1 | Planta de generación..... | 126 |
| 7.4.1.1 | Potencia de la central térmica | 126 |
| 7.4.2 | Red de distribución de calor | 127 |
| 7.4.3 | Distribución al interior de las viviendas | 129 |
| 7.5 | Condominio Bellavista | 129 |
| 7.5.1 | Planta de generación..... | 129 |
| 7.5.1.1 | Potencia de la central térmica | 129 |
| 7.5.2 | Red de distribución de calor | 130 |
| 7.5.2.1 | Red primaria..... | 130 |
| 7.5.3 | Distribución al interior de las viviendas | 131 |
| 8 | Organización y modelo de negocio | 133 |
| 8.1 | Modelo de negocio para proyectos residenciales | 133 |
| 8.1.1 | Mercado objetivo..... | 133 |
| 8.1.1.1 | Conjunto Residencial Las Palmas..... | 133 |
| 8.1.1.2 | Conjunto Reina Luisa..... | 134 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 8.1.1.3 | Condominio Bellavista | 134 |
| 8.1.2 | Producto/servicio | 135 |
| 8.1.3 | Actividades clave | 136 |
| 8.1.3.1 | Abastecimiento de biomasa..... | 136 |
| 8.1.3.2 | Autogestión del abastecimiento por parte de la ESCO..... | 136 |
| 8.1.3.3 | Tercerización a través de un contrato de abastecimiento de biomasa entre proveedor y generador | 136 |
| 8.1.3.4 | Instalación, operación y mantención del sistema DH/CHP | 137 |
| 8.1.3.5 | Contrato entre empresa de servicios y consumidor final... | 137 |
| 8.1.3.6 | Mediciones, cobro y servicio post-venta | 138 |
| 8.1.3.7 | Promoción de la tecnología | 138 |
| 8.1.4 | Participantes..... | 138 |
| 8.1.5 | Estructura de ingresos y costos..... | 140 |
| 8.1.5.1 | Financiamiento..... | 141 |
| 8.1.5.2 | Sistema tarifario | 141 |
| 8.2 | Modelos de negocio para proyectos mixtos | 142 |
| 8.2.1 | Mercado objetivo | 142 |
| 8.2.2 | Servicio | 142 |
| 8.2.3 | Cadena de valor..... | 143 |
| 8.3 | Actividades clave | 144 |
| 8.3.1 | Recolección de biomasa | 144 |
| 8.3.2 | Instalación, operación y mantención del sistema DH/CHP | 145 |
| 8.3.3 | Mediciones, cobro y servicio post-venta | 145 |
| 8.4 | Participantes | 145 |
| 8.4.1 | Estructura de ingresos y costos..... | 147 |
| 8.4.1.1 | Sistema tarifario..... | 148 |
| 9 | Evaluación económica | 149 |
| 9.1 | Aspectos generales | 149 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 9.1.1 | Inversión inicial..... | 149 |
| 9.1.1.1 | Estudios de preinversión y permisos previos | 149 |
| 9.1.1.2 | Central térmica | 149 |
| 9.1.1.3 | Red de distribución | 150 |
| 9.1.2 | Ingresos por ventas | 150 |
| 9.1.2.1 | Precio de venta | 150 |
| | Tarifa en base a la inversión y gastos operacionales | 151 |
| 9.1.2.2 | Volumen de venta | 153 |
| 9.1.3 | Costos operacionales | 154 |
| 9.2 | Conjunto Las Palmas | 155 |
| 9.2.1 | Inversión inicial..... | 155 |
| 9.2.1.1 | Planta térmica | 155 |
| 9.2.1.2 | Red de distribución | 157 |
| 9.2.1.3 | Distribución en viviendas | 157 |
| 9.2.2 | Costos operativos..... | 158 |
| 9.2.3 | Depreciación de activos | 159 |
| 9.2.4 | Ingresos por venta del servicio | 161 |
| 9.2.5 | Evaluación económica..... | 161 |
| 9.3 | Conjunto Reina Luisa | 162 |
| 9.3.1 | 9.3.1 Inversión inicial..... | 162 |
| 9.3.1.1 | Planta térmica | 162 |
| 9.3.1.2 | Red de distribución | 164 |
| 9.3.1.3 | Distribución en viviendas | 164 |
| 9.3.2 | Costos operativos..... | 164 |
| 9.3.3 | Depreciación de activos | 166 |
| 9.3.4 | Ingresos por venta del servicio | 168 |
| 9.3.5 | Evaluación económica..... | 168 |
| 9.4 | Condominio Bellavista | 169 |
| 9.4.1 | Inversión inicial..... | 169 |
| 9.4.1.1 | Planta térmica | 169 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 9.4.1.2 | Red de distribución | 171 |
| 9.4.1.3 | Distribución en viviendas | 172 |
| 9.4.2 | Costos operativos | 172 |
| 9.4.3 | Depreciación de activos | 174 |
| 9.4.4 | Ingresos por venta del servicio | 175 |
| 9.4.5 | Evaluación económica | 176 |
| 9.5 | Proyecto Mixto | 176 |
| 9.5.1 | Costos de generación de energía térmica..... | 176 |
| 9.5.2 | Costos de generación de electricidad | 180 |
| 9.5.3 | Costos totales del sistema..... | 182 |
| 9.5.4 | Ingresos | 183 |
| 9.5.5 | Comparación de escenarios | 185 |
| 9.5.6 | Determinación del Valor Actual de los flujos de efectivo | 186 |
| 9.5.7 | Evaluación económica con subsidios a la inversión | 187 |
| 9.6 | Análisis de sensibilidad | 188 |
| 9.6.1 | Sensibilidad a la tarifa de calefacción | 189 |
| 9.6.2 | Sensibilidad al costo de la biomasa..... | 191 |
| 9.6.3 | Sensibilidad a la inversión inicial..... | 194 |
| 9.6.4 | Sensibilidad de la tasa de descuento | 200 |
| 10 | Evaluación de reducción de emisiones | 203 |
| 10.1 | Antecedentes | 203 |
| 10.1.1 | Descripción de los Escenarios de Calefacción para los Futuros Proyectos Inmobiliarios | 205 |
| 10.1.1.1 | Escenario 1 | 205 |
| 10.1.1.2 | Escenario 2 | 210 |
| 10.1.1.3 | Escenario 3 | 211 |
| 10.1.2 | Estimación del Impacto en la Calidad del Aire de los Nuevos Proyectos Inmobiliarios en la Ciudad de Osorno..... | 212 |
| 10.1.3 | Selección del modelo de dispersión..... | 213 |

| | | |
|-------------|--|------------|
| 10.1.4 | Meteorología de Superficie..... | 215 |
| 10.1.5 | Dominio de la modelación | 216 |
| 10.1.6 | Receptores puntuales | 217 |
| 10.1.7 | Topografía y uso de suelo | 219 |
| 10.1.8 | Consideraciones de la aplicación del modelo | 221 |
| 10.1.8.1 | Emisiones atmosféricas de los nuevos desarrollos urbanos | 221 |
| 10.1.8.2 | Simulación de las emisiones atmosféricas de las nuevas viviendas..... | 223 |
| 10.1.8.3 | Distribución temporal de las emisiones atmosféricas..... | 225 |
| 10.2 | Cuantificación de Beneficios Directos en Salud | 226 |
| 10.3 | Tasas de efectos en la salud | 227 |
| 10.4 | Resultados..... | 228 |
| 10.4.1 | Consumo de Leña y Emisiones de contaminantes del aire..... | 228 |
| 10.4.1.1 | Escenario 1 | 228 |
| 10.4.1.2 | Escenario 2 | 230 |
| 10.4.1.3 | Escenario 3 | 231 |
| 10.4.2 | Impacto en la Calidad del Aire de las Emisiones de los Sistemas de Calefacción | 234 |
| 10.4.2.1 | Escenario 1 | 234 |
| 10.4.2.2 | Escenario 2 | 242 |
| 10.4.2.3 | Escenario 3 | 246 |
| 10.4.2.4 | Beneficios Directos en Salud por la Reducción de la Concentración Ambiental de Material Particulado | 254 |
| 10.5 | Conclusiones | 257 |
| 11 | Comentarios y recomendaciones | 260 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 4.1. Especificaciones técnicas de la caldera de Madesur Ltda..... | 33 |
| Tabla 4.2: Modelos de vivienda Conjunto Las Palmas | 34 |
| Tabla 4.3: Modelos de vivienda Conjunto Reina Luisa..... | 36 |
| Tabla 4.4: Modelos de vivienda Condominio Bellavista..... | 38 |
| Tabla 5.1. Modelos de comportamiento humano en consumo de calefacción..... | 42 |
| Tabla 5.2. Consumos referenciales de ACS | 43 |
| Tabla 5.3: Flujos diarios per cápita de ACS..... | 44 |
| Tabla 5.4: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas | 47 |
| Tabla 5.5: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas..... | 49 |
| Tabla 5.6: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas | 50 |
| Tabla 5.7: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas..... | 52 |
| Tabla 5.8: Escenarios de calefacción con depósitos de inercia bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas | 53 |
| Tabla 5.9: Consumo biomasa-gas según volumen de inercia y potencia de la caldera bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas | 55 |
| Tabla 5.10: Escenarios de calefacción con depósitos de inercia bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas | 56 |
| Tabla 5.11: Consumo biomasa-gas según volumen de inercia y potencia de la caldera bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas | 58 |
| Tabla 5.12: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa..... | 60 |
| Tabla 5.13: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa | 61 |
| Tabla 5.14: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa..... | 62 |
| Tabla 5.15: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa | 63 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 5.16: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Condominio Bellavista..... | 66 |
| Tabla 5.17: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Condominio Bellavista | 67 |
| Tabla 5.18: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Condominio Bellavista..... | 68 |
| Tabla 5.19: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Condominio Bellavista | 70 |
| Tabla 5.20: Consumo anual en calefacción y potencia de generación | 70 |
| Tabla 5.21: Consumo térmico y potencia de generación en ACS por proyecto..... | 72 |
| Tabla 5.22: Consumo (kWh) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto | 74 |
| Tabla 5.23: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto | 75 |
| Tabla 5.24: Consumo (kWh) en calefacción y ACS para escenario 2, por proyecto..... | 77 |
| Tabla 5.25: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto | 78 |
| Tabla 5.26: Consumo de combustible por proyecto y en cada escenario evaluado..... | 80 |
| Tabla 5.27: Consumo de electricidad de Madexpo S.A..... | 82 |
| Tabla 5.28: Consumo de electricidad de Madesur Ltda..... | 83 |
| Tabla 5.29: Perfil de consumo de energía térmica del Conjunto Residencial Reina Luisa..... | 85 |
| Tabla 5.30: Consumo de energía térmica del proyecto mixto | 86 |
| Tabla 5.31 Potencia de energía térmica del proyecto mixto | 87 |
| Tabla 5.32: Consumo eléctrico del proyecto mixto | 89 |
| Tabla 5.33: Potencia eléctrica del proyecto mixto..... | 90 |
| Tabla 6.1: Comparación regional de la superficie forestal..... | 91 |
| Tabla 6.2: Distribución de la cobertura boscosa por provincias | 92 |
| Tabla 6.3: Balance de la superficie en uso de suelo de la Provincia de Osorno, período 1998-2006..... | 93 |
| Tabla 6.4: Superficie forestada y reforestada, por tipo de propietario y año | 96 |
| Tabla 6.5: Desglose de plantaciones forestales por provincia – Año 2007..... | 97 |
| Tabla 6.6: Composición de las plantaciones forestales..... | 98 |
| Tabla 6.7: Síntesis de las características de los aserraderos en la Provincia de Osorno..... | 100 |
| Tabla 6.8: Centrales de astillado en funcionamiento (2011) | 101 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 6.9: Planes de manejo aprobados por CONAF en la Región de Los Lagos | 104 |
| Tabla 6.10: Planes de manejo aprobados por CONAF en la Provincia de Osorno, Región de Los Lagos..... | 105 |
| Tabla 6.11: Cantidad de aserraderos de bosque nativo según tipo de aserradero y capacidades. (Provincia de Osorno, Región de Los Lagos) | 105 |
| Tabla 6.12: Listado de aserraderos de bosque nativo en la Provincia de Osorno, Región de Los Lagos..... | 106 |
| Tabla 6.13: Fuentes de biomasa identificadas para el Escenario 1..... | 107 |
| Tabla 6.14: Características de biomasa identificada en Rancagua | 108 |
| Tabla 6.15: Costos logísticos de la cosecha forestal | 110 |
| Tabla 6.16: Costos logísticos del procesamiento de residuos de cosecha forestal | 111 |
| Tabla 6.17: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 1 | 113 |
| Tabla 6.18: Fuentes de biomasa identificadas para el Escenario 1..... | 114 |
| Tabla 6.19: Características de biomasa identificada en Rancagua | 115 |
| Tabla 6.20: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 2 | 115 |
| Tabla 7. | 122 |
| Tabla 7.1: Potencia (kW) de central térmica, proyecto Conjunto Las Palmas | 123 |
| Tabla 7.2: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Conjunto Las Palmas | 125 |
| Tabla 7.3: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Conjunto Las Palmas..... | 125 |
| Tabla 7.4: Potencia térmica total requerida por vivienda, proyecto Conjunto Las Palmas..... | 126 |
| Tabla 7.5: Potencia (kW) de central térmica, proyecto Conjunto Reina Luisa..... | 127 |
| Tabla 7.6: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Conjunto Reina Luisa | 128 |
| Tabla 7.7: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Conjunto Reina Luisa | 128 |
| Tabla 7.8: Potencia térmica total requerida por vivienda, proyecto Conjunto Reina Luisa | 129 |
| Tabla 7.9: Potencia (kW) de central térmica, proyecto Condominio Bellavista | 130 |
| Tabla 7.10: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Condominio Bellavista | 131 |
| Tabla 7.11: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Condominio Bellavista | 131 |
| Tabla 7.12: Potencia térmica total requerida por vivienda, proyecto Parque Viña Santa Blanca .. | 132 |
| Tabla 8.1: Participantes del proyecto residencial | 139 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 8.2: Alternativas de financiamiento del sistema DH/CHP | 141 |
| Tabla 8.3: Participantes del proyecto residencial | 146 |
| Tabla 8.4: Alternativas de financiamiento del sistema DH/CHP | 147 |
| Tabla 9.1: Tarifa máxima a cobrar en base al gasto anual por familia..... | 151 |
| Tabla 9.2: Tarifa a cobrar en base a la inversión..... | 152 |
| Tabla 9.3: Tarifa a cobrar en base a los costos operacionales | 152 |
| Tabla 9.4: Tarifa a cobrar en base al retorno fijo garantizado | 153 |
| Tabla 9.5: Tarifa total a cobrar en calefacción y ACS | 153 |
| Tabla 9.6: Inversión inicial planta térmica Conjunto Las Palmas, escenario 1..... | 155 |
| Tabla 9.7: Inversión inicial planta térmica Conjunto Las Palmas, escenario 2..... | 155 |
| Tabla 9.8: Inversión inicial planta térmica Conjunto Las Palmas, escenario 1.1..... | 156 |
| Tabla 9.9: Inversión inicial planta térmica Conjunto Las Palmas, escenario 1.2..... | 156 |
| Tabla 9.10: Inversión inicial red de distribución de calor, Conjunto Las Palmas | 157 |
| Tabla 9.11: Inversión inicial en distribución al interior de las viviendas, por vivienda, Conjunto Las Palmas | 157 |
| Tabla 9.12: Costos operativos escenario 1, Conjunto Las Palmas | 158 |
| Tabla 9.13: Costos operativos escenario 2, Conjunto Las Palmas | 158 |
| Tabla 9.14: Costos operativos escenario 1.1, Conjunto Las Palmas | 159 |
| Tabla 9..... | 159 |
| Tabla 9.16: Depreciación de activos, escenario 1, Conjunto Las Palmas..... | 160 |
| Tabla 9.17: Depreciación de activos, escenario 2, Conjunto Las Palmas..... | 160 |
| Tabla 9.18: Depreciación de activos, escenario 1.1, Conjunto Las Palmas..... | 160 |
| Tabla 9.19: Depreciación de activos, escenario 1.2, Conjunto Las Palmas..... | 160 |
| Tabla 9.20: Ingresos por venta de servicio, Conjunto Las Palmas | 161 |
| Tabla 9.21: Indicadores de evaluación económica, Conjunto Las Palmas | 161 |
| Tabla 9..... | 162 |
| Tabla 9..... | 162 |
| Tabla 9..... | 163 |
| Tabla 9..... | 163 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 9.26: Inversión inicial red de distribución de calor, Conjunto Reina Luisa..... | 164 |
| Tabla 9.27: Inversión inicial en distribución al interior de las viviendas, por vivienda, Conjunto Reina Luisa..... | 164 |
| Tabla 9..... | 165 |
| Tabla 9.29: Costos operativos escenario 2, Conjunto Reina Luisa..... | 165 |
| Tabla 9.30: Costos operativos escenario 1.1, Conjunto Reina Luisa..... | 165 |
| Tabla 9.31: Costos operativos escenario 1.2, Conjunto Reina Luisa..... | 166 |
| Tabla 9.32: Depreciación de activos, escenario 1, Conjunto Reina Luisa..... | 166 |
| Tabla 9.33: Depreciación de activos, escenario 2, Conjunto Reina Luisa..... | 167 |
| Tabla 9.34: Depreciación de activos, escenario 1.1, Conjunto Reina Luisa..... | 167 |
| Tabla 9.35: Depreciación de activos, escenario 1.2, Conjunto Reina Luisa..... | 167 |
| Tabla 9.36: Ingresos por venta de servicio, Conjunto Reina Luisa..... | 168 |
| Tabla 9.37: Indicadores de evaluación económica, Conjunto Reina Luisa..... | 168 |
| Tabla 9.38: Inversión inicial planta térmica Condominio Bellavista, escenario 1..... | 169 |
| Tabla 9.39: Inversión inicial planta térmica Condominio Bellavista, escenario 2..... | 170 |
| Tabla 9.40: Inversión inicial planta térmica Condominio Bellavista, escenario 1.1..... | 170 |
| Tabla 9.41: Inversión inicial planta térmica Condominio Bellavista, escenario 1.2..... | 171 |
| Tabla 9.42: Inversión inicial red de distribución de calor, Condominio Bellavista..... | 171 |
| Tabla 9.43: Inversión inicial en distribución al interior de las viviendas, por vivienda, Condominio Bellavista..... | 172 |
| Tabla 9.44: Costos operativos escenario 1, Condominio Bellavista..... | 172 |
| Tabla 9.45: Costos operativos escenario 2, Condominio Bellavista..... | 173 |
| Tabla 9.46: Costos operativos escenario 1.1, Condominio Bellavista..... | 173 |
| Tabla 9.47: Costos operativos escenario 1.2, Condominio Bellavista..... | 173 |
| Tabla 9.48: Depreciación de activos, escenario 1, Condominio Bellavista..... | 174 |
| Tabla 9.49: Depreciación de activos, escenario 2, Condominio Bellavista..... | 174 |
| Tabla 9.50: Depreciación de activos, escenario 1.1, Condominio Bellavista..... | 175 |
| Tabla 9.51: Depreciación de activos, escenario 1.2, Condominio Bellavista..... | 175 |
| Tabla 9.52: Ingresos por venta de servicio, Condominio Bellavista..... | 175 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 9.53: Indicadores de evaluación económica, Condominio Bellavista | 176 |
| Tabla 9.54: Inversión inicial de la planta térmica..... | 177 |
| Tabla 9.55: Costos anuales de generación de energía térmica..... | 178 |
| Tabla 9.56: Costo de capital de red de distribución de Conjunto Reina Luisa | 179 |
| Tabla 9.57: Inversión inicial del módulo CHP | 180 |
| Tabla 9.58: Costos anuales de generación de electricidad | 181 |
| Tabla 9.59: Costos anuales de generación de electricidad | 183 |
| Tabla 9.60: Consumos energéticos de los clientes..... | 183 |
| Tabla 9.61: Tarifa base de la energía térmica | 184 |
| Tabla 9.62: Tarifa base de la electricidad..... | 184 |
| Tabla 9.63: Costo de la energía térmica..... | 184 |
| Tabla 9.64: Costo de la electricidad | 184 |
| Tabla 9.65: Tarifa energía térmica según cliente | 184 |
| Tabla 9.66: Tarifa de la electricidad | 185 |
| Tabla 9.67: Comparación de costo de energía térmica según escenario de generación..... | 185 |
| Tabla 9.68: Valor Actual de los flujos de efectivo proyectados a 15 años..... | 187 |
| Tabla 9.69: Efecto sobre el VAN al incorporar subsidios a la inversión | 187 |
| Tabla 10.1: Proyectos inmobiliarios proyectados para la ciudad de Osorno..... | 206 |
| Tabla 10.2: Factor de emisión de Contaminantes del aire para las cocinas a leña y estufas de combustión lenta de doble cámara..... | 208 |
| Tabla 10.3: Factor de emisión de Contaminantes del aire para estufas de combustión lenta de doble cámara ponderado por el contenido de humedad de la leña y operación del calefactor | 209 |
| Tabla 10.4. Proporción de equipos a leña según quintil de ingreso | 210 |
| Tabla 10.5. Límites de emisión según potencia | 210 |
| Tabla 10.6. Factores de emisión de material particulado para los calefactores que cumplen con le D.S. 39 | 211 |
| Tabla 10.7. Factores de emisión de contaminantes del aire para las calderas de biomasa para los sistemas de calefacción distrital | 212 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 10.8: Variables Meteorológicas registradas en la Estación de Calidad del Aire ubicada en la ciudad de Osorno..... | 215 |
| Tabla 10.9: Niveles considerados para la modelación con CALMET | 217 |
| Tabla 10.10: Receptores puntuales considerados para la modelación con CALMET – CALPUFF ... | 218 |
| Tabla 10.11. Norma Primaria de Calidad del Aire para MP10, MP2,5 y CO..... | 224 |
| Tabla 10.12. Valores Unitarios Utilizados en la Valoración Monetaria..... | 226 |
| Tabla 10.13: Coeficientes de Funciones Concentración-Respuesta..... | 227 |
| Tabla 10.14: Tasa de Efectos Base | 227 |
| Tabla 10.15: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo Escenario 1 de calefacción en los hogares | 229 |
| Tabla 10.16: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2..... | 231 |
| Tabla 10.17: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo Escenario 3 | 233 |
| Tabla 10.18: Distribución de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1..... | 236 |
| Tabla 10.19: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 1..... | 237 |
| Tabla 10.20: Resultados de la simulación del aporte de CO y COV de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 1. | 238 |
| Tabla 10.21: Distribución de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2..... | 243 |
| Tabla 10.22: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 2. | 244 |
| Tabla 10.23: Resultados de la simulación del aporte de CO y COVs de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 2..... | 245 |
| Tabla 10.24: Tasas de emisión de contaminantes atmosféricas proyectadas para los sistemas de distribución de calor de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 3..... | 248 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 10.25: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 3. | 249 |
| Tabla 10.26: Resultados de la simulación del aporte de CO y COVs de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 3. | 250 |
| Tabla 10.27: Efectos Base para Osorno (Millones de pesos, MM\$ año 2012)..... | 255 |
| Tabla 10.28: Cálculo de Beneficios Totales para la Salud Escenario 2 con Equipos a Leña que Cumplen la Norma (Millones de pesos, MM\$ año 2012)..... | 256 |
| Tabla 10.29: Cálculo de Beneficios Totales para la Salud Escenario 3 con Calefacción Distrital (Millones de pesos, MM\$ año 2012)..... | 256 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Distribución de la población..... | 8 |
| Figura 2.2. Uso actual del suelo en la Región de Los Lagos | 9 |
| Figura 2.3. Temperaturas mínimas y promedio del año 2012 | 11 |
| Figura 2.4. Temperaturas mínimas mensuales en el periodo 2008-2012..... | 12 |
| Figura 2.5. Combustible para calefacción en la Provincia de Osorno y en la Comuna de Osorno | 13 |
| Figura 2.6. Consumo eléctrico por sector en el período 2007-2010..... | 14 |
| Figura 3.1: Mapa de ubicación de calderas registradas en Osorno, por potencia nominal..... | 16 |
| Figura 3.2: Expansión residencial en la comuna de Osorno..... | 18 |
| Figura 3.3: Sector Barrio Franke..... | 20 |
| Figura 3.4: Sector Pilauco..... | 21 |
| Figura 3.5: Sector Trébol Sur | 23 |
| Figura 3.6: Sector Las Quemadas | 25 |
| Figura 3.7: Sector Ovejuna | 26 |
| Figura 3.8: Sector Rahue | 28 |
| Figura 4.1: Localización del proyecto mixto..... | 31 |
| Figura 4.2: Etapa N°1 del Proyecto “Conjunto habitacional Reina Luisa” | 34 |
| Figura 4.3: Ubicación del Conjunto Las Palmas..... | 35 |
| Figura 4.4: Plano de loteo y representación visual del Conjunto Las Palmas | 35 |
| Figura 4.5: Ubicación del Conjunto Las Palmas..... | 36 |
| Figura 4.6: Viviendas del Conjunto Reina Luisa..... | 37 |
| Figura 4.7: Ubicación del Condominio Bellavista | 38 |
| Figura 4.8: Viviendas del Condominio Bellavista | 38 |
| Figura 5.1: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Conjunto Las Palmas | 46 |
| Figura 5.2: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Conjunto Las Palmas..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 5.3: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas | 48 |
| Figura 5.4: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo el escenario 1, Conjunto Las Palmas | 49 |
| Figura 5.5: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas | 50 |
| Figura 5.6: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo el escenario 2, Conjunto Las Palmas | 51 |
| Figura 5.7: Horas de déficit de calefacción al año según nivel de operación de caldera y volumen de inercia bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas | 53 |
| Figura 5.8: Déficit máximo de calefacción según volumen de inercia y nivel de operación de la caldera bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas..... | 53 |
| Figura 5.9: Horas de déficit de calefacción al año según nivel de operación de caldera y volumen de inercia bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas | 56 |
| Figura 5.10: Déficit máximo de calefacción según volumen de inercia y nivel de operación de la caldera bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas..... | 57 |
| Figura 5.11: Consumo horario máximo mensual en calefacción, Conjunto Reina Luisa | 59 |
| Figura 5.12: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Conjunto Reina Luisa | 59 |
| Figura 5.13: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa | 60 |
| Figura 5.14: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa..... | 61 |
| Figura 5.15: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa | 62 |
| Figura 5.16: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa..... | 63 |
| Figura 5.17: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Condominio Bellavista..... | 65 |
| Figura 5.18: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Condominio Bellavista | 65 |
| Figura 5.19: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Condominio Bellavista..... | 66 |

| | |
|--|-----|
| Figura 5.20: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 1, Condominio Bellavista..... | 67 |
| Figura 5.21: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Condominio Bellavista..... | 69 |
| Figura 5.22: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 2, Condominio Bellavista..... | 69 |
| Figura 5.23: Consumo térmico y potencia de generación en ACS por proyecto | 73 |
| Figura 5.24: Consumo en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto | 74 |
| Figura 5.25: Potencia térmica en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto | 76 |
| Figura 5.26: Consumo en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto | 77 |
| Figura 5.27: Potencia térmica en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto | 79 |
| Figura 5.28. Perfil de consumo de energía térmica del Conjunto Reina Luisa..... | 84 |
| Figura 5.29. Consumo de energía térmica del proyecto mixto..... | 86 |
| Figura 5.30. Potencia de energía térmica del proyecto mixto | 88 |
| Figura 5.31. Consumo eléctrico del proyecto mixto | 89 |
| Figura 6.1: Estimación de la superficie cubierta por bosques en la Región de Los Lagos..... | 94 |
| Figura 6.2: Plantaciones anuales en la Región Los Lagos (Forestación y reforestación) | 94 |
| Figura 6.3: Superficie anual de bosques plantados..... | 95 |
| Figura 6.4: Propiedad de las plantaciones forestales..... | 95 |
| Figura 6.5: Comunas de la provincia de Osorno con mayor superficie de plantaciones forestales – Año 2007..... | 97 |
| Figura 6.6: Distribución de las plantaciones forestales por distrito..... | 98 |
| Figura 6.7: Localización de los aserradores en la ciudad de Osorno | 100 |
| Figura 6.8: Composición del bosque nativo de la Región de Los Lagos | 102 |
| Figura 6.9: Composición del bosque nativo de la Provincia de Osorno, Región de Los Lagos..... | 103 |
| Figura 6.10: Proceso logístico de la biomasa | 109 |
| Figura 6.11: Proceso logístico de la biomasa | 110 |
| Figura 6.12: Proceso logístico del procesamiento de residuos de cosecha forestal..... | 111 |
| Figura 6.13: Proceso logístico del procesamiento de residuos de podas de árboles urbanos | 112 |
| Figura 7.1: Estación de transferencia pewoTherm V | 120 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 7.1: Especificaciones técnicas de planta..... | 122 |
| Figura 7.2: Trazado red de tuberías, proyecto Conjunto Las Palmas..... | 124 |
| Figura 7.3: Trazado red de tuberías, proyecto Conjunto Reina Luisa | 127 |
| Figura 7.4: Trazado red de tuberías, proyecto Condominio Bellavista | 130 |
| Figura 8.1: Conjunto residencial Las Palmas | 133 |
| Figura 8.2: Los cuatro tipos de viviendas del Conjunto Reina Luisa | 134 |
| Figura 8.3: Viviendas del Condominio Bellavista | 135 |
| Figura 8.4: Cadena de valor..... | 135 |
| Figura 8.5: Modelo de negocio para el proyecto mixto de Osorno | 143 |
| Figura 8.6: Cadena de valor..... | 144 |
| Figura 9.1: Composición del costo de generación de energía térmica | 179 |
| Figura 9.2: Composición del costo de generación y distribución de la energía térmica de clientes residenciales..... | 180 |
| Figura 9.3: Composición del costo de generación de energía eléctrica..... | 182 |
| Figura 9.4: Comparación de costo de energía térmica según escenario de generación | 186 |
| Figura 9.5: Efecto sobre el costo de la energía térmica al incorporar subsidios a la inversión | 188 |
| Figura 9.6: Sensibilidad de la tarifa de la calefacción para el Conjunto Las Palmas | 189 |
| Figura 9.7: Sensibilidad de la tarifa para el Conjunto Reina Luisa | 190 |
| Figura 9.8: Sensibilidad de la tarifa para el Condominio Bellavista. | 191 |
| Figura 9.9: Sensibilidad del costo de la biomasa para el Conjunto Las Palmas | 192 |
| Figura 9.10: Sensibilidad del costo de la biomasa para el Conjunto Reina Luisa..... | 193 |
| Figura 9.11: Sensibilidad del costo de la biomasa para el Condominio Bellavista..... | 193 |
| Figura 9.12. Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Conjunto Las Palmas, con un 50% de subsidio a la inversión inicial interior | 195 |
| Figura 9.12: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Conjunto Reina Luisa, con un 50% de subsidio a la inversión inicial interior | 196 |
| Figura 9.13: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Condominio Bellavista, con un 50% de subsidio a la inversión inicial interior | 197 |
| Figura 9.14: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Conjunto Las Palmas, con un 100% de subsidio a la inversión inicial interior | 198 |

| | |
|---|-----|
| Figura 9.15: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Conjunto Reina Luisa, con un 100% de subsidio a la inversión inicial interior | 199 |
| Figura 9.16: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Condominio Bellavista, con un 100% de subsidio a la inversión inicial interior. | 200 |
| Figura 9.17: Sensibilidad a tasa de descuento en el Conjunto Las Palmas | 201 |
| Figura 9.18: Sensibilidad a tasa de descuento en el Conjunto Reina Luisa..... | 201 |
| Figura 9.7: Sensibilidad a tasa de descuento en el Condominio Bellavista | 202 |
| Figura 10.7: Percentil 98 de concentración 24 horas para MP10, periodo 2009-2012. | 203 |
| Figura 10.8: Percentil 98 de concentración 24 horas para MP2,5, periodo 2009-2012. | 204 |
| Figura 10.9: Futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno | 207 |
| Figura 10.10. Estacionalidad del consumo de leña en los hogares de Osorno. | 209 |
| Figura 10.11: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET y los subprogramas de procesamiento de información. | 214 |
| Figura 10.12: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALPUFF. | 215 |
| Figura 10.13: Dominio de la para el modelo CALMET- CALPUFF | 216 |
| Figura 10.14. Receptores puntuales seleccionado para la modelación con CALMET – CALPUFF en Osorno | 219 |
| Figura 10.15. Detalle de la topografía para el área de estudio en la ciudad de Osorno..... | 220 |
| Figura 10.16: Topografía tridimensional para el área de estudio en para la ciudad de Osorno..... | 221 |
| Figura 10.17. Plano Regulador para la Comuna de Osorno, Región de los Lagos..... | 222 |
| Figura 10.18. Zonas definidas como zonas para desarrollo de proyectos residenciales H1, H1A, H2 y H3 en el Plano Regulador para la Comuna de Osorno | 223 |
| Figura 10.19: intensidad del uso de los artefactos a combustión durante el día durante el invierno..... | 225 |
| Figura 10.: Distribución de las emisiones de MP y otro contaminantes dentro del dominio del modelo para las proyecciones de futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Osorno | 235 |
| Figura 10.20. Distribución del aporte promedio anual a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 1..... | 239 |

| | |
|--|-----|
| Figura 10.21: Distribución del aporte promedio máximo de 24 hr a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 1. | 240 |
| Figura 10.22: Distribución del aporte promedio máximo anual a la concentración ambiental de MP2.5 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 1. | 241 |
| Figura 10.23. Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1. | 242 |
| Figura 10.24. Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2. | 246 |
| Figura 10.25. Distribución de las emisiones de MP y otro contaminantes dentro del dominio del modelo para las proyecciones de futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Osorno. | 247 |
| Figura 10.26. Distribución del aporte promedio anual a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 3. | 251 |
| Figura 10.27: Distribución del aporte promedio máximo de 24 hr a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 3. | 252 |
| Figura 10.28: Distribución del aporte promedio máximo anual a la concentración ambiental de MP2.5 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 3. | 253 |
| Figura 10.29. Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 3. | 254 |

1 Introducción

Osorno fue una de las ciudades seleccionadas por el Ministerio de Energía y el Ministerio del Medio Ambiente para realizar un estudio de prefactibilidad técnico-económica, con el fin de implementar proyectos de calefacción distrital (DH) y cogeneración (CHP). El estudio forma parte del Convenio de Cooperación y Transferencia de Recursos entre la Subsecretaría de Energía, la Subsecretaría del Medio Ambiente y la Universidad de Concepción, quien es la entidad ejecutora.

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. El 26 de julio de 2012, se promulga el decreto 7 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.

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 industrial que incorpora un proyecto inmobiliario dentro de sus clientes.

En el primer capítulo, se introduce el estudio. El capítulo dos entrega antecedentes generales de la región en estudio. El tercer capítulo explica la metodología de identificación de proyectos piloto y los proyectos seleccionados. El capítulo cuatro entrega los antecedentes de los proyectos seleccionados. En el capítulo cinco, se calculan los requerimientos térmicos de los proyectos. En el capítulo seis, se describe la oferta de biomasa en la región. En el capítulo siete, se describe la infraestructura y los equipos que componen cada proyecto. En el capítulo ocho, se entrega una descripción de la organización y modelo de negocio de cada proyecto. En el capítulo nueve, se reportan los resultados de la evaluación económica de cada proyecto. En el capítulo diez, se evalúa la reducción de emisiones que resulta de la implementación de cada proyecto. El capítulo 11 concluye y entrega recomendaciones finales.

2 Antecedentes de la Región de Los Lagos

La región de Los Lagos está ubicada en la zona sur del país. Su superficie es de 48.584 km², 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. Se destaca la existencia de industrias de productos agropecuarios relacionados con la ganadería bovina, lo que ha dado a la creación de lecherías y frigoríficos. También se desarrollan actividades de servicio y turismo.

2.1 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.

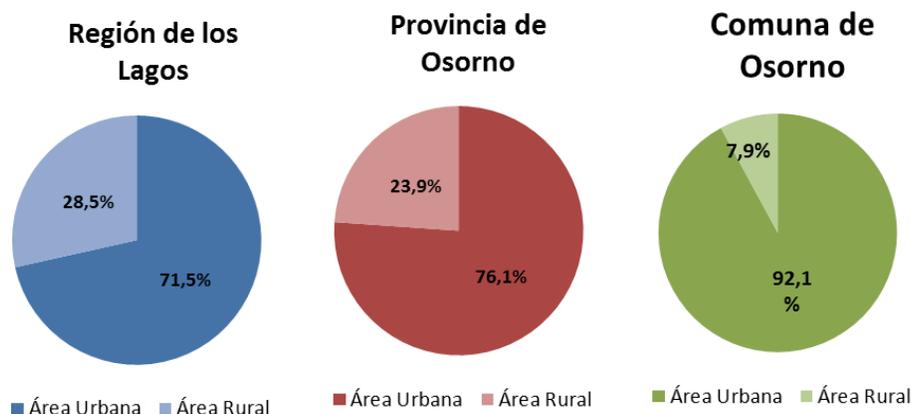


Figura 2.1. Distribución de la población

Fuente: CENSO 2012, INE

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).

2.2 Suelos y Vegetación

La provincia de Osorno posee 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.

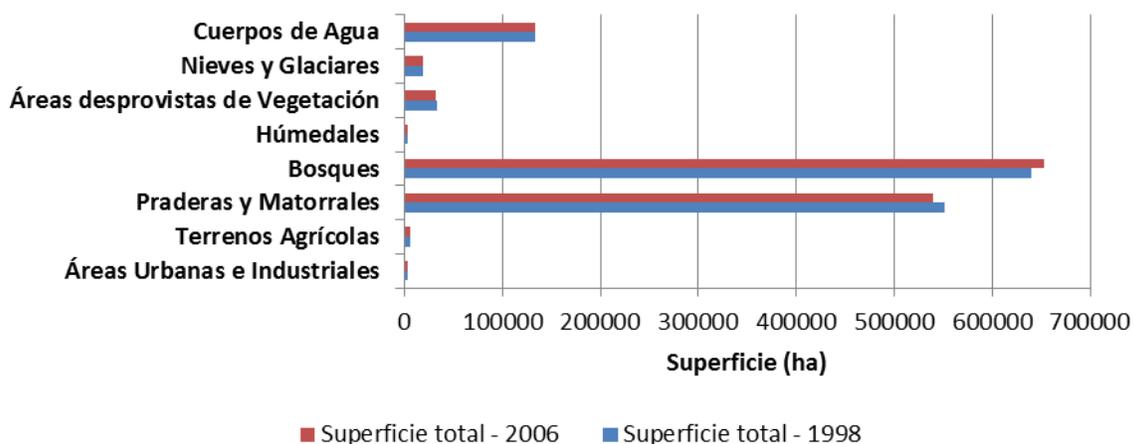


Figura 2.2. Uso actual del suelo en la Región de Los Lagos

Fuente: Catastro de uso del suelo y vegetación

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.

Tanto para las provincias de Osorno como la de Llanquihue, los mayores cambios se produjeron con la incorporación de superficie al uso como bosques, especialmente para plantaciones. La mayor disminución de superficie cubierta con bosque nativo ocurrió en la provincia de Osorno, donde se estimó una disminución de 5.296 ha.¹

2.3 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 2.3, se muestran los valores de temperatura mínima y promedio mensual para el año 2012.

¹ Información disponible en [www.conaf.cl/Recursos Forestales/Bosque Nativo/Catastro](http://www.conaf.cl/Recursos_Forestales/Bosque_Nativo/Catastro)

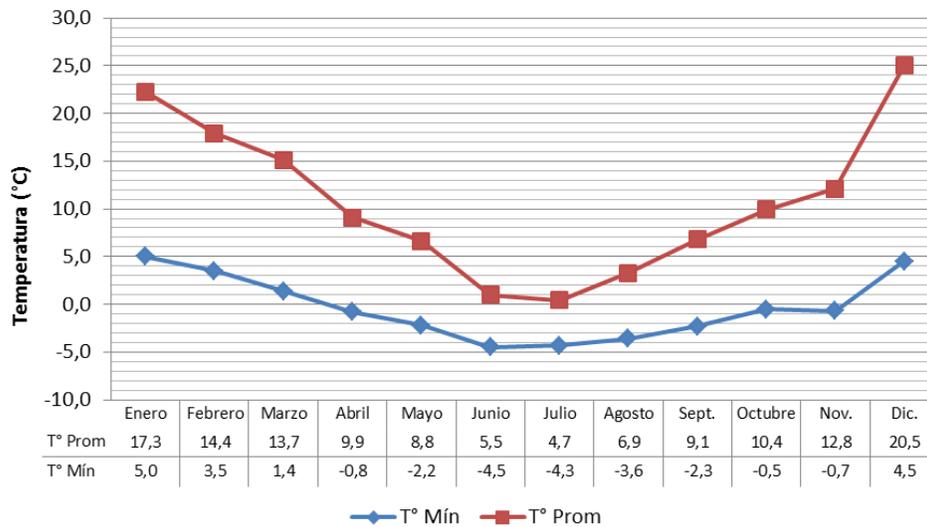


Figura 2.3. Temperaturas mínimas y promedio del año 2012

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil

En el figura 2.4, se muestran los valores mínimos mensuales durante el período 2008-2012. Las temperaturas mínimas han oscilado entre los -7°C y los 6°C en los últimos años.

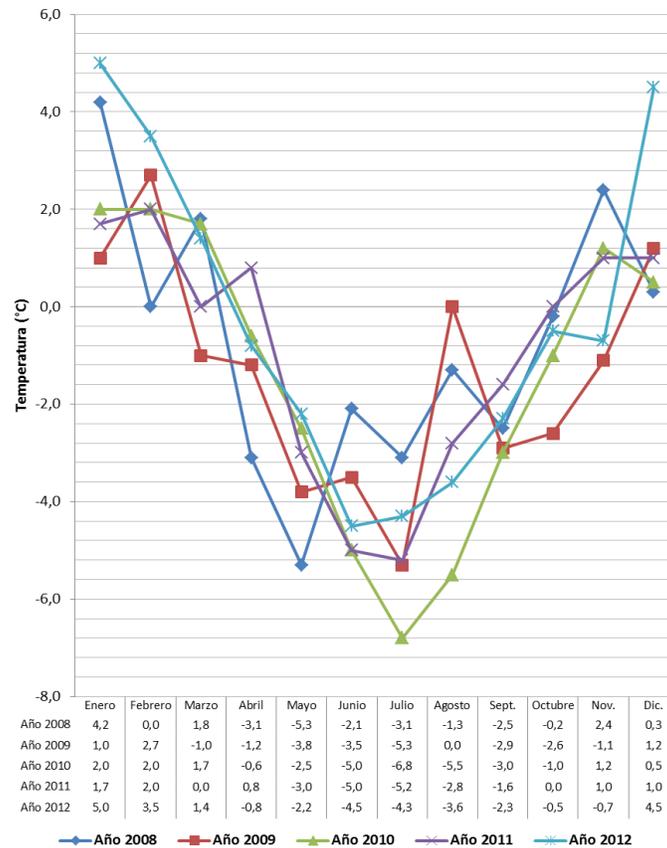


Figura 2.4. Temperaturas mínimas mensuales en el periodo 2008-2012

Fuente: Dirección General de Aeronáutica Civil

2.4 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 2.5, 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.

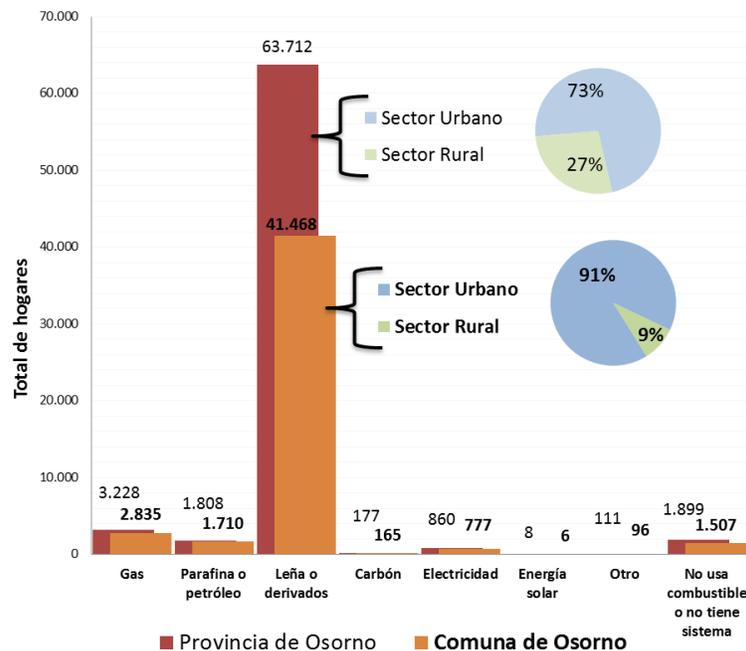


Figura 2.5. Combustible para calefacción en la Provincia de Osorno y en la Comuna de Osorno

Fuente: Censo 2012, INE

2.5 Consumo eléctrico

Según el Instituto Nacional de Estadística, para el 2010 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 2.6 se detalla la distribución eléctrica anual por sector para el periodo desde el 2007 hasta el 2010 en Gigawatts-hora.

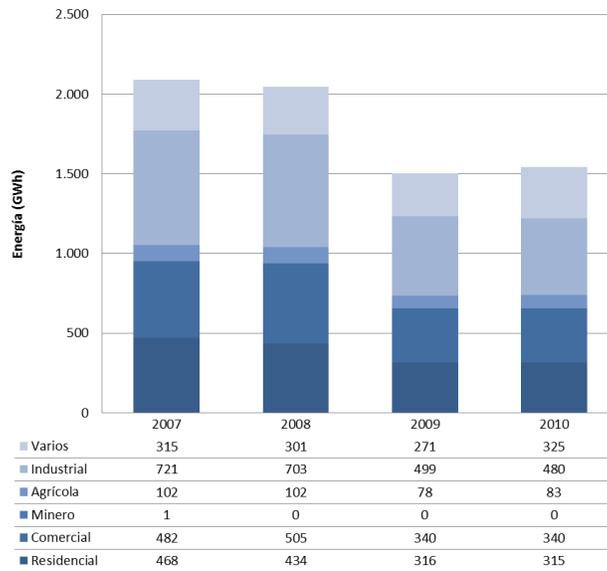


Figura 2.6. Consumo eléctrico por sector en el período 2007-2010
Fuente: Instituto Nacional de Estadística (2010)

3 Identificación y selección de proyectos

3.1 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. Aun 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.

3.2 Ubicación de sectores de análisis

La figura 3.1 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.

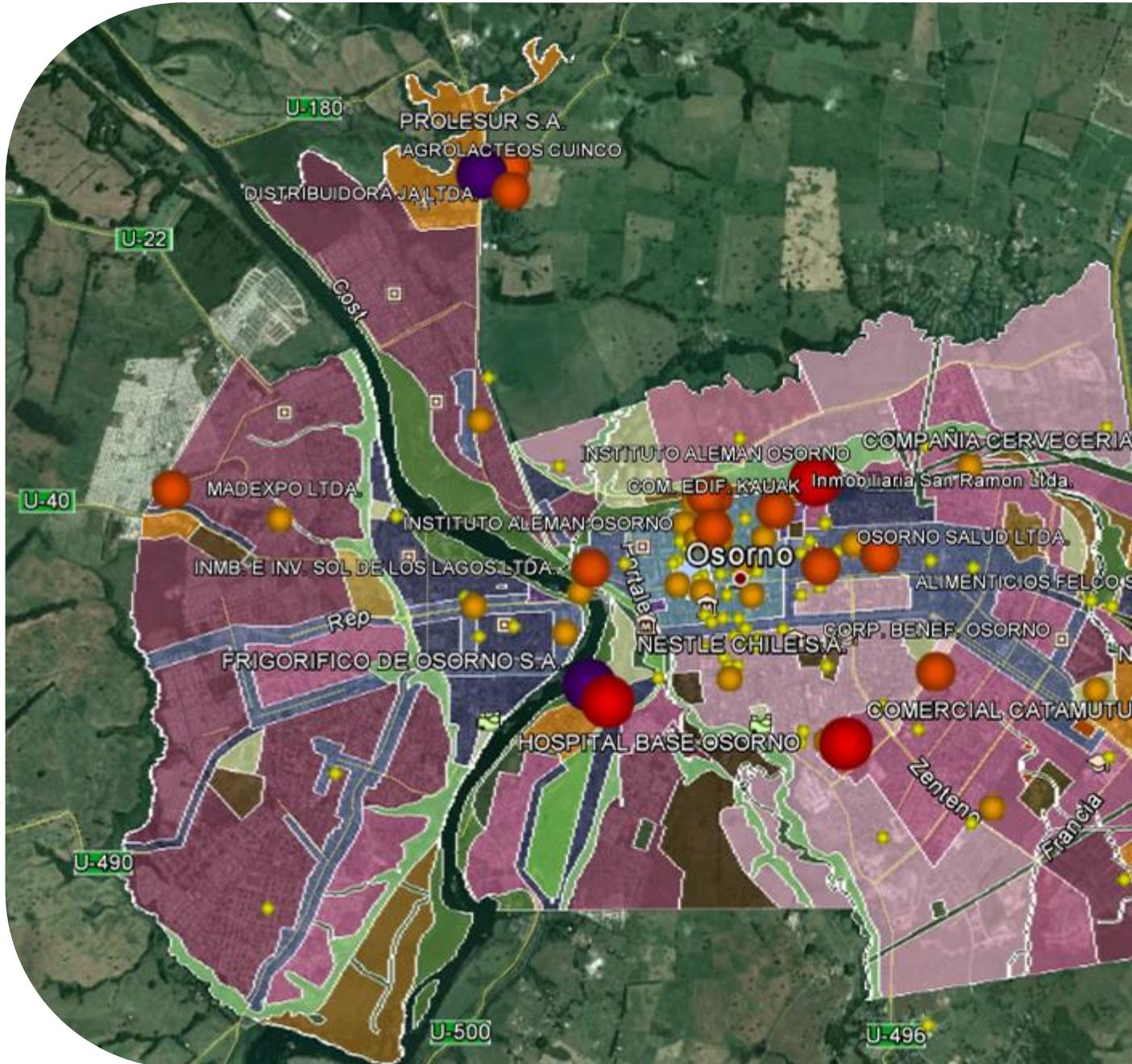


Figura 3.1: Mapa de ubicación de calderas registradas en Osorno, por potencia nominal

Fuente: Elaboración propia a partir de datos públicos

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 3.2, se definieron 6 sectores de expansión urbana residencial: Franke, Pilauco, Trébol Sur, Las Quemadas, Ovejería y Rahue.

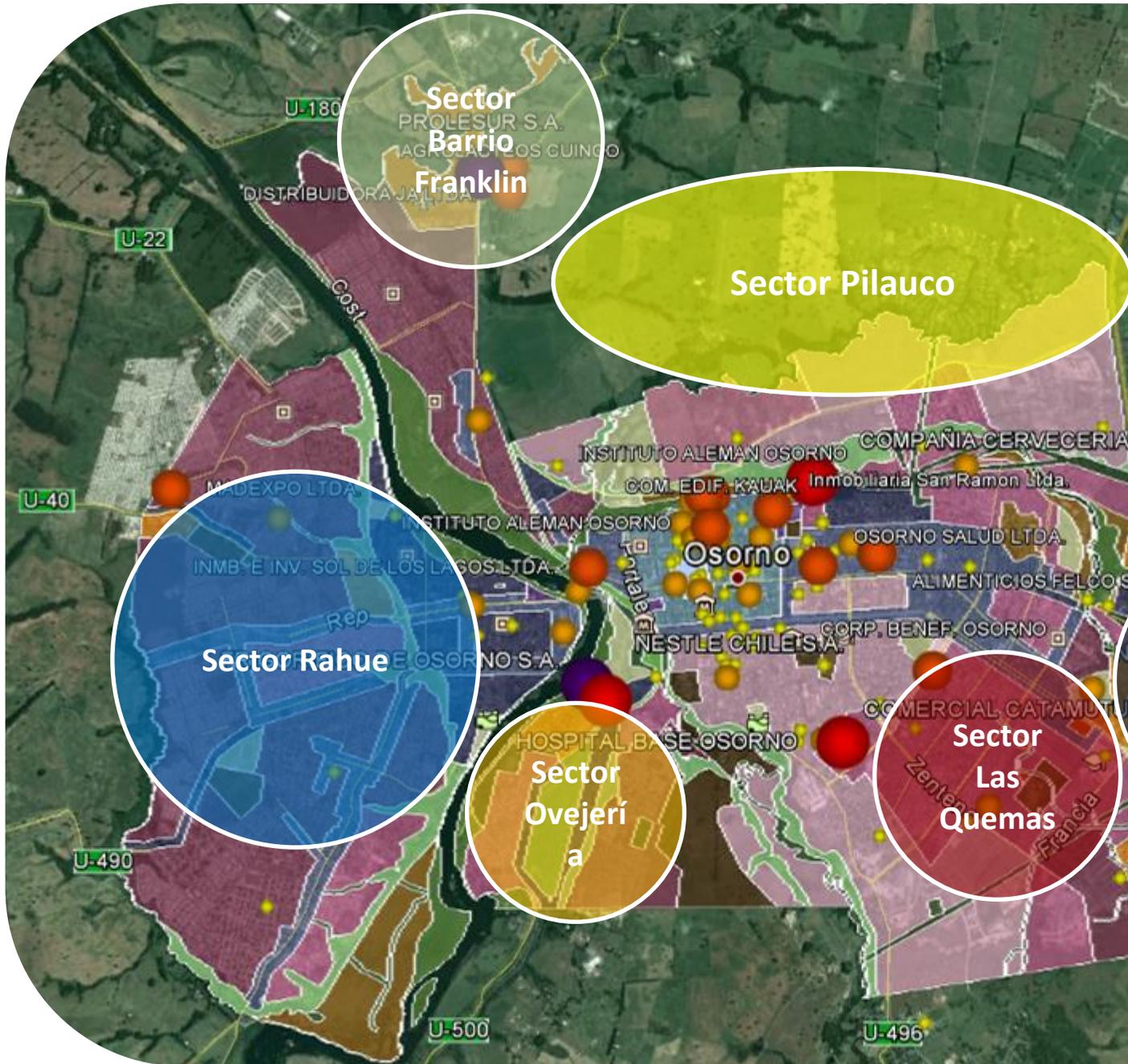


Figura 3.2: Expansión residencial en la comuna de Osorno
Fuente: Elaboración propia a partir de información primaria recopilada

3.3 Análisis de sectores

3.3.1 Sector del Barrio Franke

El sector Barrio Franke se encuentra ubicado en el extremo norte de la ciudad. Se caracteriza por tener suelos de uso residencial tipo H3² 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.

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, según indica el Asesor Urbano de la Secretaría de Planificación, de la Ilustre Municipalidad de Osorno.

En la figura 3.3, se puede observar que existen terrenos sin construir, que separan a la planta de Soprole de los barrios residenciales.

² La Secretaría de Planificación de la Municipalidad de Osorno clasifica los suelos residenciales en H1 (avalúo alto), H2 (avalúo medio) y H3 (avalúo bajo).

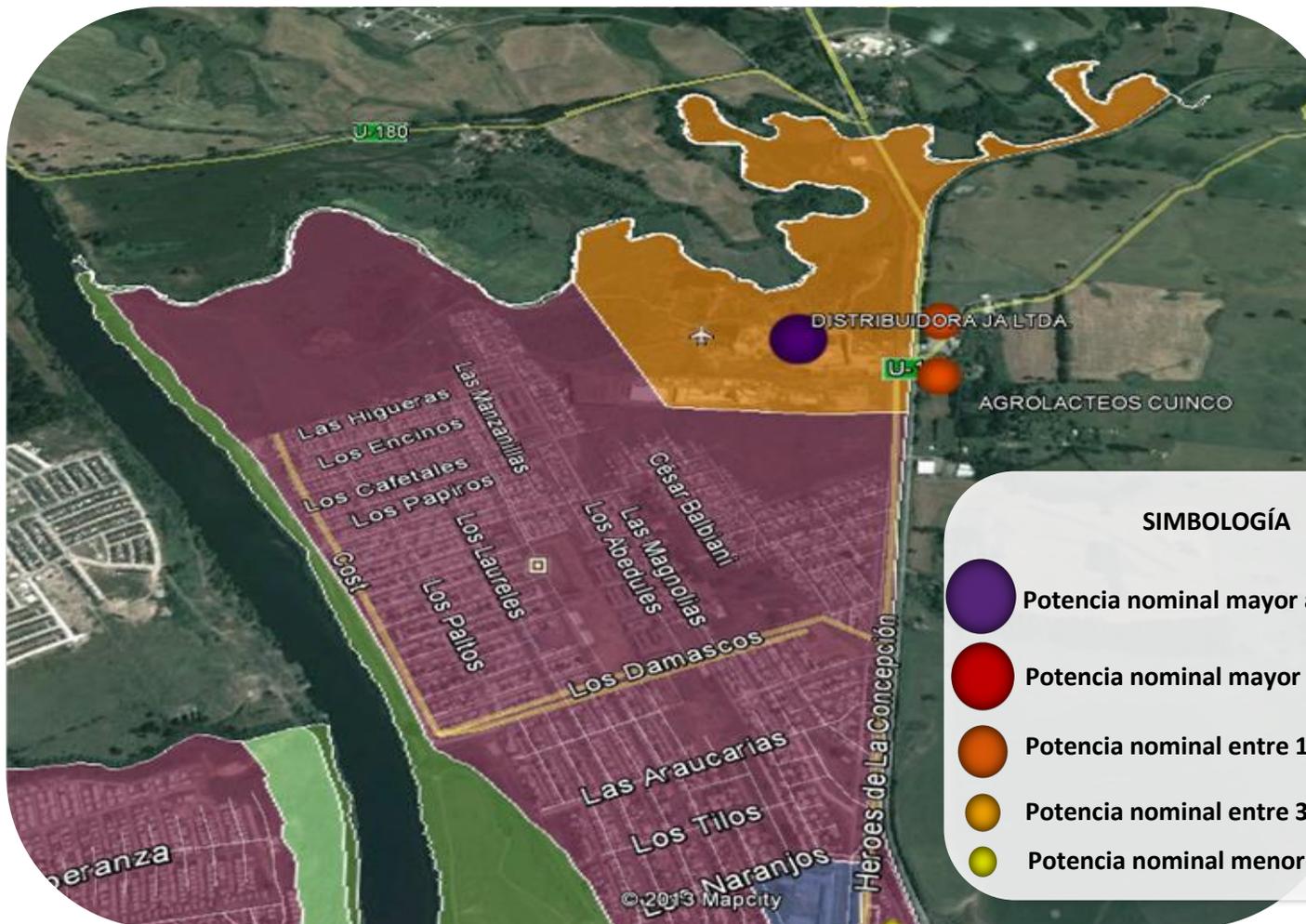


Figura 3.3: Sector Barrio Franke

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

3.3.2 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 3.4.

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.

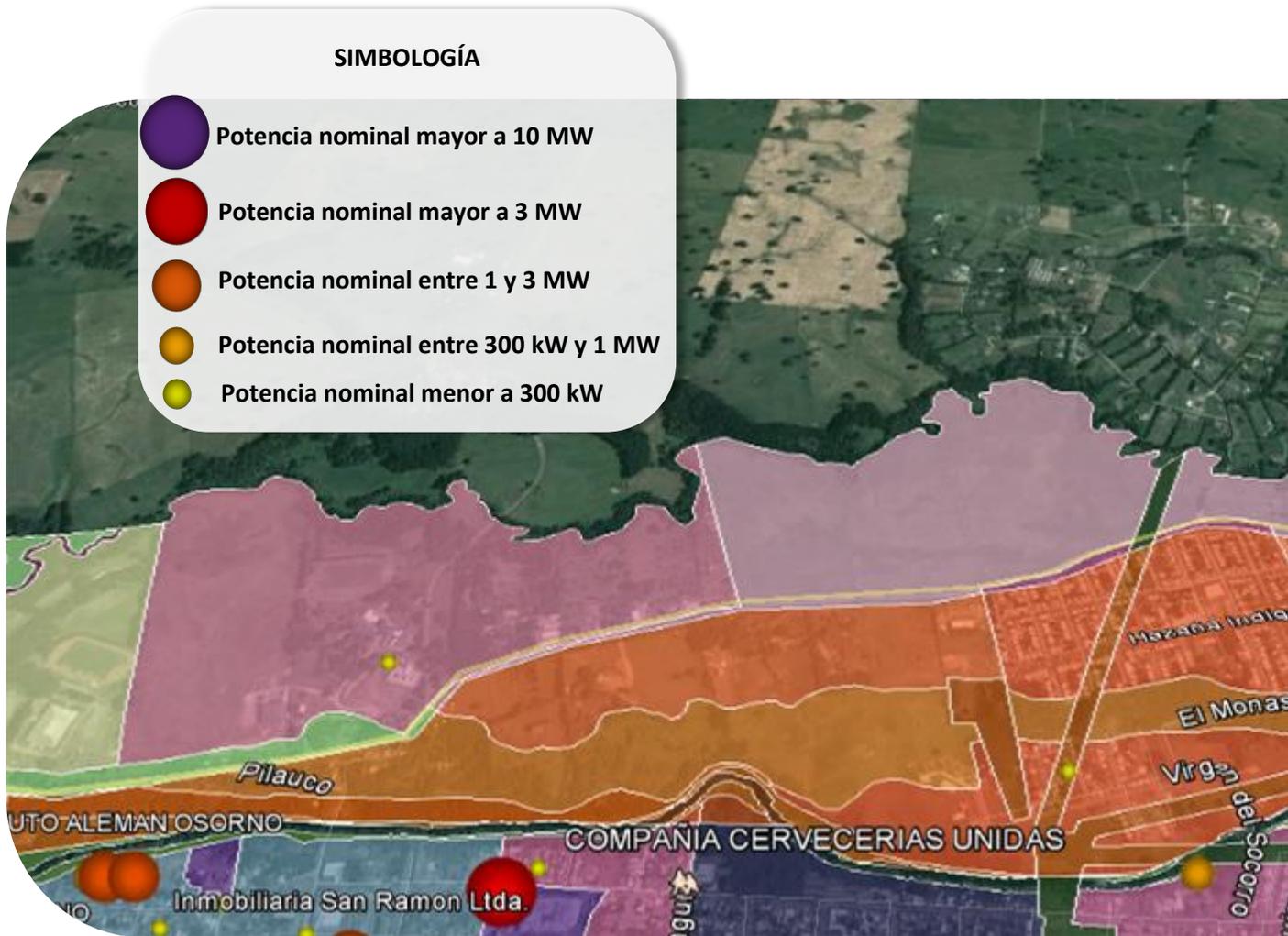


Figura 3.4: Sector Pilauco

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

3.3.3 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 3.5: Sector Trébol Sur

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

3.3.4 Sector Las Quemadas

Las Quemadas 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 potencial 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 desarrollará en un plazo de 7 años y las viviendas tendrán un costo entre 1500 y 4500 UF.

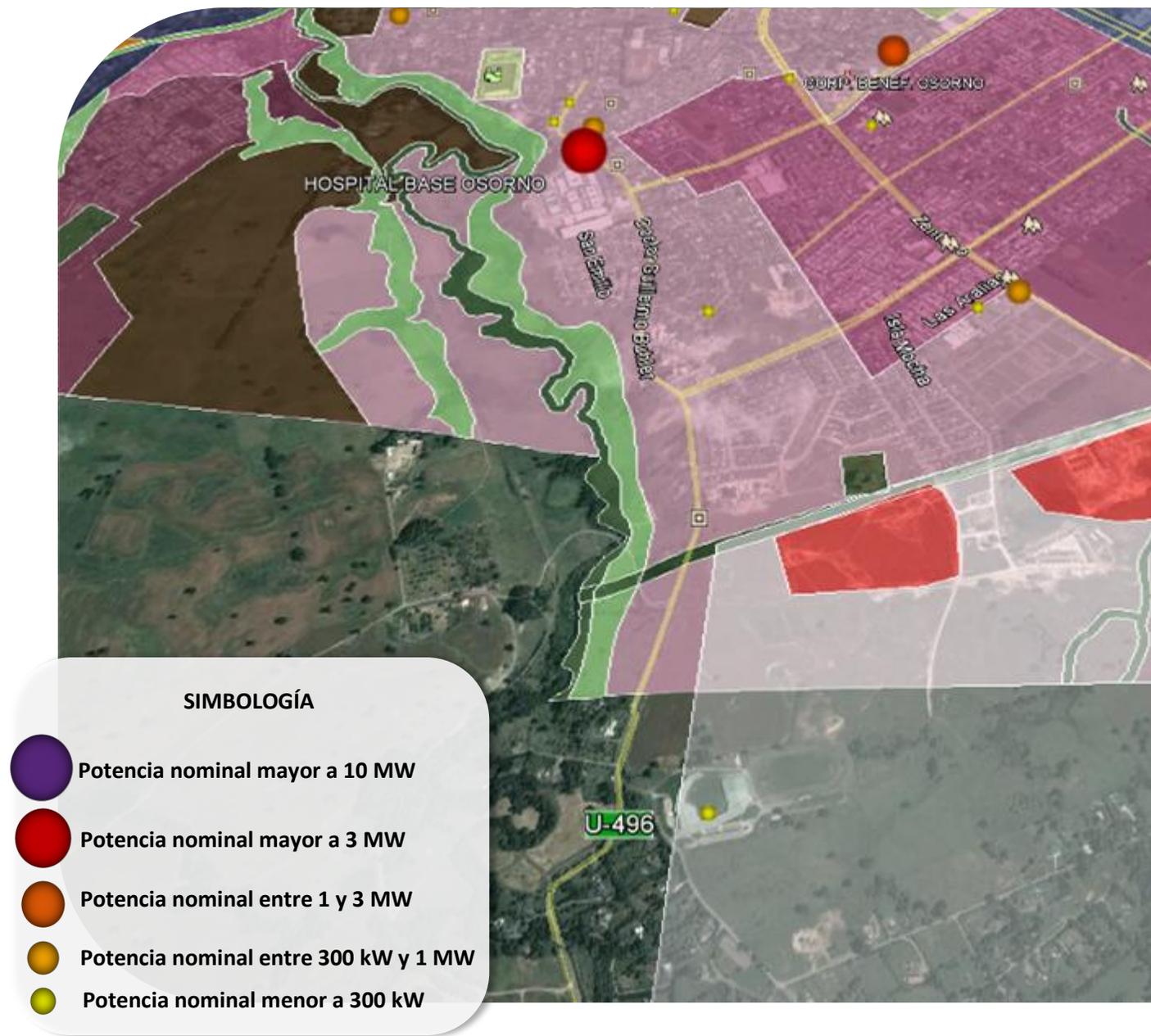


Figura 3.6: Sector Las Quemas

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

3.3.5 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 m² y 65 m². Faltan 130 viviendas por construir.



Figura 3.7: Sector Ovejería

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

3.3.6 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.

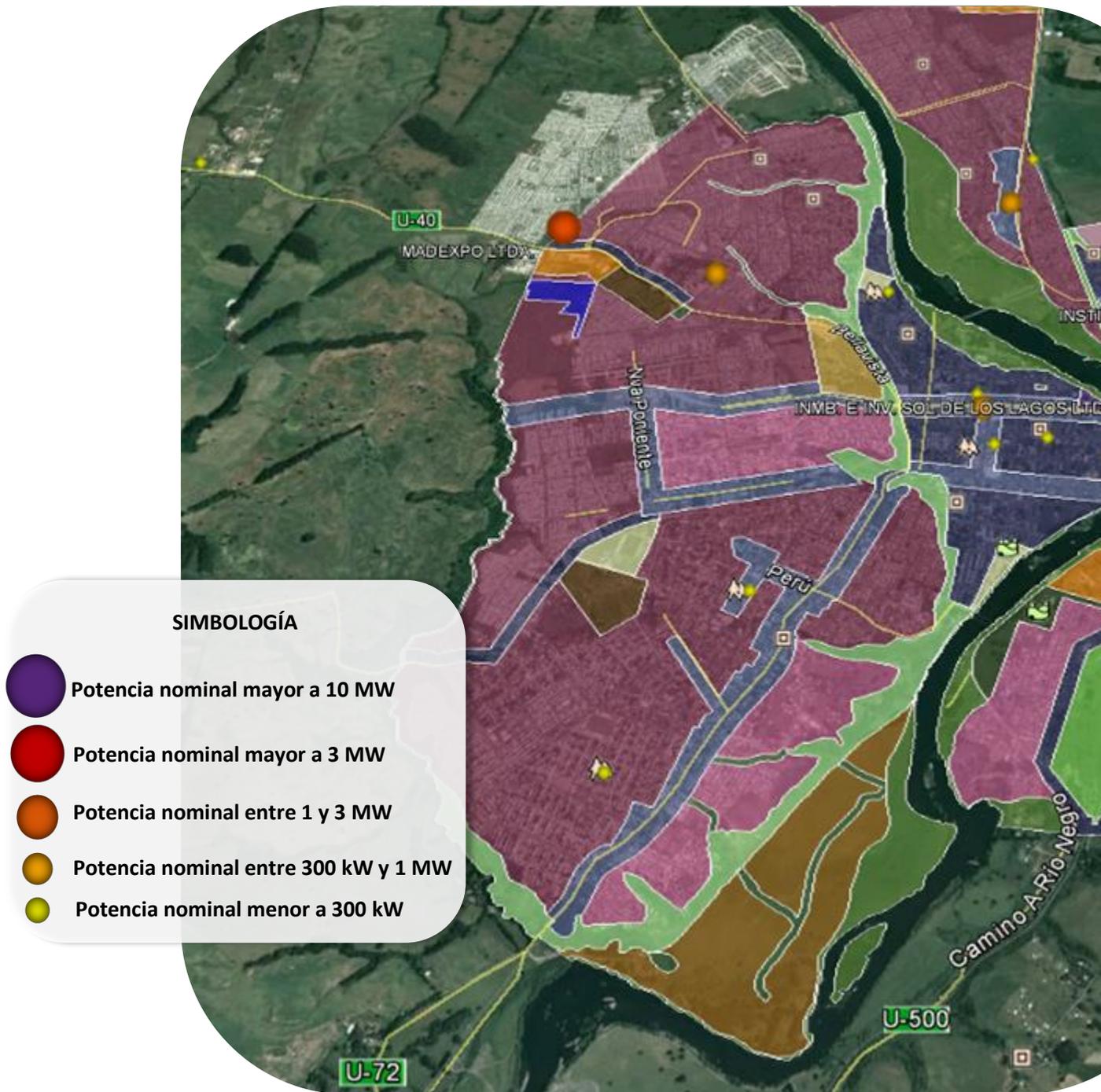


Figura 3.8: Sector Rahue

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada

Esta 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 posee 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 construirán 245 viviendas. El valor por vivienda es de aproximadamente 1300 a 1400 UF.

3.3.7 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 como 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 puramente 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.

4 Antecedentes de los proyectos

4.1 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.

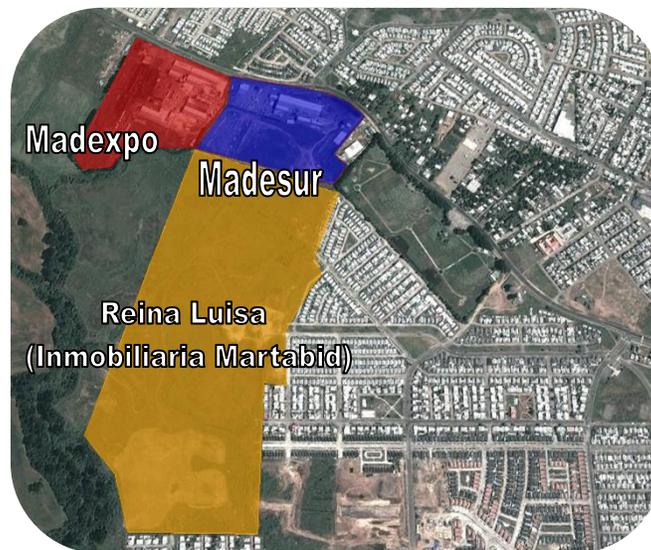


Figura 4.1: Localización del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

4.1.1 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.

Las operaciones de Madexpo tienen lugar en la comuna de Osorno, en el kilómetro 2 del la Ruta U-40, también conocida como “Camino al Mar”. La planta comprende un área construida de 6.471 m², 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 m³.

La caldera se abastece de los residuos de los propios procesos productivos, e incluye aserrín, astilla y viruta. Anualmente se produce un alto volumen de residuos industriales. Según Christian Porte, Gerente General de Madexpo, la disponibilidad anual de biomasa residual es 60.000 m³ de astillas, 22.000 m³ de aserrín, 12.000 m³ de corteza y 2.000 m³ de raspado de cancha. Los remanentes se venden clientes externos.

La caldera es de 4 MW y fue fabricada por la empresa italiana Bano Caldae. El consumo diario de combustible es 100 m³ al día, con una mezcla de 50% material seco y 50% material verde. Produce agua caliente. Trabaja con un factor de plante de 95% de uso. La parrilla es móvil y el sistema de alimentación tiene dos silos (aserrín y viruta) y una tolva que inyecta astillas con una banda sin fin a la parrilla móvil. La instalación de la caldera en general se ha ido adaptando según las necesidades de secado.

4.1.2 Madesur Ltda.

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

La planta de producción se localiza en el sector Rahue, en el kilómetro 2 de la carretera “Camino al mar”. Una parte importante del consumo energético de la empresa se debe a las dos cámaras de secado de 90 m³ y un túnel de secado de 120 m³.

Los procesos de Madesur Ltda. generan 25 m³ de biomasa residual, principalmente aserrín de viruta con un contenido de humedad entre el 10 y 15% (base húmeda). Las astillas tienen un contenido de humedad entre el 30-35%.

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 a continuación.

| 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 ³ |
| Combustible | Viruta seca |
| Poder calorífico | 2.500 kcal /kg |
| Consumo por hora | 1 m ³ |
| Cantidad de combustible almacenado | 50 m ³ |

Tabla 4.1. Especificaciones técnicas de la caldera de Madesur Ltda.

Fuente: Madesur Ltda.

4.1.3 Conjunto habitacional Reina Luisa

El Conjunto habitacional Reina Luisa es un proyecto propiedad de la Inmobiliaria y Constructora Martabid que tiene por objetivo la construcción de 1300 viviendas en 13 años. La etapa del proyecto que se considerará en la presente evaluación está compuesta por 245 viviendas individuales, que van desde los 45,52 m² hasta los 68,26 m² de superficie y valores entre las 800 UF y 1.100 UF. El proyecto está emplazado en un terreno

de 5,8 ha, la superficie total construida es de 15.804 m². Este proyecto fue analizado en el capítulo 4.2.

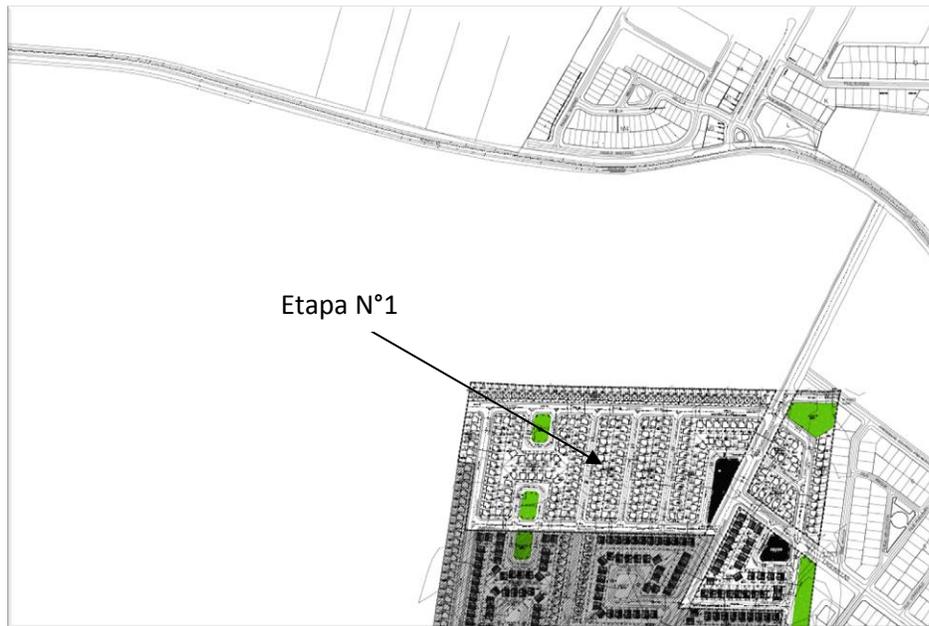


Figura 4.2: Etapa N°1 del Proyecto “Conjunto habitacional Reina Luisa”

Fuente: Martabid

4.2 Conjunto Las Palmas

El conjunto residencial Las Palmas está emplazado en un terreno de 12 ha en el sector sur de la ciudad de Osorno (figura 4.3) y se compone de 310 viviendas individuales, de 85,9 y 97,1 m² de superficie construida según reportado en la tabla 1, y avalúos que rondan entre las 2.600 y 2.900 UF.

| Modelo | Superficie (m ²) | Valor aprox. (UF) |
|--------|------------------------------|-------------------|
| 90 | 85,9 | 2.600 |
| 100 | 97,1 | 2.900 |

Tabla 4.2: Modelos de vivienda Conjunto Las Palmas

Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto



Figura 4.3: Ubicación del Conjunto Las Palmas
Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)



Figura 4.4: 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.

4.3 Conjunto Reina Luisa

El conjunto habitacional Reina Luisa se encuentra ubicado en la avenida Farellones, sector poniente de la ciudad de Osorno (figura 4.1), está conformado por 245 viviendas individuales, que van desde los 45,52 m² hasta los 68,26 m² 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 m².



Figura 4.5: Ubicación del Conjunto Las Palmas
Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)

En la tabla 4.1, 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 ²) | Valor aprox. (UF) |
|-----------------|-----------------|------------------------------|-------------------|
| Budi | 146 | 63,76 | 900 |
| Colico | 10 | 67,04 | 900 |
| Petrohué | 78 | 68,26 | 1.100 |
| Ranco | 11 | 45,52 | 800 |

Tabla 4.3: Modelos de vivienda Conjunto Reina Luisa
Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto

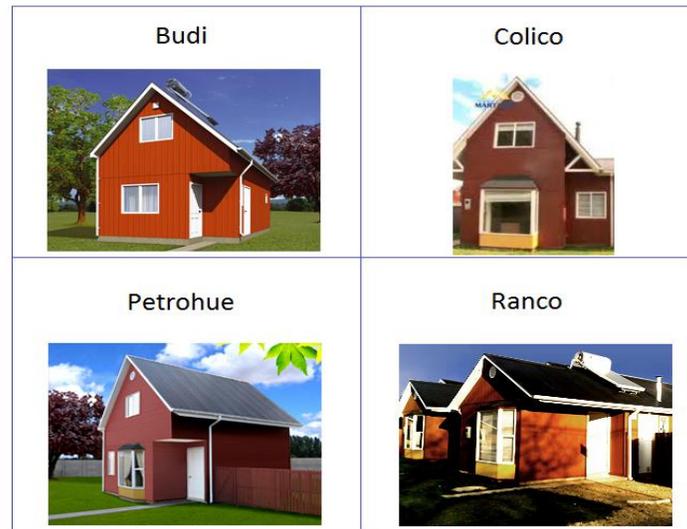


Figura 4.6: Viviendas del Conjunto Reina Luisa

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 m² de superficie construida.
- Los muros son de tabiquería liviana de madera con 50 mm de aislación 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 m², 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 aislación.

4.4 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 4.5), está conformado por 46 viviendas aisladas de 76,8 m² y 87,7 m², con sitios que van desde los 113,78 m² a 240,4 m².



Figura 4.7: Ubicación del Condominio Bellavista
 Plano general (izquierda) y acercamiento (derecha)

En la tabla 4.4, se señalan los 2 modelos de vivienda que contempla el proyecto, con sus respectivas superficies construidas y precios aproximados.

| Modelo | Nº de viviendas | Superficie (m ²) | Valor aprox. (UF) |
|-----------|-----------------|------------------------------|-------------------|
| 76 | 18 | 76,8 | 2.300 |
| 87 | 28 | 87,7 | 2.560 |

Tabla 4.4: Modelos de vivienda Condominio Bellavista
 Fuente: Especificaciones técnicas del proyecto



Figura 4.8: Viviendas del Condominio Bellavista
 Fuente: Socovesa

Se trata en general de viviendas de 2 pisos con superficies construidas de entre 77 a 8 m².



- 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^2K).
- Los muros del segundo nivel corresponden a una tabiquería liviana con 30 mm de aislación $U=1,63$ (W/m^2K)
- 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 m², 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^2K).
- El piso está montado sobre el terreno y no tiene aislación.

5 Requerimientos térmicos

5.1 Metodología

En primer lugar, es necesario expresar la diferencia que existe entre consumo y demanda térmica por parte de una vivienda: la demanda corresponde al requerimiento de calor necesario para mantener la vivienda a una determinada temperatura de confort, mientras que el consumo considera el requerimiento de calor demandado por la vivienda, más las pérdidas ocurridas en la generación y distribución de calor antes de llegar a ésta.

Para obtener el consumo térmico, distribuido entre calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), se debe dividir la demanda térmica por la eficiencia o rendimiento del sistema de generación y distribución de calor desde la central térmica a las viviendas.

5.1.1 Eficiencia térmica del sistema

Estimar la eficiencia global del sistema es un tema complejo, que depende de muchos factores. En primer lugar, es necesario definir las partes que componen el sistema, para calcular las pérdidas en cada una de esas partes y estimar así la eficiencia global.

Un sistema de calefacción distrital está constituido básicamente por 3 partes:

1. la planta térmica,
2. la red de distribución de calor,
3. los elementos de distribución al interior de los recintos.

En la planta térmica, las principales pérdidas se pueden dar en la caldera misma 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. Por lo tanto, se puede asumir en forma conservadora, una eficiencia probable de un 90%. Pese a que la eficiencia de la caldera en condiciones óptimas de operación puede ser mayor, es poco probable que, en proyectos cuya demanda es altamente estacional, ésta pueda operar en niveles óptimos en forma permanente.

Las pérdidas en la red de distribución se pueden calcular de acuerdo al diseño de tuberías de cada proyecto. Como puede verse en los cálculos reportados en capítulos posteriores, las pérdidas de eficiencia por la distribución de calor están en rangos del 2% al 10% de la potencia térmica del proyecto, dependiendo de las curvas de consumo y de la longitud de la red.

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, 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.

5.1.2 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. Éste es un programa líder en el mercado en el tema (<http://www.trnsys.com>).

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 300% respecto a las condiciones estándares de cálculo que se usan actualmente. Este tema ha tomado mucho énfasis a nivel mundial, en el sentido de mejorar los modelos, de tal forma de que permitan obtener el consumo de energía real en una vivienda y no sólo referencial.

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

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

Tabla 5.1. Modelos de comportamiento humano en consumo de calefacción

Fuente: Evaluación Independiente del Programa de Reacondicionamiento Térmico (2012)

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. El caso D se observa en viviendas que utilizan un combustible de mayor costo para calefaccionar, como sistemas a gas o parafina.

Sin embargo, puesto que una caldera a biomasa opera en forma más eficiente en sus niveles de diseño y de forma continua, el modelo A podría evaluarse, bajo 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.

Por lo tanto, los escenarios de evaluación que se consideraron fueron:

- a) Caso C descrito en tabla 5.1
- b) Caso A descrito en tabla 5.1, con tarifa nocturna diferenciada, para estimular el consumo en horas de baja demanda

Escenario 1: Temperatura de 21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs, sin calefacción el resto del día

Escenario 2: Temperatura de 21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs y de 15°C el resto del día

5.1.3 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)³, de la normativa española.

| 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 5.2. Consumos referenciales de ACS

Fuente: Código Técnico de Edificación (CTE)

³ 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).

Para calcular las necesidades de ACS, se considera un promedio de 4 habitantes por vivienda y, de acuerdo a la tabla 5.2, un consumo per cápita promedio anual de 30 l/día a 60°C. La temperatura de consumo se considera en 45°C, para lo cual se mezcla la temperatura 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 5.2 para viviendas unifamiliares, el consumo de agua a 60°C variará en el año según varíe la temperatura del agua de la red. Mediante matemática simple, se calculan los flujos per cápita de agua a 60°C necesarios para mantener un consumo estable a 45°C durante el año. Los resultados se reportan en la tabla 5.3.

| | Flujo de agua (l/día) | | |
|-------|-----------------------|--------|------|
| | 60°C | T° red | 45°C |
| Ene | 29,1 | 14,6 | 43,6 |
| Feb | 28,8 | 14,9 | 43,6 |
| Mar | 28,9 | 14,7 | 43,6 |
| Abr | 29,4 | 14,2 | 43,6 |
| May | 30,0 | 13,6 | 43,6 |
| Jun | 30,6 | 13,0 | 43,6 |
| Jul | 30,9 | 12,6 | 43,5 |
| Ago | 31,0 | 12,5 | 43,5 |
| Sep | 30,9 | 12,6 | 43,5 |
| Oct | 30,6 | 13,0 | 43,6 |
| Nov | 30,2 | 13,4 | 43,6 |
| Dic | 29,6 | 14,0 | 43,6 |
| Anual | 30,0 | 13,6 | 43,6 |

Tabla 5.3: Flujos diarios per cápita de ACS

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:

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

donde

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

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

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

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

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

5.1.4 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.

5.2 Resultados

5.2.1 Calefacción

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

5.2.1.1 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.

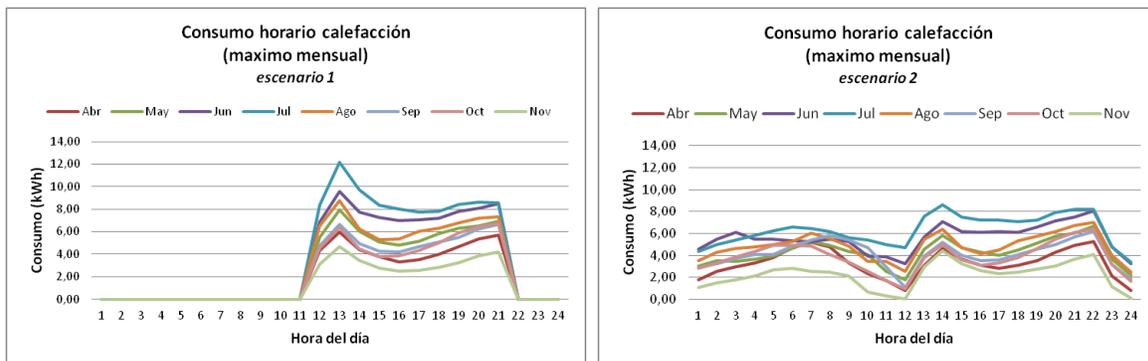


Figura 5.1: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Conjunto Las Palmas

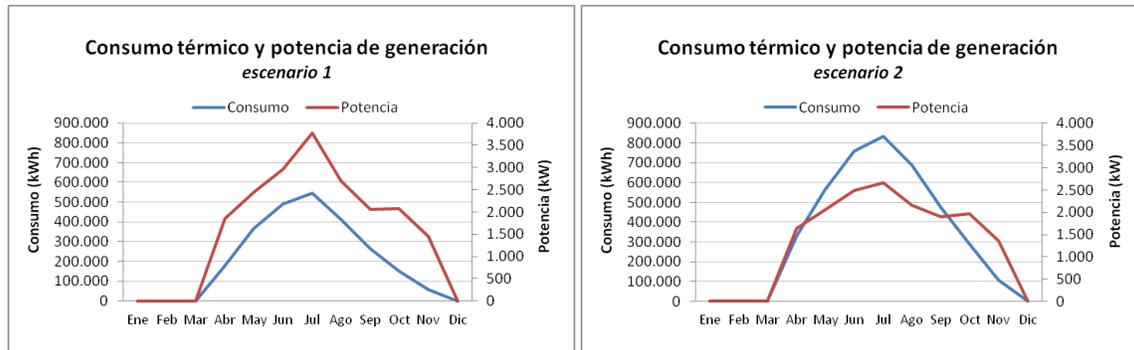


Figura 5.2: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Conjunto Las Palmas

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 5.4: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas

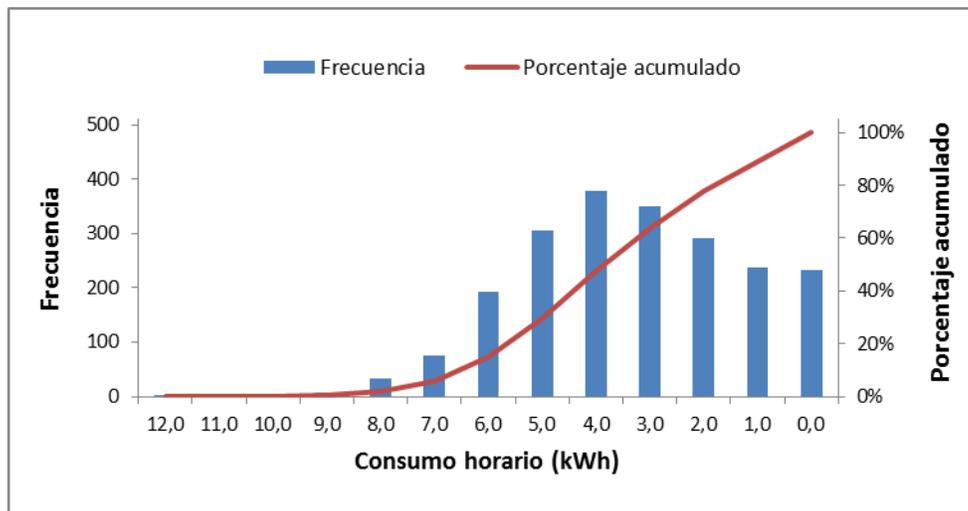


Figura 5.3: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas

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 5.4.

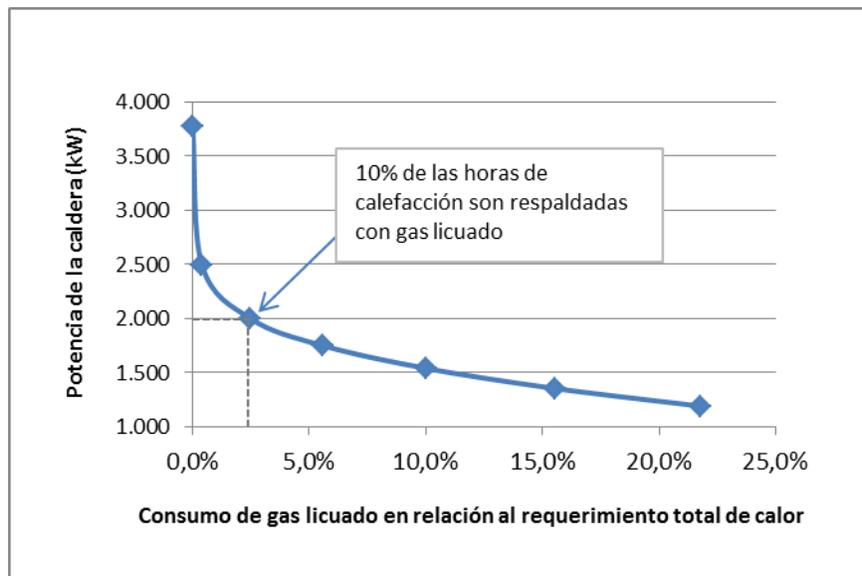


Figura 5.4: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo el escenario 1, Conjunto Las Palmas

| 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 5.5: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas

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.

| 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 5.6: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas

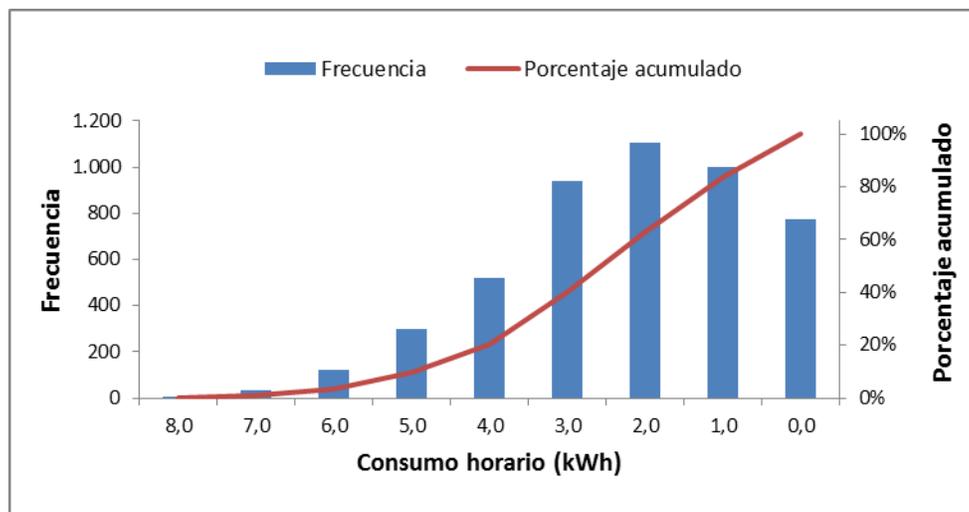


Figura 5.5: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas

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 5.6.

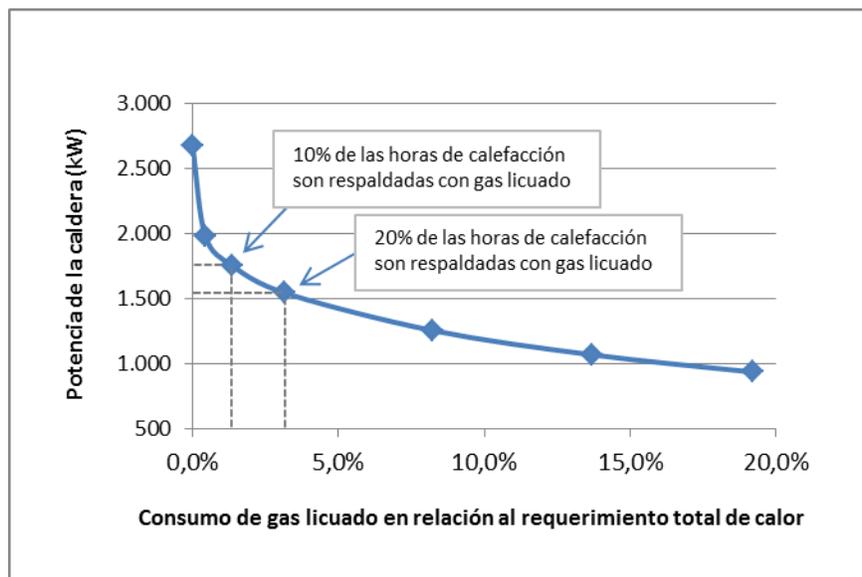


Figura 5.6: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo el escenario 2, Conjunto Las Palmas

| 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 5.7: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas

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

Para determinar el impacto que tiene aumentar el volumen de inercia en la potencia de operación de la caldera, se simuló escenarios en 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 5.8.

| | 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 5.8: Escenarios de calefacción con depósitos de inercia bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas

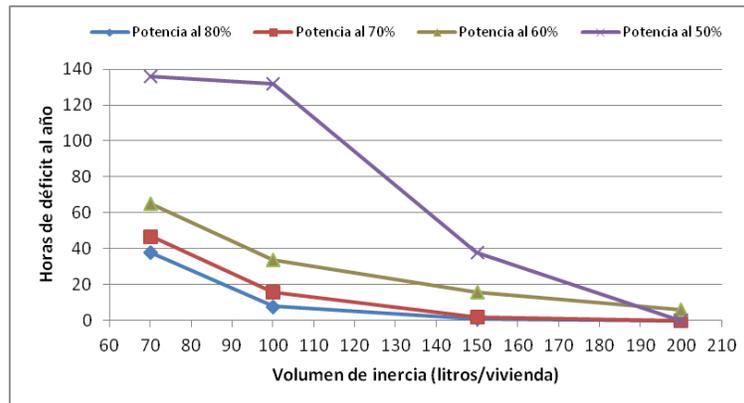


Figura 5.7: Horas de déficit de calefacción al año según nivel de operación de caldera y volumen de inercia bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas

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.

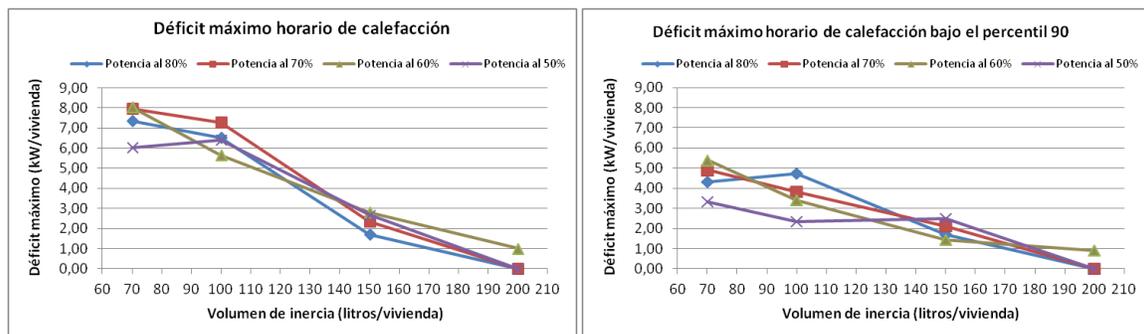


Figura 5.8: Déficit máximo de calefacción según volumen de inercia y nivel de operación de la caldera bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas

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 abastecidas con la caldera de respaldo a gas licuado.

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

Tabla 5.9: Consumo biomasa-gas según volumen de inercia y potencia de la caldera bajo escenario 1, Conjunto Las Palmas

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%⁴ 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 5.10.

⁴ 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 5.10: Escenarios de calefacción con depósitos de inercia bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas

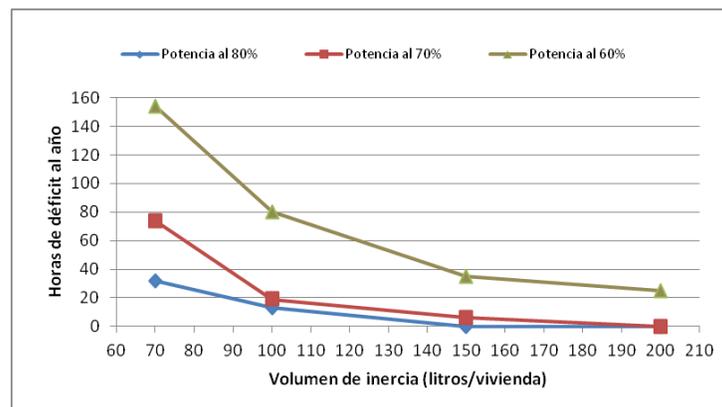


Figura 5.9: Horas de déficit de calefacción al año según nivel de operación de caldera y volumen de inercia bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas

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.

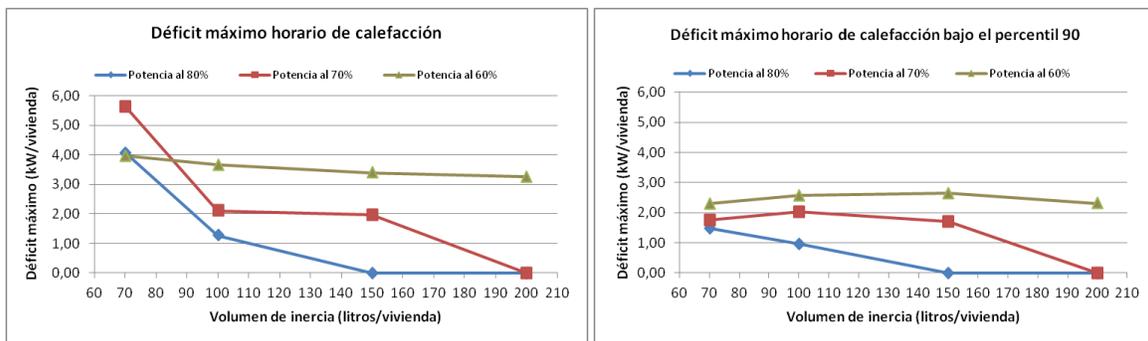


Figura 5.10: Déficit máximo de calefacción según volumen de inercia y nivel de operación de la caldera bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas

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

Tabla 5.11: Consumo biomasa-gas según volumen de inercia y potencia de la caldera bajo escenario 2, Conjunto Las Palmas

5.2.1.2 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.

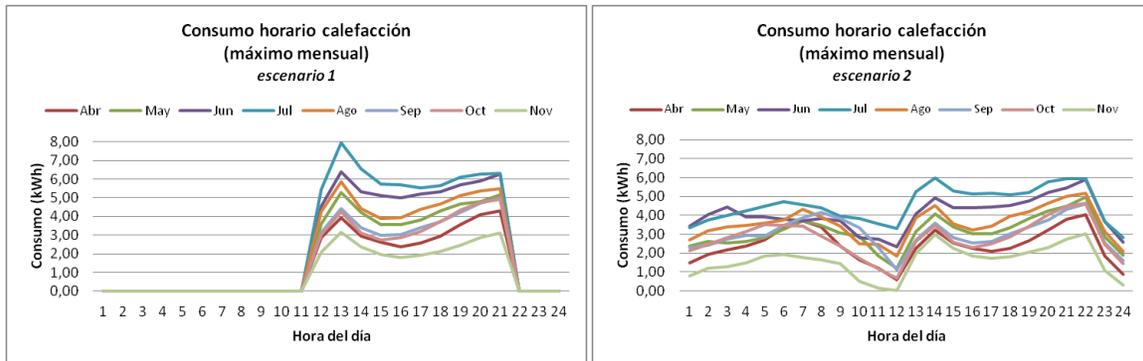


Figura 5.11: Consumo horario máximo mensual en calefacción, Conjunto Reina Luisa

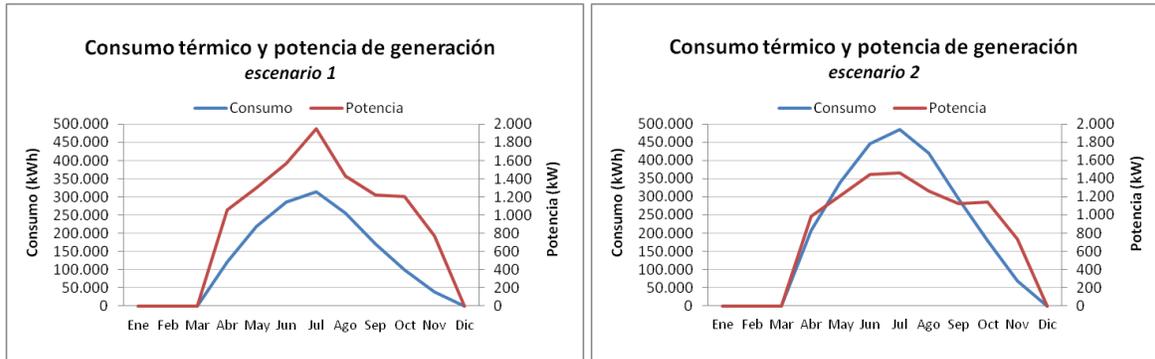


Figura 5.12: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Conjunto Reina Luisa

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 5.12: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa

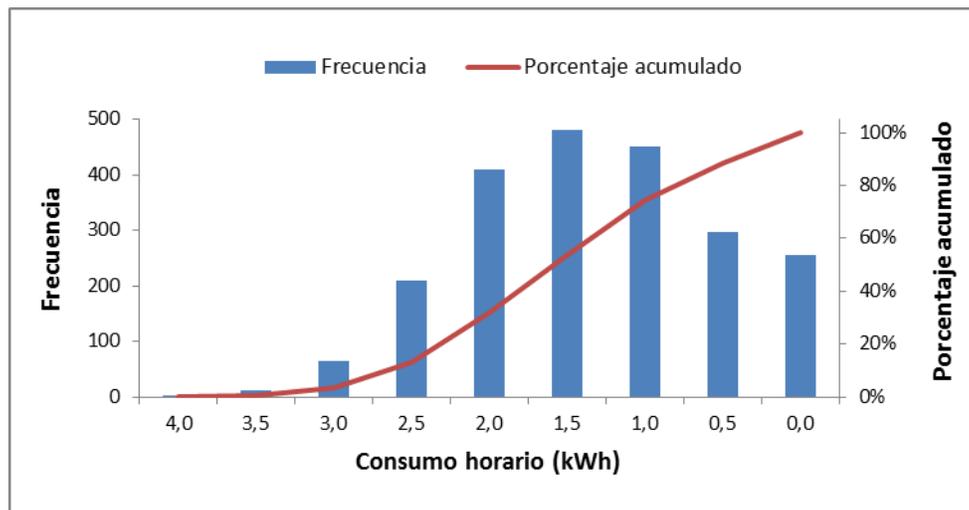


Figura 5.13: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa

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 5.14.

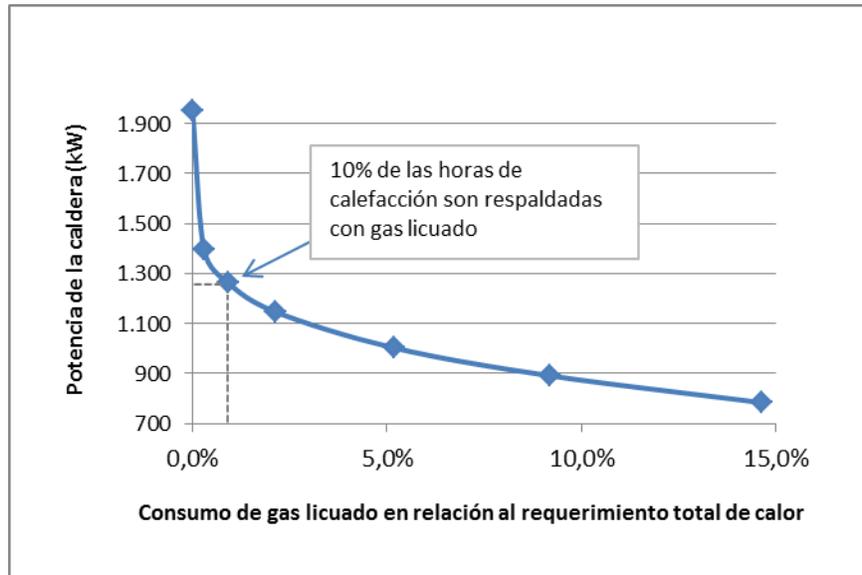


Figura 5.14: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa

| 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 5.13: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Conjunto Reina Luisa

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 5.14: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa

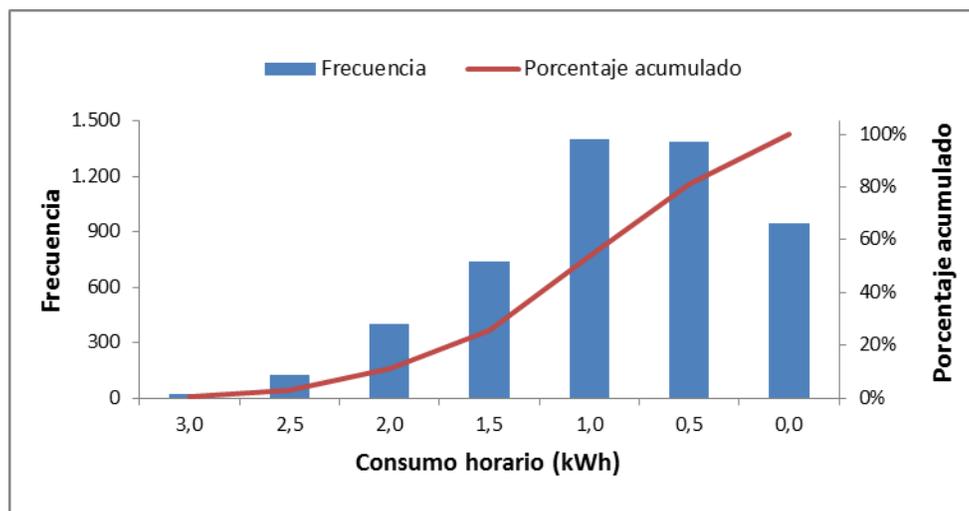


Figura 5.15: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa

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 5.16.

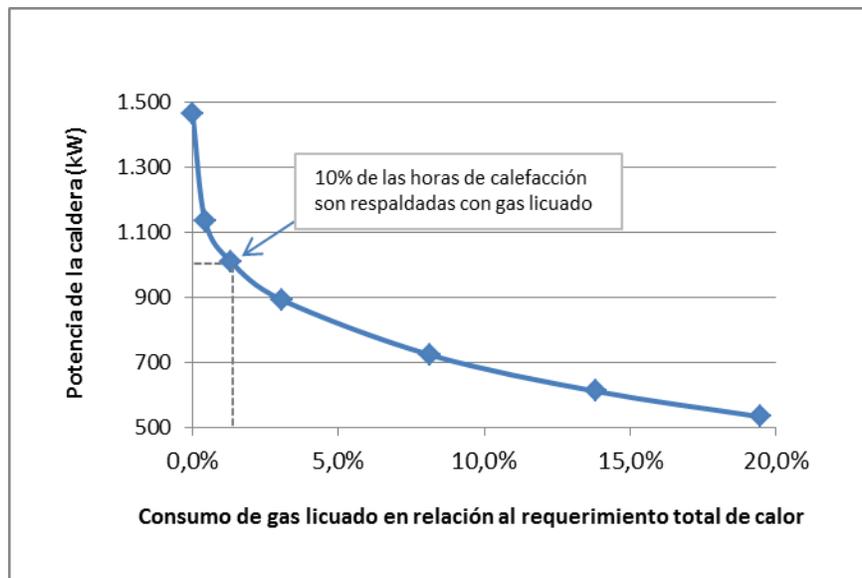


Figura 5.16: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa

| 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% | 1.463 | 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 5.15: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Conjunto Reina Luisa

5.2.1.3 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.

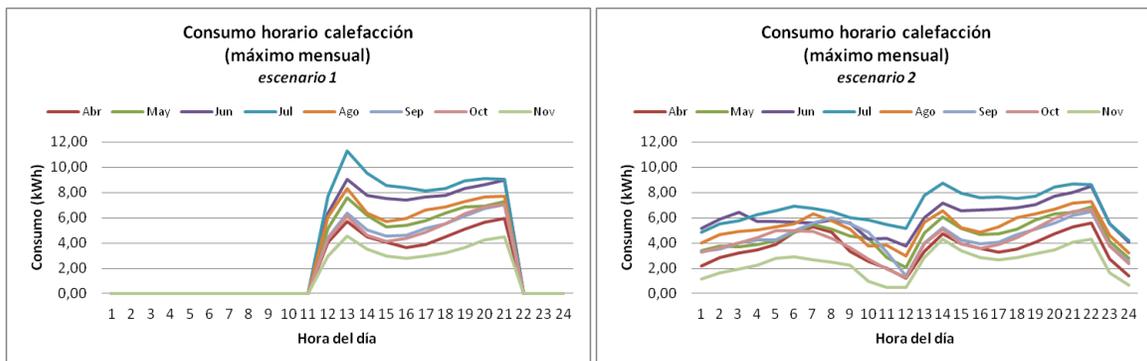


Figura 5.17: Consumo horario máximo mensual en calefacción por vivienda, Condominio Bellavista

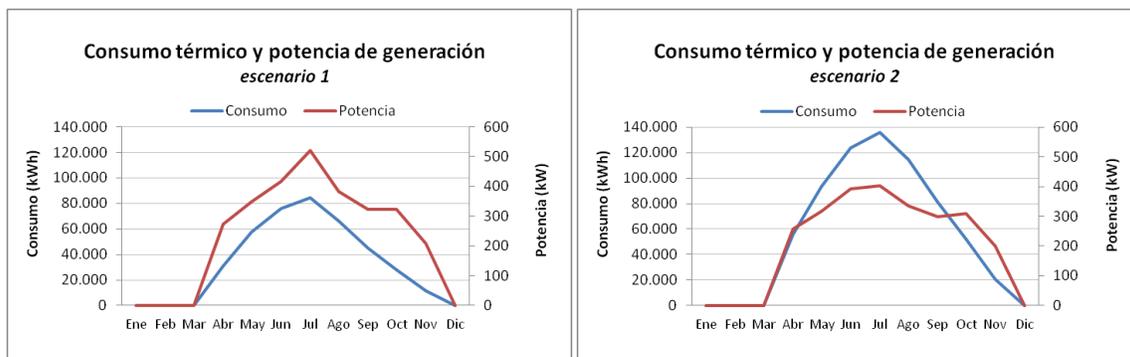


Figura 5.18: Consumo mensual en calefacción y potencia nominal, Condominio Bellavista

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 5.16: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Condominio Bellavista

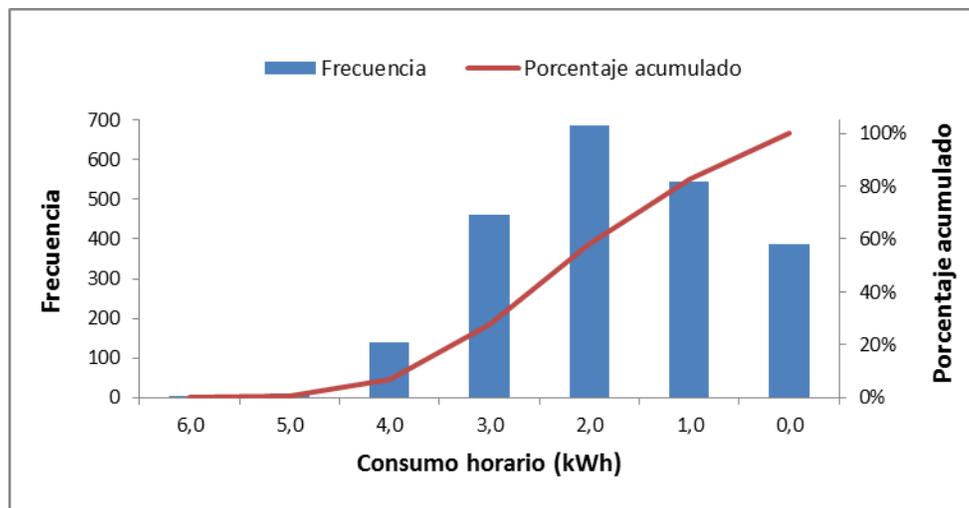


Figura 5.19: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 1, Condominio Bellavista

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 5.20.

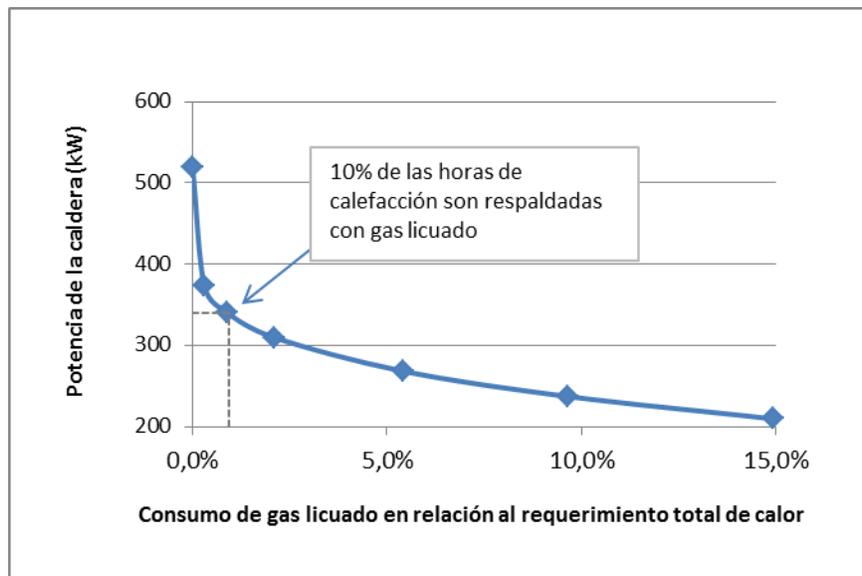


Figura 5.20: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 1, Condominio Bellavista

| 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 5.17: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 1, Condominio Bellavista

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 5.18: Histograma de consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Condominio Bellavista

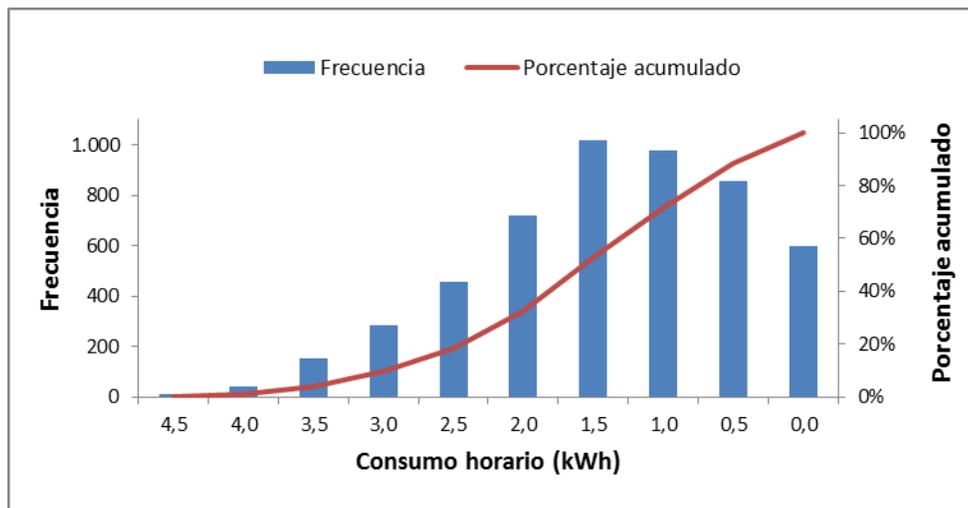


Figura 5.21: Histograma consumo horario en calefacción bajo escenario 2, Condominio Bellavista

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 5.22.

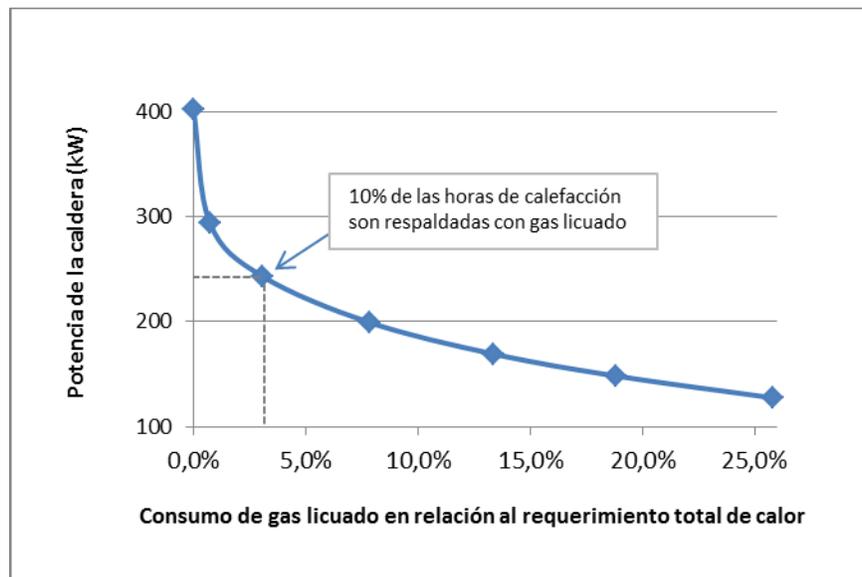


Figura 5.22: Efecto en la potencia de la caldera a biomasa al respaldar con gas licuado los requerimientos térmicos bajo escenario 2, Condominio Bellavista

| 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 5.19: Consumo mixto biomasa – gas licuado bajo escenario 2, Condominio Bellavista

5.2.1.4 Resumen requerimientos calefacción proyectos residenciales

De los gráficos anteriores, se puede observar el efecto que tienen los hábitos de consumo de calefacción en el diseño del sistema. La tabla 5.20 resume lo anterior.

| Proyecto | Escenario 1 | | Escenario 2 | |
|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | Consumo calefacción (kWh/año) | Potencia de generación (kW) | Consumo calefacción (kWh/año) | Potencia de generación (kW) |
| Conjunto Las Palmas | 2.427.441 | 3.775 | 3.984.715 ↑64% | 2.671 ↓29% |
| Conjunto Reina Luisa | 1.502.151 | 1.949 | 2.442.379 ↑63% | 426 ↓25% |
| Condominio Bellavista | 400.143 | 520 | 678.266 ↑70% | 403 ↓23% |

Tabla 5.20: Consumo anual en calefacción y potencia de generación

El fenómeno de la inercia térmica explica las diferencias que se observan al comparar consumo térmico y potencia en los distintos proyectos, para ambos escenarios de consumo. Para llegar a la temperatura de confort al interior del recinto, el sistema debe entregar energía suficiente para romper la inercia térmica de la vivienda y calefaccionar el ambiente. Asimismo, cuando el sistema deja de entregar energía, la vivienda comienza a ceder la energía absorbida. De esta forma, la misma vivienda se convierte en un dispositivo de almacenamiento de calor. La cantidad de calor que absorbe depende de las características constructivas de ésta y no es igual en todos los casos. La radiación solar, que depende de la orientación de la vivienda y de la superficie de ventanas en contacto con el exterior, forma parte de la energía que absorbe la vivienda.

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.

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.

5.2.2 Agua caliente sanitaria

En la tabla 5.8, 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 5.21: Consumo térmico y potencia de generación en ACS por proyecto

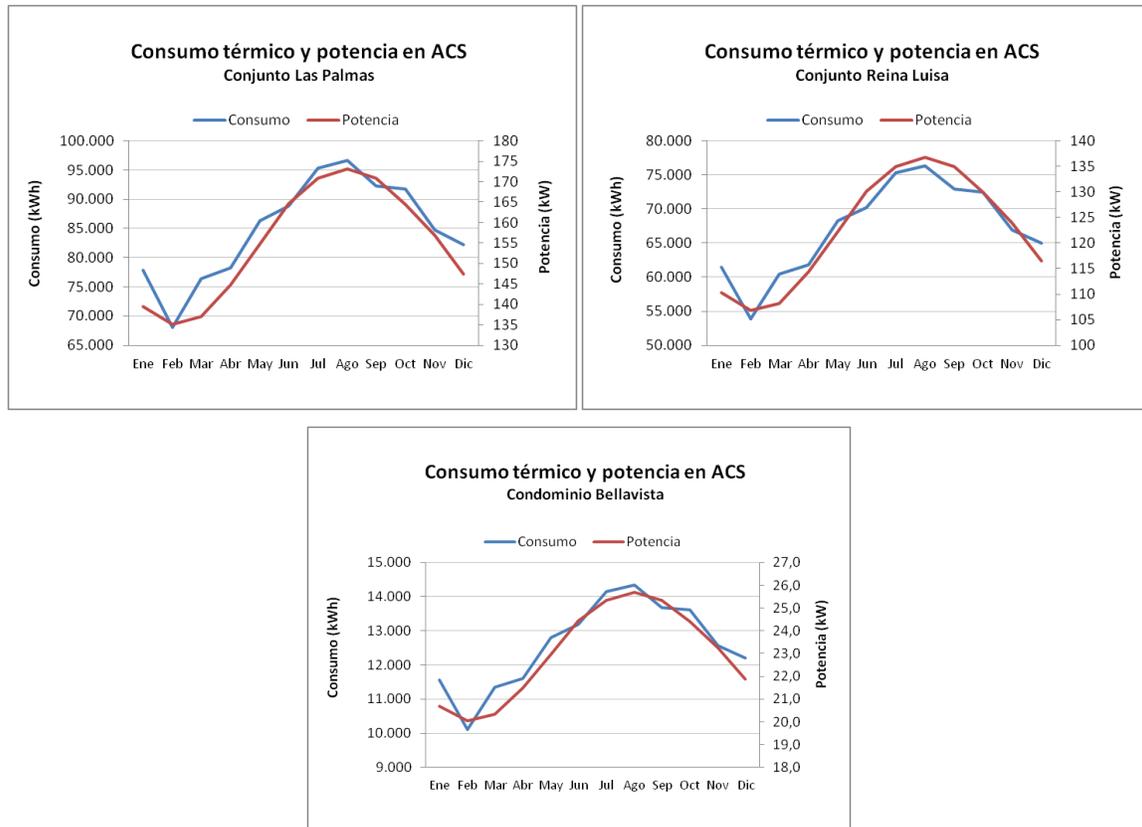


Figura 5.23: Consumo térmico y potencia de generación en ACS por proyecto

5.3 Resumen requerimientos térmicos proyectos residenciales

5.3.1 Escenario 1

En la tabla 5.22, se resumen los consumos térmicos de los 3 proyectos estudiados, bajo el escenario 1 de consumo. Se observa que el ACS representa entre un 27% y un 35% del consumo total de calor.

| | 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 5.22: Consumo (kWh) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto

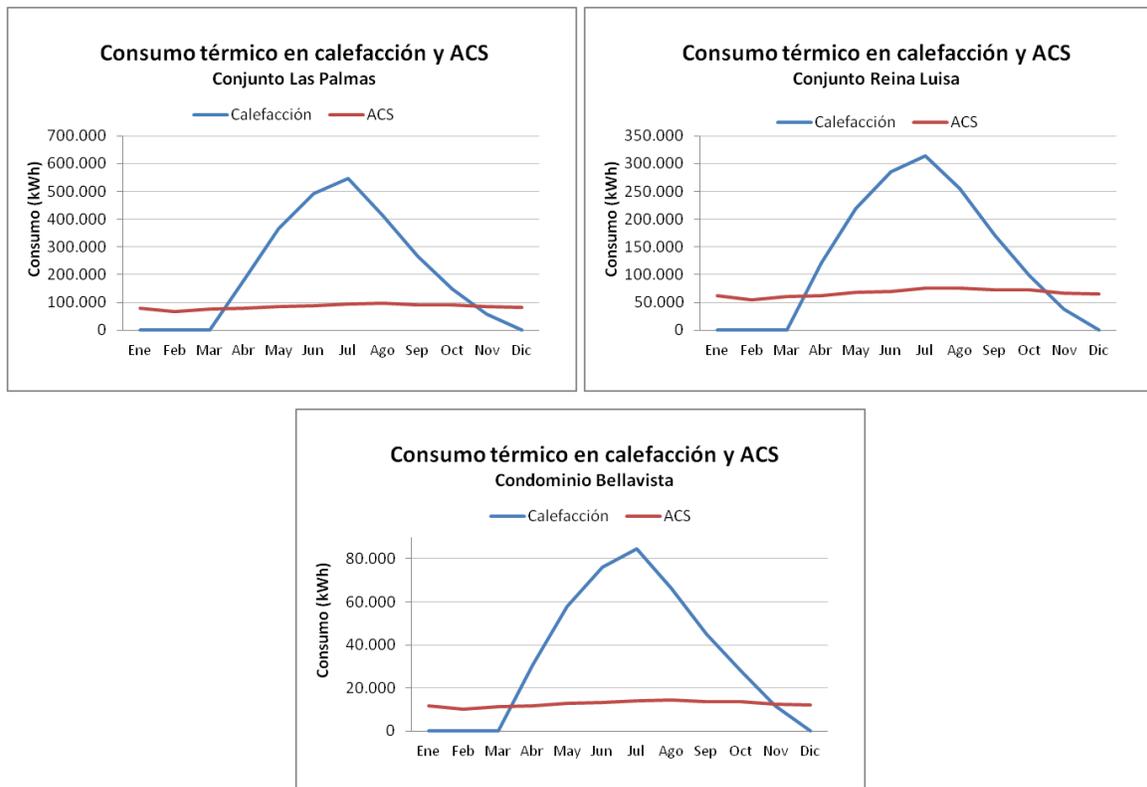


Figura 5.24: Consumo en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto

En la tabla 5.23, se reporta la potencia de generación de calor para cada uno de los 3 proyectos estudiados, bajo el escenario 1 de consumo. Se observa que el ACS representa sólo entre un 4% y un 7% de la potencia total de generación calor.

| | 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 5.23: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto

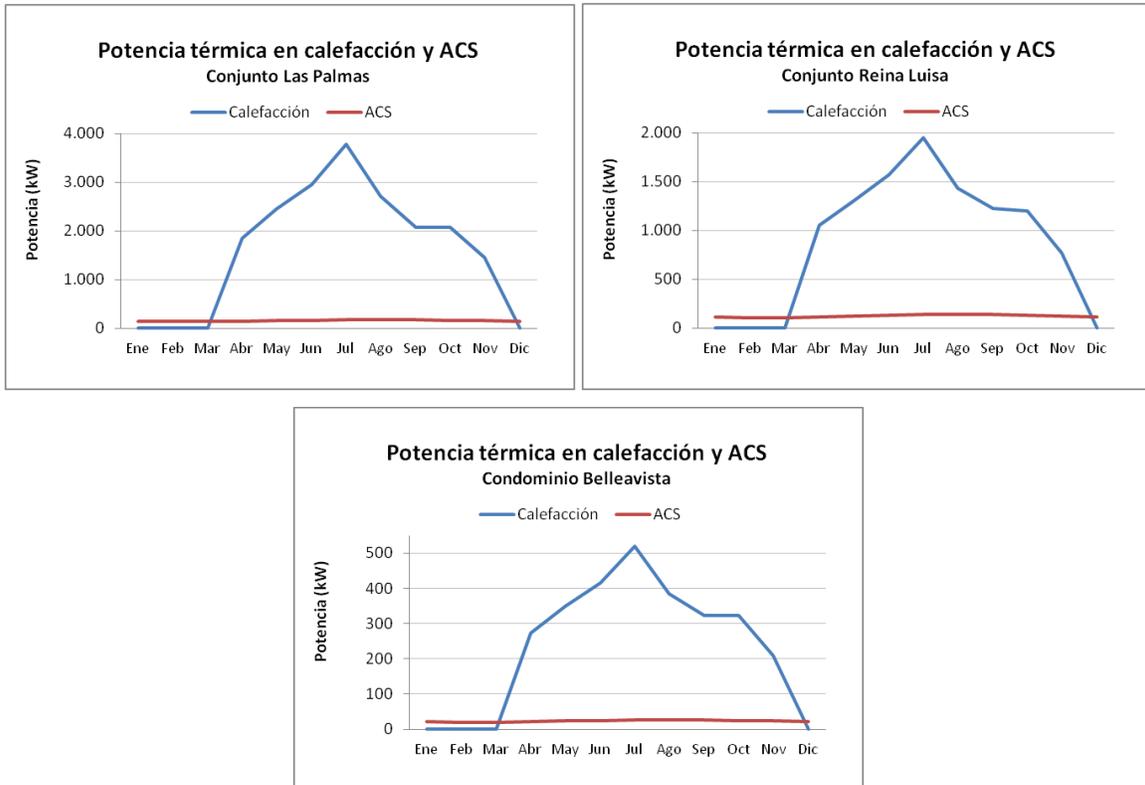


Figura 5.25: Potencia térmica en calefacción y ACS bajo escenario 1, por proyecto

5.3.2 Escenario 2

En la tabla 5.24, se resumen los consumos térmicos de los 3 proyectos estudiados, bajo el escenario 2 de consumo. Se observa que el ACS representa entre un 18% y un 25% del consumo total de calor.

| | 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 5.24: Consumo (kWh) en calefacción y ACS para escenario 2, por proyecto

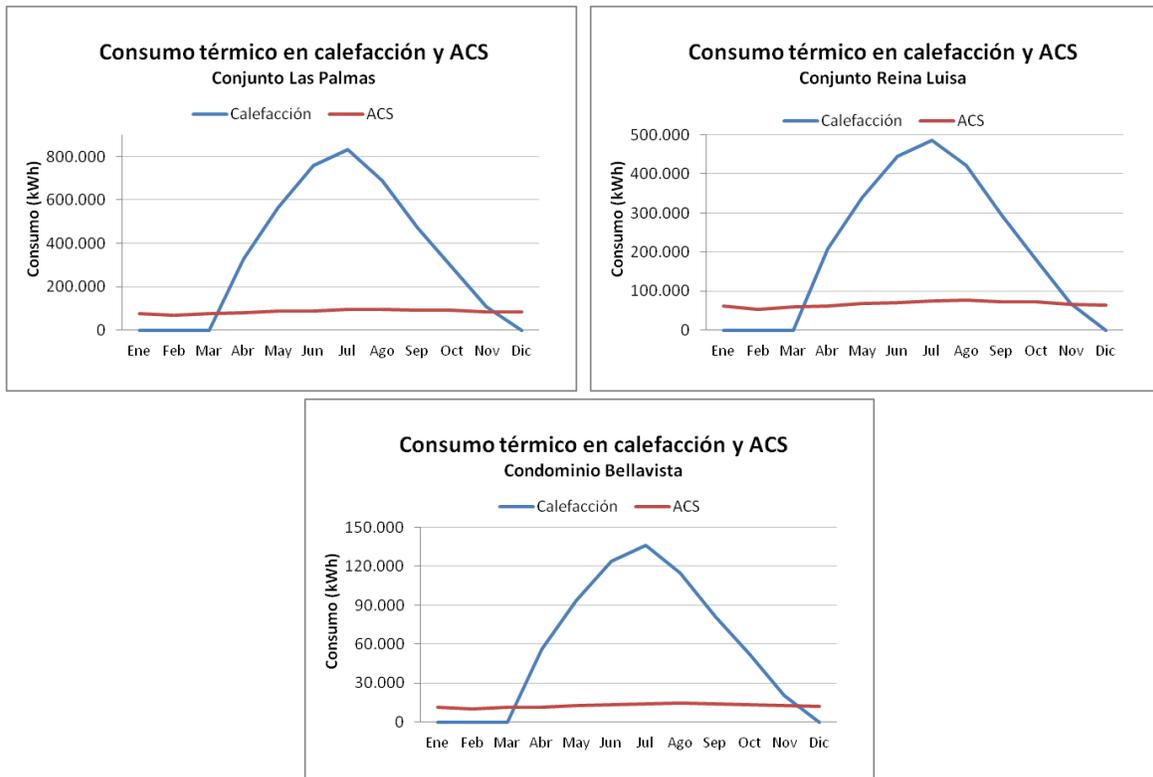


Figura 5.26: Consumo en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto

En la tabla 5.25, se reporta la potencia de generación de calor para cada uno de los 3 proyectos estudiados, bajo el escenario 2 de consumo. Se observa que el ACS representa sólo entre un 6% y un 9% de la potencia total de generación calor.

| | 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 5.25: Potencia (kW) en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto

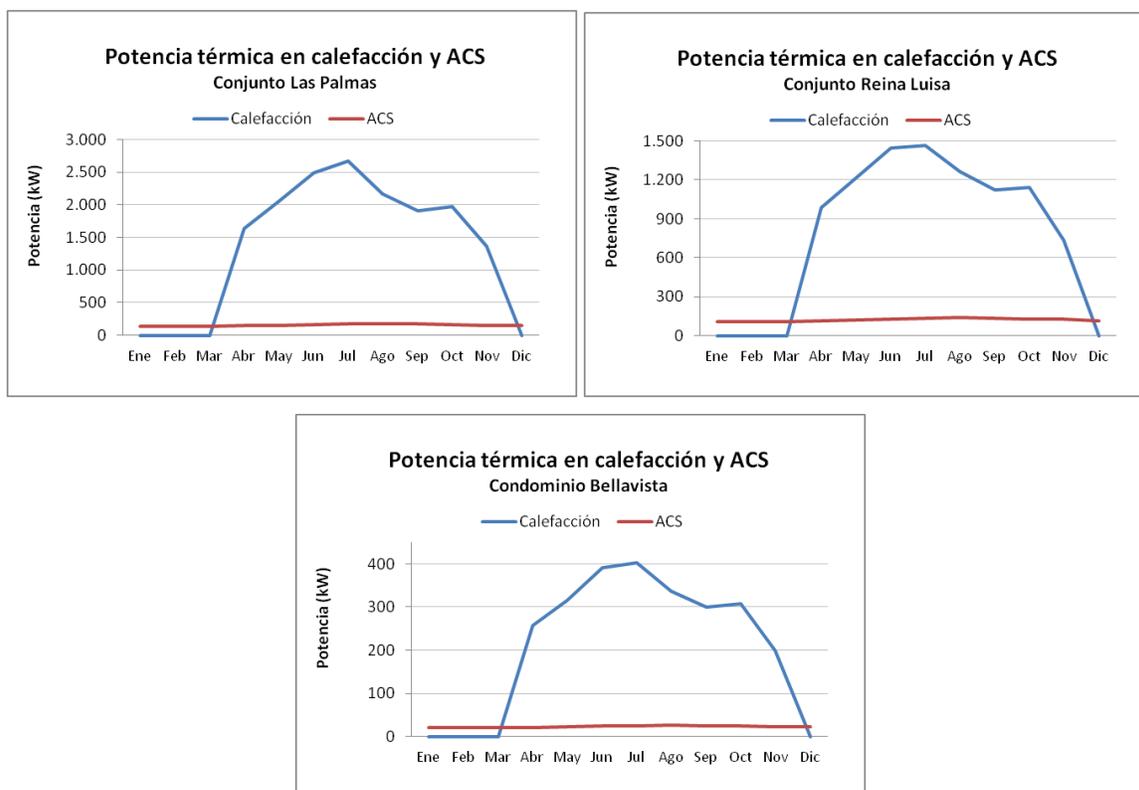


Figura 5.27: Potencia térmica en calefacción y ACS bajo escenario 2, por proyecto

5.4 Requerimientos de combustibles de proyectos residenciales

Para fines de cálculo de los requerimientos de biomasa de los proyectos estudiados en Osorno, se consideraron chips de pino radiata, con un contenido de humedad del 50% en base húmeda, un poder calorífico inferior (PCI) de 2.800 kcal/kg y una densidad de 490 kg/m³. El gas licuado del petróleo tiene un PCI de 12.100 kcal/kg y una densidad de 0,55 kg/m³.

En la tabla 5.26, se reportan los cálculos de requerimiento de biomasa y de gas licuado, según cada escenario evaluado. Los escenarios 1 y 2 sólo contemplan el uso de biomasa, dejando el gas licuado como un combustible de emergencia. Sin embargo, los otros dos escenarios evaluados contemplan el uso de gas licuado para alcanzar los peaks anuales, de forma de reducir la potencia de la caldera a biomasa. Como se puede ver de la tabla, en los dos últimos escenarios, el consumo de gas licuado es muy reducido, mientras que el efecto que tienen en disminuir la potencia de la caldera a biomasa es importante.

| | | Conjunto Las Palmas | Conjunto Reina Luisa | Condominio Bellavista | |
|---|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------|
| Escenario 1 | 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) | 1.058 | 709 | 169 | |
| | | (m ³ /año) | 2.160 | 1.446 | 346 |
| | Consumo gas licuado (kWh/año) | 0 | 0 | 0 | |
| | | (kg/año) | 0 | 0 | 0 |
| Escenario 2 | 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) | 1.537 | 997 | 255 | |
| | | (m ³ /año) | 3.136 | 2.036 | 520 |
| | Consumo gas licuado (kWh/año) | 0 | 0 | 0 | |
| | | (kg/año) | 0 | 0 | 0 |
| Escenario 1, respaldo con gas licuado | 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) | 1.040 | 685 | 166 | |
| | | (m ³ /año) | 2.122 | 1.397 | 338 |
| | Consumo gas licuado (kWh/año) | 60.396 | 77.825 | 11.534 | |
| | | (kg/año) | 2.361 | 3.042 | 451 |
| Escenario 1, depósitos de inercia y respaldo con gas licuado | 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) | 1.046 | 699 | 168 | |
| | | (m ³ /año) | 2.135 | 1.427 | 343 |
| | Consumo gas licuado (kWh/año) | 39.443 | 30.337 | 3.664 | |
| | | (kg/año) | 1.542 | 1.186 | 143 |
| Escenario 2, respaldo con gas licuado | Consumo térmico (kWh/año) | 5.003.271 | 3.247.367 | 829.407 | |
| | | (kWh/año) | 4.847.212 | 3.186.768 | 810.477 |
| | Consumo biomasa (ton/año) | 1.489 | 979 | 249 | |
| | | (m ³ /año) | 3.038 | 1.998 | 508 |
| | Consumo gas licuado (kWh/año) | 156.059 | 60.599 | 18.930 | |
| | | (kg/año) | 6.100 | 2.369 | 740 |
| Escenario 2, depósitos de inercia y respaldo con gas licuado | 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) | 1.520 | 995 | 253 | |
| | | (m ³ /año) | 3.102 | 2.031 | 517 |
| | Consumo gas licuado (kWh/año) | 54.133 | 7.580 | 4.868 | |
| | | (kg/año) | 2.116 | 296 | 190 |

Tabla 5.26: Consumo de combustible por proyecto y en cada escenario evaluado

5.5 Requerimientos energéticos proyecto mixto

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 la calefacción y agua caliente sanitaria presentados en la sección anterior. Los requerimientos energéticos de los aserraderos Madexpo S.A. y Madesur Ltda. fueron determinados con base a las especificaciones técnicas de los equipos de combustión, frecuencia y tiempo de operación, e información sobre el consumo de electricidad a partir de facturas de servicio eléctrico.

5.5.1 Madexpo S.A.

5.5.1.1 Requerimientos actuales de energía térmica

La energía térmica que consume Madexpo S.A. 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, y 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 S.A. La información de los equipos, consumo de biomasa y el modo de utilización fue brindada 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 m³, compuesto por astillas de pino radiata, de las cuales 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.

5.5.1.2 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 cuales fueron facilitadas por Madexpo S.A. El consumo mensual se mantiene estable durante todo el año.

| Mes | 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 |
| Anual | 3.259.440 |

Tabla 5.27: Consumo de electricidad de Madexpo S.A.

Fuente: Madexpo S.A.

5.5.2 Madesur Ltda.

5.5.2.1 Requerimientos actuales de energía térmica

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

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

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:

$$Q = 9.366.112 \text{ KJ} = 2.602 \text{ kWh}$$

A partir de este resultado, se obtiene el calor requerido diariamente y mensualmente. Según el señor Eduardo Karle, Gerente General de Madesur, la caldera solamente trabaja 10 meses al año. En estos 10 meses se utiliza 10 horas/día. El consumo de Madesur Ltda. es de 7.961.195 kWh_{th}/año.

5.5.2.2 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 y facilitadas por Madesur Ltda. El consumo anual es de 263.690 kWh y se mantiene estable durante todo el año.

| Mes | Consumo eléctrico (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 |
| Anual | 263.690 |

Tabla 5.28: Consumo de electricidad de Madesur Ltda.

Fuente: Elaboración propia

5.5.3 Conjunto habitacional Reina Luisa

5.5.3.1 Consumo de energía térmica

El escenario que se considerará para el cálculo de los requerimientos totales del proyecto mixto es el número 2, el cual plantea una temperatura de 21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs y de 15°C el resto del día. El mayor consumo energético se da en los meses de junio, julio y agosto, con consumos entre 497.377 kWh_{th} y 560.915 kWh_{th}. Los meses de enero, febrero, marzo y diciembre presentan los consumos mensuales más bajos.

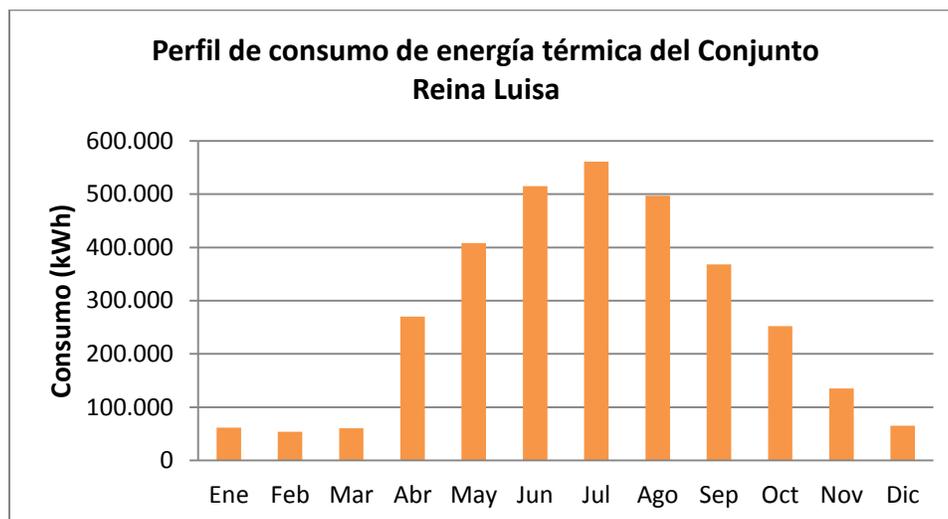


Figura 5.28. Perfil de consumo de energía térmica del Conjunto Reina Luisa

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.

| | Escenario 1 | | | Escenario 2 | | |
|--------------|------------------|----------------|------------------|------------------|----------------|------------------|
| | Calefacción | ACS | Total | Calefacción | ACS | Total |
| Ene | 0 | 61.520 | 61.520 | 0 | 61.520 | 61.520 |
| Feb | 0 | 53.825 | 53.825 | 0 | 53.825 | 53.825 |
| Mar | 0 | 60.404 | 60.404 | 0 | 60.404 | 60.404 |
| Abr | 120.496 | 61.797 | 182.293 | 208.158 | 61.797 | 269.955 |
| May | 219.161 | 68.227 | 287.388 | 339.792 | 68.227 | 408.019 |
| Jun | 285.417 | 70.253 | 355.670 | 445.042 | 70.253 | 515.295 |
| Jul | 314.232 | 75.332 | 389.564 | 485.583 | 75.332 | 560.915 |
| Ago | 254.858 | 76.349 | 331.207 | 421.028 | 76.349 | 497.377 |
| Sep | 171.021 | 72.902 | 243.923 | 295.109 | 72.902 | 368.011 |
| Oct | 98.269 | 72.494 | 170.763 | 179.695 | 72.494 | 252.189 |
| Nov | 38.697 | 66.911 | 105.608 | 67.972 | 66.911 | 134.883 |
| Dic | 0 | 64.974 | 64.974 | 0 | 64.974 | 64.974 |
| Anual | 1.502.151 | 804.988 | 2.307.139 | 2.442.379 | 804.988 | 3.247.367 |

Tabla 5.29: Perfil de consumo de energía térmica del Conjunto Residencial Reina Luisa

Fuente: Elaboración propia

5.5.4 Resumen de requerimientos energéticos del proyecto mixto

5.5.4.1 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% | 2.448.000 | 98% | 61.520 | 2% | 2.509.520 |
| Feb | - | 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 |
| Total año | 7.961.195 | 19% | 29.702.400 | 73% | 3.247.367 | 8% | 40.910.962 |

Tabla 5.30: Consumo de energía térmica del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

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 Ltda.

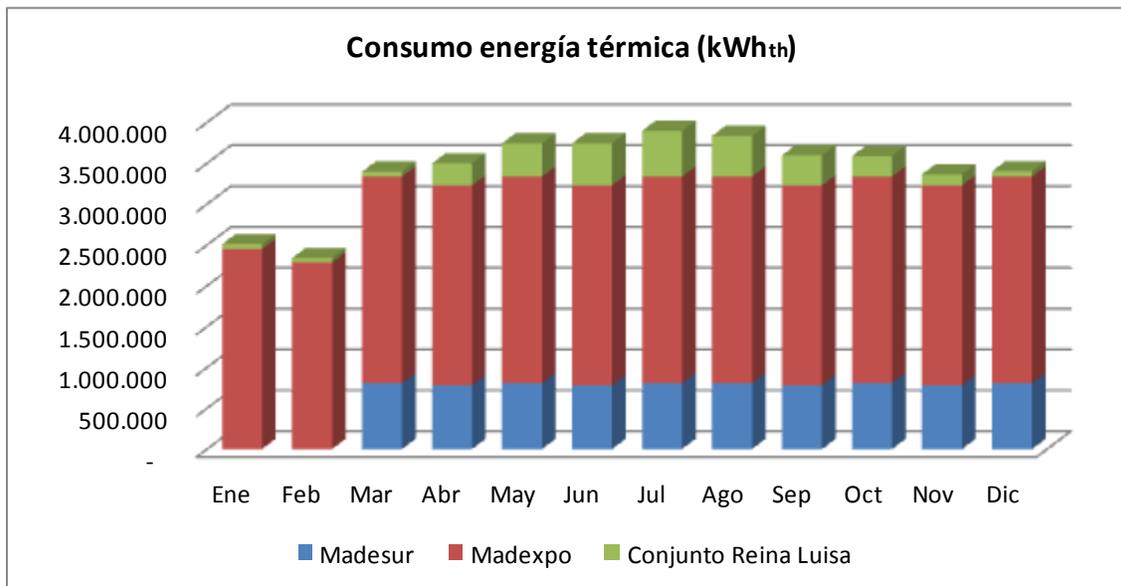


Figura 5.29. Consumo de energía térmica del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

Con base en el consumo mensual del proyecto, se procede a estimar la potencia requerida para cubrir con los requerimientos energéticos. El mes del mayor consumo, y por ende el de mayor potencia requerida es Julio, con un total de 5.820 kW.

| Mes | Madesur | | Madexpo | | Conjunto Reina Luisa | | Total Proyecto |
|------------------|--------------|------------|--------------|------------|----------------------|------------|----------------|
| | Consumo (kW) | Rel. (%) | Consumo (kW) | Rel. (%) | Consumo (kW) | Rel. (%) | |
| Ene | - | 0% | 3.778 | 98% | 95 | 2% | 3.873 |
| Feb | - | 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 |
| Total año | 1.204 | 21% | 3.778 | 65% | 838 | 14% | 5.820 |

Tabla 5.31 Potencia de energía térmica del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

En el histograma que se presenta a continuación, se muestra que la potencia requerida se aproxima a 5 MW en 10 meses, gracias en gran parte a la estabilidad del consumo de Madexpo S.A.

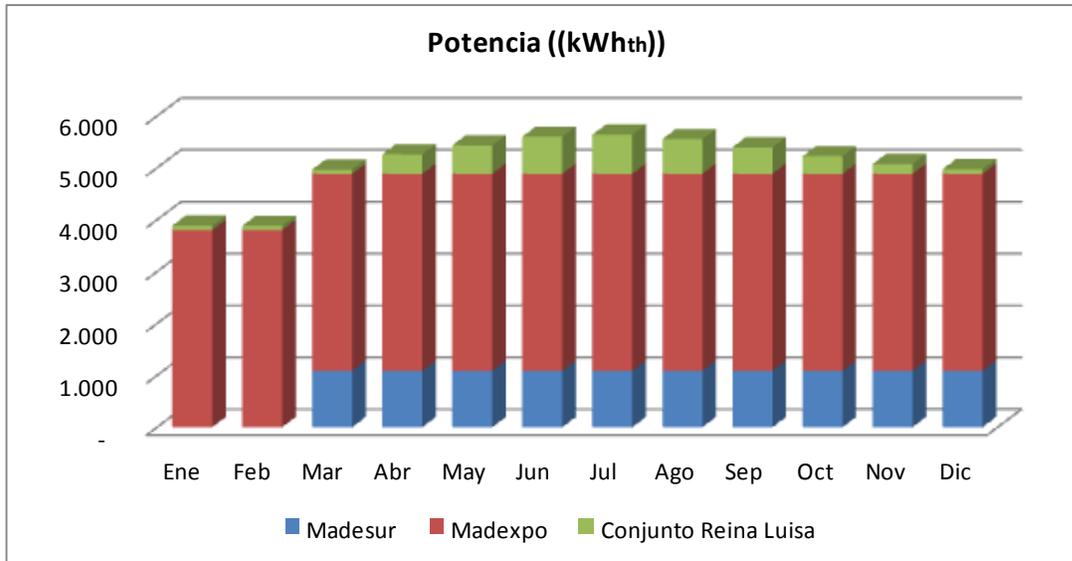


Figura 5.30. Potencia de energía térmica del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

5.5.4.2 Consumo de electricidad

El consumo de electricidad de Madexpo S.A. representan el 93% del total requerido por el proyecto. Es importante aclarar que el sistema de cogeneración tendrá como objetivo cubrir las necesidades de las empresas Madexpo S.A. y Madesur Ltda. El resto de la energía eléctrica generada se inyectará a la red. El consumo anual supera ligeramente los 3.5 MWh.

| | 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 |
| Anual | 263.690 | 7% | 3.259.440 | 93% | 3.523.130 |

Tabla 5.32: Consumo eléctrico del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico se muestra la estabilidad del consumo eléctrico.

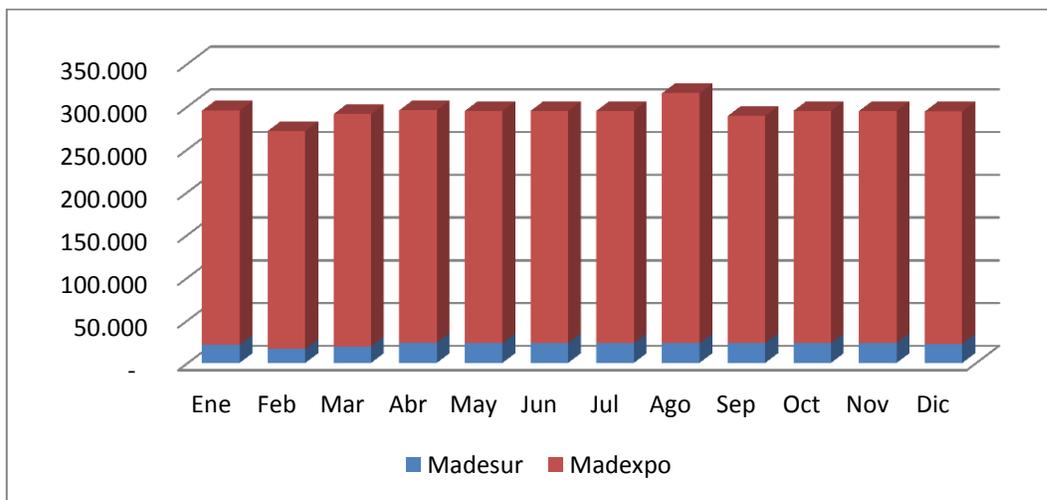


Figura 5.31. Consumo eléctrico del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

La potencia requerida para cubrir el requerimiento de electricidad de ambos aserraderos es de aproximadamente 0,4 MW_e.

| Mes | Madesur | | Madexpo | | Total Proyecto |
|--------------|--------------|-----------|---------------|------------|----------------|
| | Consumo (kW) | Rel. (%) | Consumo (kW) | Rel. (%) | |
| Enero | 28,79 | 7% | 367,74 | 93% | 396,53 |
| Febrero | 21,94 | 6% | 342,58 | 94% | 364,52 |
| Marzo | 25,83 | 7% | 365,08 | 93% | 390,91 |
| Abril | 31,75 | 8% | 365,08 | 92% | 396,83 |
| Mayo | 30,87 | 8% | 365,08 | 92% | 395,95 |
| Junio | 30,87 | 8% | 365,08 | 92% | 395,95 |
| Julio | 30,87 | 8% | 365,08 | 92% | 395,95 |
| Agosto | 30,87 | 7% | 392,90 | 93% | 423,78 |
| Septiembre | 30,87 | 8% | 357,10 | 92% | 387,97 |
| Octubre | 30,87 | 8% | 365,08 | 92% | 395,95 |
| Noviembre | 30,87 | 8% | 365,08 | 92% | 395,95 |
| Diciembre | 30,00 | 8% | 365,08 | 92% | 395,08 |
| Anual | 31,75 | 7% | 392,90 | 93% | 423,78 |

Tabla 5.33: Potencia eléctrica del proyecto mixto

Fuente: Elaboración propia

6 Oferta de biomasa

La Región de Los Lagos es la segunda región con mayor superficie de bosque del país, con una superficie cubierta de 2.786.135 hectáreas. Sin embargo, tomando en cuenta la superficie 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% |
| Región de Los Lagos | 4.858.360 | 2.678.706 | 89.428 | 2.768.135 | 57% |
| 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% |
| Total general | 75.610.240 | 13.141.369 | 2.702.042 | 15.843.411 | |

Tabla 6.1: 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 4 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% |
| TOTAL | 2.678.706,39 | 100,0% | 89.428,40 | 100,0% | 2.768.135,79 | 100,0% |

Tabla 6.2: Distribución de la cobertura boscosa por provincias

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

La provincia de Palena es la que posee la mayor parte del 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 catastro se dispone de información histórica del período 1998 – 2006 de 1.388.977,2 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 10.227,9, 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 14.756,5 ha, pasando de 28.039,8 ha a 42.796,3 ha en sólo 8 años. La superficie de bosque nativo disminuyó en 5.296 ha, pasando de 376.532,6 ha a 371.236,3 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 6.3: Balance de la superficie en uso de suelo de la Provincia de Osorno, período 1998-2006

Fuente: CONAF (2008)

6.1 Plantaciones forestales

En la presente sección se analizará 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 de las plantas generadoras de los sistemas de calefacción distrital y cogeneración.

La biomasa de la industria forestal se clasifica en biomasa según su origen: cosecha y residuos industriales. Para analizar la disponibilidad de la biomasa proveniente de la cosecha se analizará 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 realizará a partir de información recolectada de los aserraderos localizados en la Ciudad de Osorno.

Perspectiva regional

Las plantaciones forestales, junto al bosque mixto representan poco más del 2% la superficie boscosa de la región. Según el INFOR (2008)⁵ las principales especies forestales son el Eucalyptus nitens, Eucalytus globulus y Pino Radiata con una participación del 41%, 28%, 24% respectivamente.

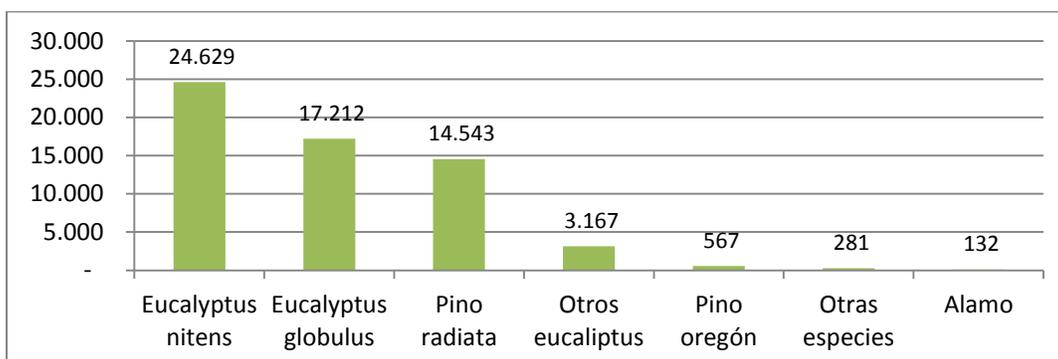


Figura 6.1: Estimación de la superficie cubierta por bosques en la Región de Los Lagos

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 planteada de 13.544, 17.757 y 13.280 hectáreas respectivamente.

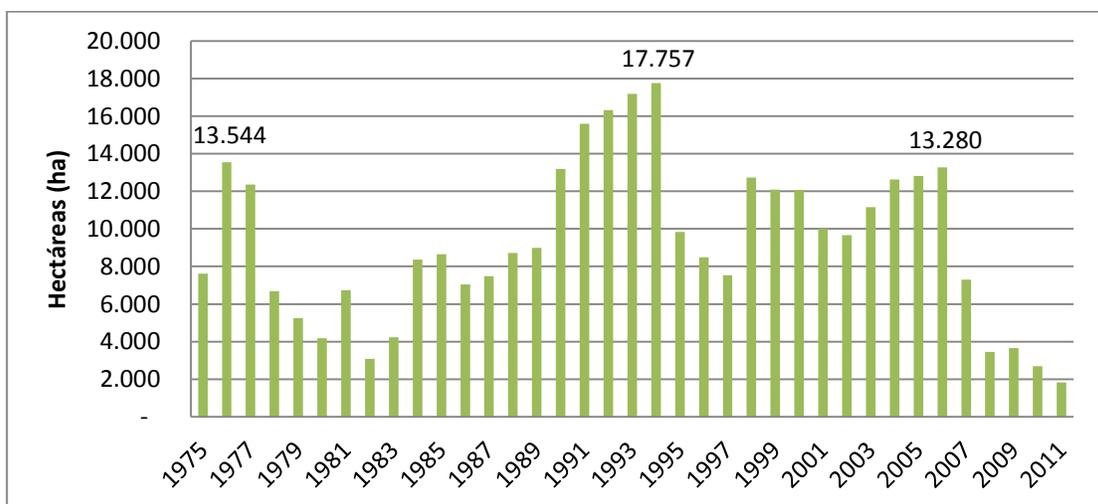


Figura 6.2: Plantaciones anuales en la Región Los Lagos (Forestación y reforestación)

Fuente: CONAF e INFOR (2012)

En el Anuario Forestal 2010 de INFOR se desglosan las plantaciones (forestación y reforestación) por especie forestal. Las principales especies forestales plantadas fueron Eucalyptus (66.570 ha) y Pino radiata (22.493 ha).

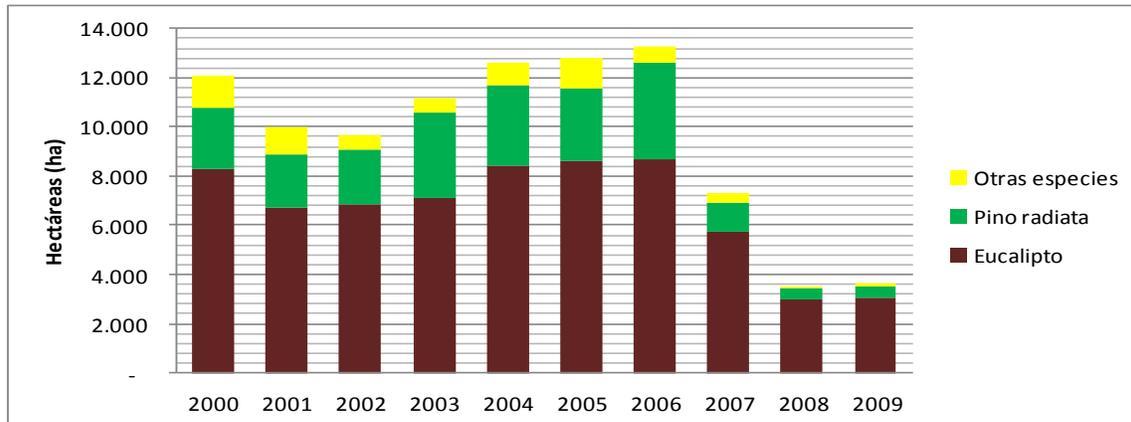


Figura 6.3: Superficie anual de bosques plantados

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 el Anuario Forestal 2010, en la Región hay 728 pequeños propietarios, 14 medianos propietarios, 2 empresas medianas y 3 empresas grandes.

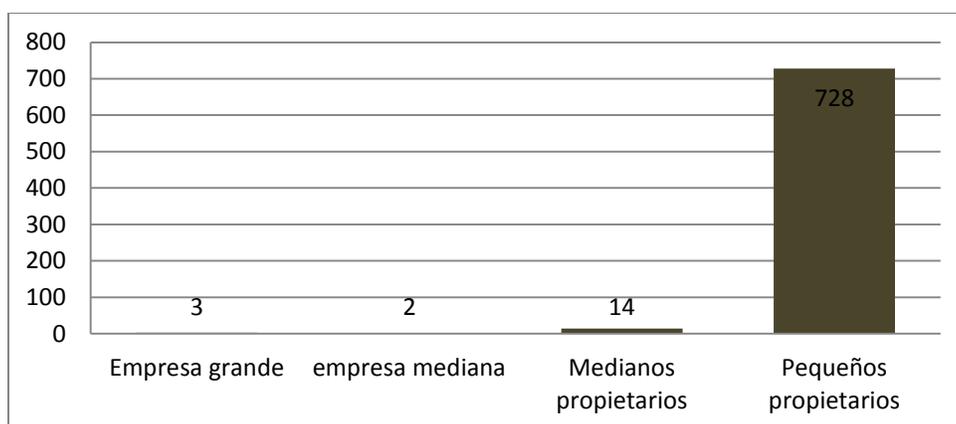


Figura 6.4: Propiedad de las plantaciones forestales

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 |
| Promedio | | | | 2.589,8 | 2.578,4 | 11,4 | 5.788,3 | 2.510,7 | 3.277,6 |

Tabla 6.4: Superficie forestada y reforestada, por tipo de propietario y año

Fuente: INFOR (2012)

6.1.1 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 poseen 50.851 hectáreas y 32.295 hectáreas con plantaciones forestales respectivamente.

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

Tabla 6.5: Desglose de plantaciones forestales por provincia – Año 2007

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

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.



Figura 6.5: Comunidades de la provincia de Osorno con mayor superficie de plantaciones forestales – Año 2007

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

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

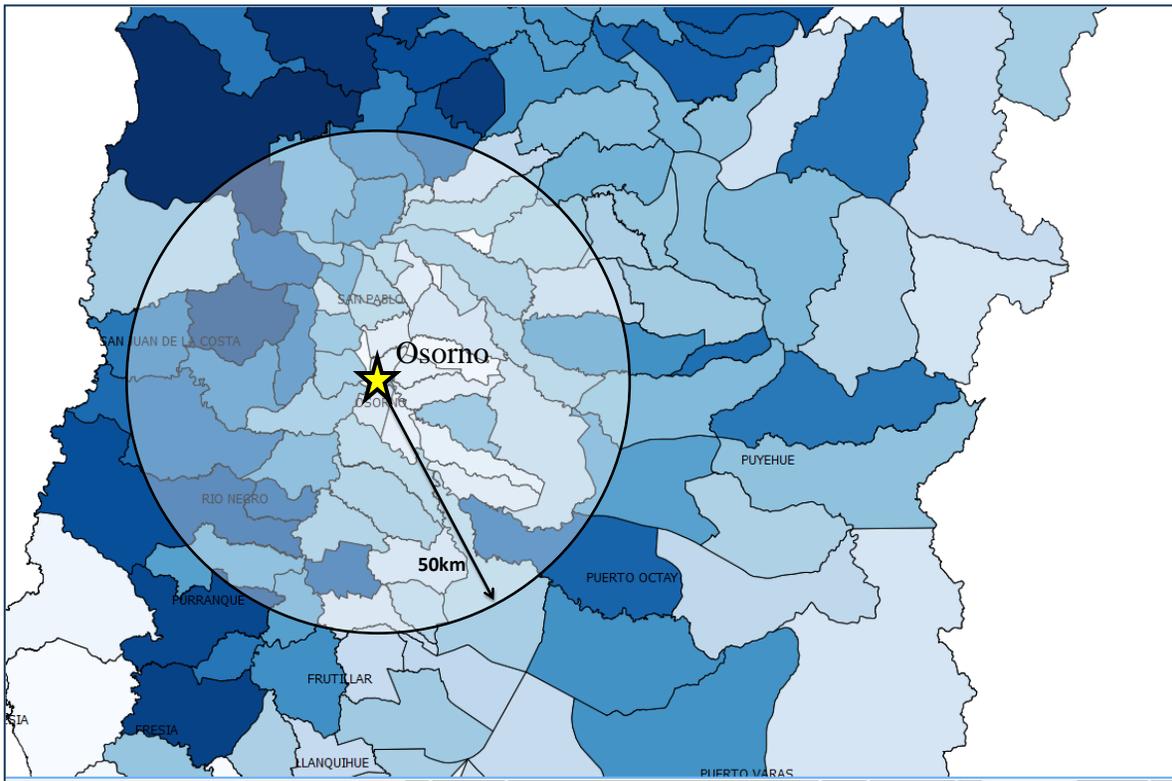


Figura 6.6: Distribución de las plantaciones forestales por distrito

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

Las especies forestales más comunes son *Eucalyptus nitens*, *Pino radiata* y *Eucalyptus globulus* con 19.019 ha, 17.551 ha y 9.993 ha.

| Especie forestal | Superficie (ha) | % Relativo |
|----------------------------|-----------------|------------|
| <i>Eucalyptus nitens</i> | 19.019 | 37% |
| <i>Pino radiata</i> | 17.551 | 35% |
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 9.993 | 20% |
| Pino Oregón | 1.980 | 4% |
| Otros | 2.309 | 5% |
| Total | 50.851 | 100% |

Tabla 6.6: Composición de las plantaciones forestales

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

6.1.2 Fuentes de biomasa identificadas

6.1.2.1 Propietarios de plantaciones

El 30% de las plantaciones forestales del período 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.

6.1.2.2 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 m³ estéreo/año. El resto de las empresas sólo comercializan a nivel residencial, por lo que no serán considerados en el estudio.

6.1.2.3 Aserraderos forestales

Según datos del 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 500m³.

6.1.2.4 Astilladores

La producción de astillas en el año 2009 en la Región de Los Lagos fue de 601.055 m³. 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 m³ ssc. Además, según INFOR (2001) se encuentran operando 6 astilladores integrados a aserraderos, con una capacidad (por turno) total de 31.190 m³ ssc. A continuación un cuadro resumen con información complementaria sobre los astilladores:

| Nombre | Tipo | Capacidad (m ³ /año) | Especie | Contacto |
|--|------------------------|---------------------------------|---------------------------|--|
| Comuna de Osorno | | | | |
| 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 | |
| Comuna de Puerto Montt, Llanquihue | | | | |
| Forestal Los Lagos SA (Fulghum Fibras Chile) | Central de astillado | 300.000 | Eucalipto | www.forestalloslagos.cl |
| Comuna de Calbuco, Llanquihue | | | | |
| Coala Industrial Ltda. | Central de astillado | 180.000 | Eucalipto | www.coala.cl |
| Comuna de Frutillar, Llanquihue | | | | |
| Maderas Serko | Integrado a aserradero | <10.000 | Pino Oregón, Nativas | www.maderasserko.cl |
| Comuna de Puerto Varas, Llanquihue | | | | |
| Yessica Mariola Sáez Perez | Integrado a aserradero | <10.000 | Pino radiata, pino oregón | |

Tabla 6.8: Centrales de astillado en funcionamiento (2011)

Fuente: Directorio de la Industria Forestal Chilena, INFOR 2011

6.2 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.

6.2.1 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 mil6 hectáreas se encuentran bajo protección del estado a través del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE). Según la CONAF (2006), aproximadamente 1.4 millones de hectáreas están cubiertas por especies forestales del tipo Siempreverde, lo cual 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.

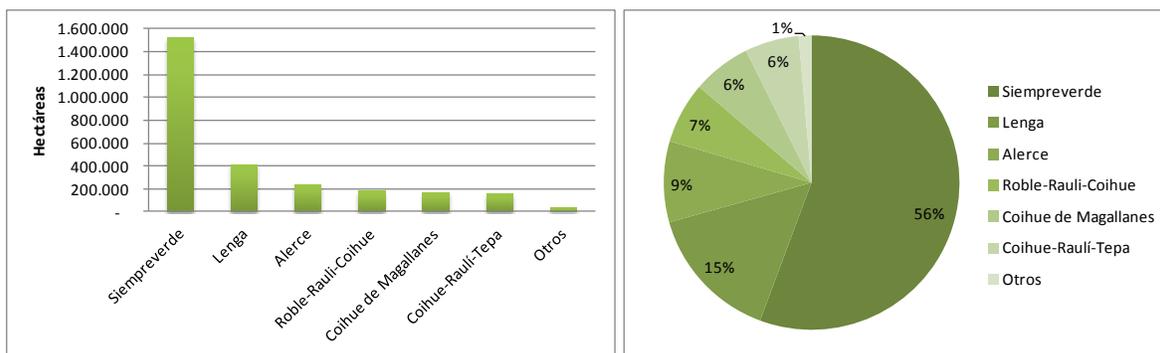


Figura 6.8: Composición del bosque nativo de la Región de Los Lagos

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

⁶ CONAF 2010

(CONAF). Se deberá cumplir, también, con lo prescrito en el decreto ley N° 7017, de 1974. El listado de planes de manejo es de carácter público y está disponible en el sitio web de la CONAF.

Los productos primarios del bosque nativo según el Artículo 35 de la ley N° 20.283 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.

6.2.2 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.

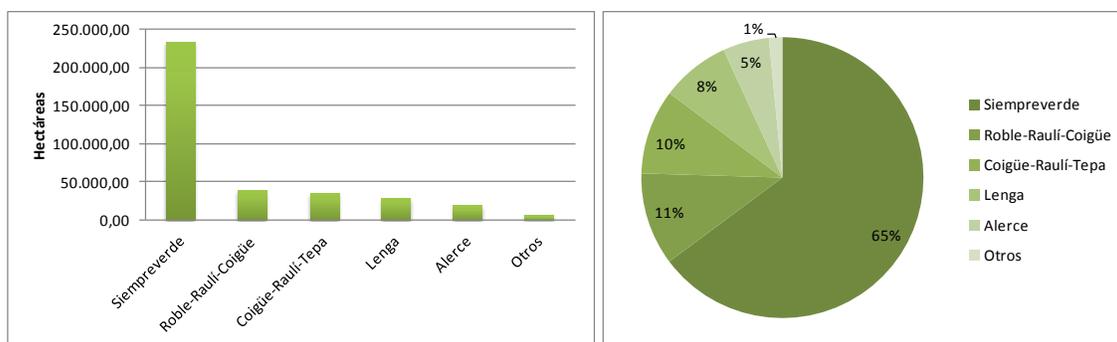


Figura 6.9: Composición del bosque nativo de la Provincia de Osorno, Región de Los Lagos

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

⁷ 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.

6.2.3 Fuentes de biomasa identificadas

6.2.3.1 Comercializadores de leña

Según el Sistema Nacional de Certificación de Leña⁸, 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.

6.2.3.2 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.

| | 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 6.9: Planes de manejo aprobados por CONAF en la Región de Los Lagos

Fuente: CONAF (2013)

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

⁸ Consultado en Marzo 2013.

| | 2008-2010 | 2011 | 2012 | 2013 | Total |
|---|-----------|------|------|------|-------|
| Aspectos generales | | | | | |
| Planes aprobados | 185 | 126 | 88 | 39 | 438 |
| Superficie promedio (ha) | 17 | 9 | 10 | 13 | 13 |
| Tamaño de los predios con planes de manejo aprobados por CONAF (2008-2013) | | | | | |
| 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 6.10: Planes de manejo aprobados por CONAF en la Provincia de Osorno, Región de Los Lagos

Fuente: CONAF (2013)

6.2.3.3 Aserraderos forestales:

Según datos del 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 m³/año.

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

Tabla 6.11: Cantidad de aserraderos de bosque nativo según tipo de aserradero y capacidades. (Provincia de Osorno, Región de Los Lagos)

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

A continuación 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 contacto de cada uno de los aserraderos.

| Nombre | Tipo de aserradero | Producción anual (m ³) | Especies |
|--|--------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Comuna de Osorno | | | |
| 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 |
| San Juan de la Costa | | | |
| 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, Tepa |
| Popoen | | | |
| Carlos Cantero | Móvil | < a 100 | Tepa, Tineo |
| Puerto Octay | | | |
| Rubén Rantul Poblete | Móvil | < a 100 | Pino oregón |

Tabla 6.12: Listado de aserraderos de bosque nativo en la Provincia de Osorno, Región de Los Lagos

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

6.3 Selección de escenarios logísticos

Se establecieron 2 escenarios para suplir los requerimientos de biomasa de los proyectos residenciales y el proyecto mixto que se están evaluando 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.

6.3.1 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.

6.3.1.1 Origen de la biomasa

Con base el análisis presentado en el capítulo 3 del presente informe, 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 |
| 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 6.13: Fuentes de biomasa identificadas para el Escenario 1

Fuente: Elaboración propia

6.3.1.2 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 el origen, se presentarán 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 Phyllis⁹, la cual 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. En el sitio web se puede buscar las características de la biomasa seleccionada, ingresando el código ECN Phyllis en el motor de búsqueda del sitio.

| Origen | Tipo | Nombre | %CH (b.h.) | PCI (kcal/kg) | PCI (kWh/kg) | Densidad (kg/m ³) | Contenido de cenizas |
|----------|---------------------------|------------------|------------|---------------|--------------|-------------------------------|----------------------|
| Urbano | Astillas de podas urbanas | | 35% | 2.545 | 2,96 | 340 | 3,98% |
| 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 |

Tabla 6.14: Características de biomasa identificada en Rancagua

Fuente: ECN Phyllis

6.3.1.3 Costos logísticos

En el presente estudio se analizó el costo del proceso logístico de la biomasa disponible que abastecerá 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 de árboles frutales, plantaciones forestales y árboles urbanos. La selección se debe gracias a su disponibilidad regional, la existencia de proveedores formales, buenas propiedades como biocombustible y versatilidad de para ser tratada en diversas granulometrías, según los requerimientos de la planta de generación.

⁹ Disponible en línea: <http://www.ecn.nl/phyllis2/>

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



Figura 6.10: Proceso logístico de la biomasa

Fuente: Elaboración propia

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 en el país y eficientes.

Biomasa forestal:

Se clasifica como biomasa de origen forestal a la proveniente 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 siguientes costos en dólares (USD) por metro cúbico (sólido). Con base en el costo en pesos chilenos¹⁰ y la respectiva densidad básica se obtuvo el costo por tonelada húmeda (50% b.h.) de las especies forestales Pino radiata (400 kg/m³), Eucalyptus globulus (530 kg/m³) y Eucalyptus nitens (470 kg/m³). Las densidades básicas fueron dadas por un experto de la industria forestal¹¹.

¹⁰ Tipo de cambio: \$471.54 (Banco Central de Chile, 30/04/2013)

¹¹ Xavier Carrión, Trans PAcific Fiber S.A.

| | | Costo (CLP/ton) | | | |
|--|---------------------|-----------------|---------|-----------|----------|
| | | Volteo | Madereo | Astillado | Total |
| Costo por metro cúbico sólido | | | | | |
| (1) | Costo (USD/m3) – | 0,68 | 1,36 | 6,55 | 8,59 |
| (2) | Costo (CLP/m3) | 320,65 | 641,29 | 3088,59 | 4050,52 |
| Costo por tonelada húmeda (CLP/ton) | | | | | |
| (3) | Pino radiata | 801,62 | 1603,24 | 7721,47 | 10126,32 |
| (4) | Eucalyptus globulus | 604,99 | 1209,99 | 5827,52 | 7642,51 |
| (5) | Eucalyptus nitens | 682,23 | 1364,46 | 6571,46 | 8618,15 |

Tabla 6.15: Costos logísticos de la cosecha forestal

Fuente: Universidad Austral de Chile

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

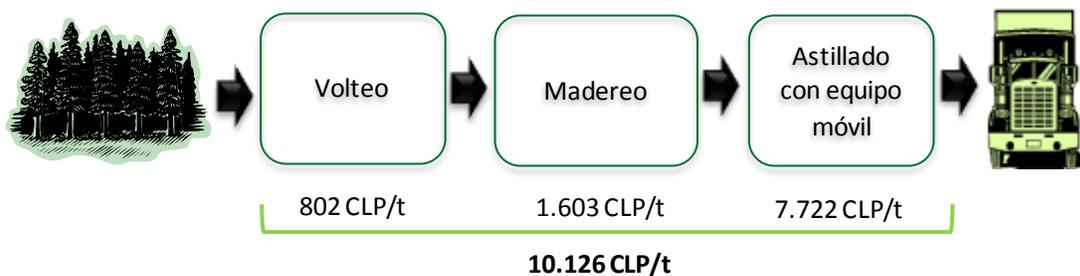


Figura 6.11: Proceso logístico de la biomasa

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 (IDEA, 2008) sobre experiencias con biomasa agrícola y forestal para uso energético. Según el IDEA (2008), el proceso logístico para la recolección de residuos forestales está conformado por las operaciones de amontonado y astillado. Los costos se presentan a continuación

| Operación | Costo (Euros/t) ¹² | Costo (CLP/t) | Costo (CLP/t) |
|------------|-------------------------------|---------------|---------------|
| Amontonado | 16,54 | 11.106 | 17.961,02 |
| Astillado | 10,21 | 6.855 | |
| | 6,91 | 4.640 | |
| | 6,76 | 4.539 | |

Tabla 6.16: Costos logísticos del procesamiento de residuos de cosecha forestal

Fuente: IDEA (2008)

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

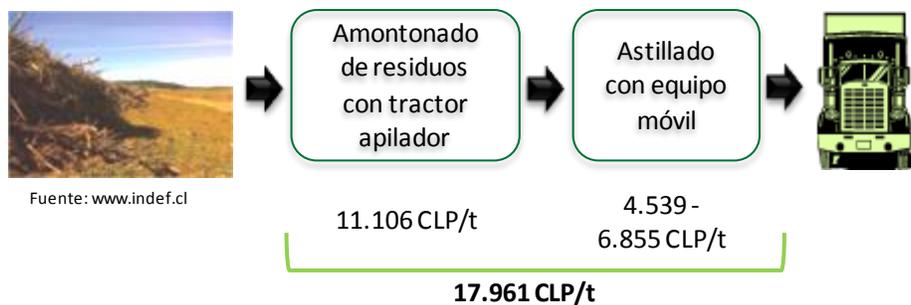


Figura 6.12: Proceso logístico del procesamiento de residuos de cosecha forestal

Fuente: IDEA (2008)

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. El costo del astillado del equipo fijo se basó en el utilizado en la operación del astillado para el proceso de la cosecha forestal, pero utilizando una densidad de 340 kg/m³ estéreo.

¹² Tipo de cambio del Euro: \$617,44 (Banco Central de Chile, 30/04/2013)

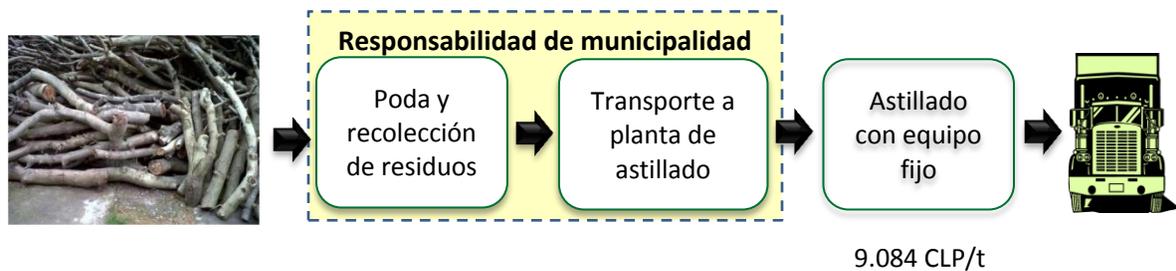


Figura 6.13: Proceso logístico del procesamiento de residuos de podas de árboles urbanos

Fuente: Universidad Austral de Chile (2005)

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 el costo de \$1.000/km. El costo de almacenamiento utilizado fue de 11USD/tonelada seca¹³. El objetivo con el almacenamiento es reducir el contenido de humedad de un 50% a un 35%.

A continuación los costos totales de la biomasa del escenario 1.

¹³ Wendt, Lynn et al. Idaho National Laboratory (2008)

| Origen | | Tipo de Biomasa | Adquisición (\$/ton) | Recolección (\$/ton) | Transporte (\$/ton) | Almacenamiento (\$/ton) | Total | |
|-----------|---------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|-----------|-----------|
| | | | | | | | (\$/ton) | (USD/ton) |
| Urbano | Podas de árboles | Astillas de podas urbanas | - | 9.084,08 | 200,00 | 2.585,00 | 11.869,08 | 25,15 |
| | | | - | - | - | 2.585,00 | 2.585,00 | 5,48 |
| Forestal | Madera de cosechas | Pino | 16.000,00 | 10.126,32 | 2.000,00 | 2.585,00 | 30.711,32 | 65,34 |
| | | Eucalyptus | 14.268,29 | 8.618,15 | 2.000,00 | 2.585,00 | 27.471,44 | 58,20 |
| | | | 17.180,80 | - | 4.000,00 | 2.585,00 | 23.765,80 | 50,35 |
| | Residuos de cosecha | Residuo forestal | - | 17.961,02 | 2.000,00 | 2.585,00 | 22.546,02 | 47,97 |
| | Aserradero | Astillas de madera (Pino radiata) | 16.176,47 | - | 400,00 | 2.585,00 | 19.161,47 | 40,77 |
| 26.470,59 | | | - | 400,00 | 2.585,00 | 29.455,59 | 62,67 | |

Tabla 6.17: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 1

Fuente: Elaboración propia

6.3.2 Escenario 2: Contrato a largo plazo con proveedores

El escenario 2 se basa en el principio que la ESCO delegará 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 podrá enfocar en la operación de la planta de calefacción y en el servicio al cliente. Además, la ESCO podrá reducir el riesgo operativo del proyecto, al tener la posibilidad de establecer contratos a largo plazo con empresas con experiencia y capacidades reconocidas.

6.3.2.1 Origen de biomasa

Con base al análisis presentado en el capítulo 3 del presente informe, se establecen las fuentes de biomasa y el nombre de las empresas proveedoras. Las empresas identificadas son Bossur S.A. e INDEF.

| Tipo de biomasa | | Proveedor | Contacto |
|-----------------|---------------------|--------------|--|
| Forestal | Cosecha | Eucalyptus | Bossur S.A. |
| | Residuos de cosecha | Pino radiata | INDEF |
| | | Eucalyptus | |
| | | | www.bossur.cl |
| | | | www.indef.cl |

Tabla 6.18: Fuentes de biomasa identificadas para el Escenario 1

Fuente: Elaboración propia

6.3.2.2 Características de la biomasa

La biomasa se clasifica según su origen en urbana, agrícola y forestal. Con base en la clasificación de la biomasa según el origen, se presentarán 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*¹⁴, la cual 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. En el sitio web se puede buscar las

¹⁴ Disponible en línea: <http://www.ecn.nl/phyllis2/>

características de la biomasa seleccionada, ingresando el código *ECN Phyllis* en el motor de búsqueda del sitio.

| Origen | Tipo | Nombre | %CH (b.h.) | PCI (kcal/kg) | PCI (kWh/kg) | Densidad (kg/m3) | 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 6.19: Características de biomasa identificada en Rancagua

Fuente: Elaboración propia

6.3.2.3 Estimación de los costos logísticos

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

| Origen | Tipo de Biomasa | Adquisición (\$/ton) | Total | |
|----------|---------------------|----------------------|----------|-----------|
| | | | (\$/ton) | (USD/ton) |
| Forestal | Madera de cosechas | Eucalyptus | 42.353 | 89,82 |
| | Residuos de cosecha | Residuo forestal | 14.868 | 31,53 |

Tabla 6.20: Cuadro resumen de los costos logísticos del escenario 2

Fuente: Elaboración propia

6.4 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 DH/CHP. Los actores económicos 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.

7 Infraestructura y tecnología

7.1 Estructura de los proyectos

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.

7.1.1 Planta de generación

De acuerdo a las potencias en calefacción y ACS reportadas, 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 8 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.

Por otra parte, se estudia el histograma de distribución de cargas horarias en calefacción durante el año, con el fin de analizar la conveniencia de cubrir los peaks de demanda utilizando la caldera de respaldo a gas licuado y así rebajar la potencia requerida para la caldera a biomasa, cuyo costo de inversión por unidad de potencia es significativamente mayor.

Otro aspecto que se estudió, fue el impacto que podría tener la incorporación de un depósito de inercia en reducir la potencia de la caldera. Se analizaron escenarios en que existiera un volumen 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%.

Para simplificar el análisis, se diseñaron los siguientes escenarios, considerando todos los puntos anteriores:

- **Escenario 1:** Calefacción con biomasa entre las 12:00 hrs y las 23:00 hrs a 21°C de confort
- **Escenario 2:** Escenario 1 + calefacción entre las 23:00 hrs y las 12:00 hrs con biomasa a 15°C de confort
- **Escenario 1.1:** Escenario 1 + respaldo de peaks de consumo con gas licuado
- **Escenario 1.2:** Escenario 1.1 + estanques de inercia
- **Escenario 2.1:** Escenario 2 + respaldo de peaks de consumo con gas licuado
- **Escenario 2.2:** Escenario 2.1 + estanques de inercia

7.1.2 Red de distribución

La red de distribución está compuesta por un sistema de tuberías que transporta el fluido térmico desde la central de generación hasta los usuarios. El diseño de la red debe considerar la temperatura, presión, velocidad y caudal del fluido térmico. Para efectos de distribuir correctamente los flujos de agua caliente a través de la red, determinar el diámetro correcto de las tuberías y el espesor requerido de aislante, el trazado de la red se dividió en una red primaria y una red secundaria. Esto no tiene ninguna relación con la funcionalidad de la red, sino que sólo obedece a una metodología de diseño conceptual.

La red se compone de una línea de ida y otra de retorno. Por la línea de ida, desde la caldera de generación hasta los puntos de consumo, circula agua a una temperatura de entre 80°C y 90°C. El agua circula a través del sistema gracias a bombas de circulación, las que se ubican según las pérdidas de carga durante el recorrido, las diferencias de altura que existen durante el circuito y la velocidad a la que debe circular el fluido. El sistema de distribución debe contar con un sistema de válvulas y monitoreo para ser regulado. Existen desde sistemas manuales hasta sistemas computarizados monitoreados en línea. Por la línea de retorno, el agua es devuelta a la central térmica, a una temperatura de entre 40°C y 50°C, para entrar nuevamente al ciclo como un sistema cerrado.

Para asegurar la disponibilidad del suministro de calefacción y ACS en cada vivienda, se mantiene el flujo en constante circulación.

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

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

donde

L es la longitud de la tubería,

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

t_a es la temperatura ambiente,

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

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

DN es el diámetro nominal de la tubería.

7.1.3 Distribución al interior de las viviendas

El calor que proviene de la central térmica y que circula a través de la red de distribución, puede ser transferido al interior de las viviendas en forma directa, abriendo paso al flujo de agua caliente de la red a través de radiadores o losa radiante, o en forma indirecta, manteniendo un flujo interno que sea totalmente independiente del flujo de la red.

El sistema de calefacción puede funcionar por circulación directa del fluido de la red a través del sistema de distribución interno, que es lo más lógico desde un punto de vista de eficiencia energética, o pasando previamente por una estación de transferencia. Generalmente, las estaciones de transferencia dejan paso directo al agua caliente para calefacción. De la misma forma, el sistema de ACS puede funcionar por circulación directa del fluido de la red a través de un serpentín ubicado al interior de un depósito de ACS, en cuyo caso el depósito funcionaría como una unidad de transferencia de calor, o pasando previamente por una estación de transferencia que transmita calor directamente al agua potable.

Las principales ventajas de las estaciones de transferencia son la reducción de necesidades de espacio, al prescindir de estanques de agua, y que permiten una máxima higiene del ACS, ya que ésta se calienta en el mismo momento en que se consume. Por otra parte, la principal ventaja de los depósitos acumuladores es que sirven como dispositivos de inercia térmica, permitiendo reducir la potencia necesaria del sistema.

Junto con el intercambiador de placas, puede incluirse un sistema de control, que permite programar la temperatura requerida y las horas de uso. Además, se suelen incorporar artefactos que permiten mantener un registro individual de los consumos de ACS y

calefacción; para ello, se instalan termocuplas (sensores de temperatura) y un medidor de flujo. Las termocuplas registran la temperatura del agua en la entrada y salida de la zona de intercambio de calor, y el medidor de flujo mantiene un registro de la cantidad de agua que pasa por el sistema. Con dichos datos, se puede obtener el consumo energético de la vivienda.

En la figura 7.1, se muestra un esquema del funcionamiento del equipo. El agua proveniente de la central de generación se divide en dos corrientes, una que va hacia los equipos de calefacción y otra que va al intercambiador de placas, para generar ACS. El agua a bajas temperaturas se representa en color azul y el agua a altas temperaturas, en color rojo.

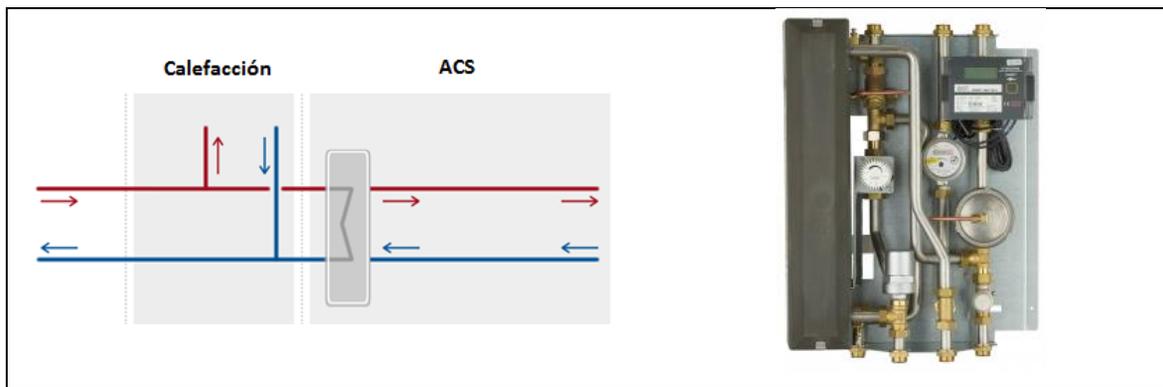


Figura 7.1: Estación de transferencia pewoTherm V

Fuente: pewo.com

En el mercado, se encuentra amplia disponibilidad de estos equipos, con potencias que van desde los 2 kW hasta los 70 kW.

7.2 Proyecto mixto

Los requerimientos energéticos del Proyecto Mixto son cubiertos por una planta CHP con capacidad de 6.5 MW_{th} y una planta de cogeneración con capacidad de 1 MW_{el}. La planta CHP está compuesta por dos calderas a biomasa, un sistema de cogeneración ORC, un sistema de recuperación de calor y un sistema de abatimiento de material particulado. Las calderas a biomasa

El combustible que se utilizara son astillas (chips) de pino radiata y eucaliptus de origen industrial y forestal con un contenido de humedad (%CH) promedio de 40% en base húmeda, proveniente de los aserraderos Madesur, Madexpo y plantaciones forestales locales.

Para estimar el calor y la electricidad que se producirá se establece un factor de planta de 0.85, lo cual significa un tiempo de operación de 7.446 horas al año. La electricidad producida es 7.446.000 kWh_{el} y 48.399.000 kWh_{th} al año. El calor útil disponible para la venta para los clientes residenciales e industriales es 3.247.367kWh_{th} y 42.247.693 kWh_{th}. En el anexo XX se presenta el cuadro de especificaciones técnicas del proyecto.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|--|-------------------|----------------|
| 1. Planta CHP: Caldera 1 (Aceite caliente) + Módulo ORC | | |
| Capacidad de generación eléctrica CHP (condiciones nor | 1.000 | Kwel |
| Capacidad de generación de calor útil CHP (Condiciones | 4.000 | Kwth |
| Horas de operación CHP + Caldera 1 | 7.446 | h/año |
| Eficiencia eléctrica anual | 15% | |
| Eficiencia total anual | 88% | |
| Índice de flujo de electricidad | 0,2 | |
| Consumo específico de electricidad del CHP (total) | 27 | kWh/MWh |
| Consumo específico de electricidad del CHP (relacionad | 13 | kWh/MWh |
| Consumo eléctrico total CHP | 588.234 | kWh/año |
| Consumo eléctrico relacionado al calor | 387.192 | kWh/año |
| Consumo eléctrico - CHP | 201.042 | kWh/año |
| Producción de electricidad | 7.446.000 | kWh/año |
| Producción de calor CHP | 29.784.000 | kWh/año |
| Entrada de combustible CHP | 42.306.818 | kWh/año |
| Consumo de combustible para producción de calor | 33.845.455 | kWh/año |
| Consumo de combustible para producción de electrici | 8.461.364 | kWh/año |
| 2. Caldera 2 (Agua caliente) | | |
| Horas de operación | 7.446 | h/año |
| Entrada de energía de combustible | 21.153.409 | kWh/año |
| Capacidad nominal de la caldera | 2.500 | kW |
| Producción de calor | 18.615.000 | kWh/año |
| Consumo específico de electricidad | 13 | kWh/MWh |
| Consumo total de electricidad | 241.995 | kWh/año |
| 3. Todo el sistema térmico | | |
| Entrada de energía de combustible | 63.460.227 | kWh/año |
| Producción total de electricidad | 7.446.000 | kWh/año |
| Producción total de calor | 48.399.000 | kWh/año |
| Pérdidas del sistema (red de distribución) | 6% | |
| Calor útil disponible para la venta | 45.495.060 | kWh/año |
| Calor útil para vender a clientes residenciales | 3.247.367 | kWh/año |
| Calor útil para vender a clientes industriales | 42.247.693 | kWh/año |

Tabla 7.1: Especificaciones técnicas de planta

7.3 Conjunto Las Palmas

7.3.1 Planta de generación

7.3.1.1 Potencia de la central térmica

En la tabla 7.1, se resume la potencia de diseño de la central térmica de este proyecto, que se obtiene de las curvas de consumo reportadas previamente, bajo los dos escenarios de consumo de calefacción definidos y para las dos alternativas de suministro de combustible también definidas previamente, biomasa vs biomasa/gas.

| | Alternativa 1 (100% biomasa) | | Alternativa 2 (biomasa+gas) | | Alternativa 3 (biomasa+gas+inerencia) | |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--|--------------|
| | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario |
| | 1 | 2 | 1.1 | 2.1 | 1.2 | 2.2 |
| Caldera ACS | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| Caldera calefacción | 3.800 | 2.700 | 2.000 | 1.500 | 2.000 | 1.500 |
| Caldera respaldo | 3.800 | 2.700 | 2.000 | 1.500 | 2.000 | 1.500 |
| Central térmica biomasa | 3.980 | 2.880 | 2.180 | 1.680 | 2.180 | 1.680 |

Tabla 7.2: Potencia (kW) de central térmica, proyecto Conjunto Las Palmas

7.3.1.2 Ubicación y espacio

Se estima que se requieren unos 100 m² de espacio por cada 1 MW térmico instalado, los que se distribuyen entre la sala de máquinas y la zona de acopio de biomasa.

7.3.2 Red de distribución de calor

El trazado de la red de tuberías se realiza siguiendo las vías de acceso vehicular. La figura 7.2 muestra un diagrama que representa dicha distribución.

La red se divide en 26 tramos, distribuidos según se muestra en la figura 7.2. En la tabla 7.2 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 7.2: Trazado red de tuberías, proyecto Conjunto Las Palmas

| 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 |
| Total | 8.710 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tabla 7.3: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Conjunto Las Palmas

Para calcular las pérdidas de calor en las tuberías de este proyecto, se utiliza la expresión indicada en la sección 7.1.2 y se considera sólo el escenario 1 de calefacción, ya que los resultados son muy similares a los que se obtienen del análisis del escenario 2.

| Tramo | L (m) | DN (mm) | E (mm) | DA (mm) | K $\left(\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$ | t _{s1} (°C) | t _{s2} (°C) | t _a (°C) | Q ₁ (kcal/h) | Q ₂ (kcal/h) | Q _T (kcal/h) |
|--------------|--------------|------------|-----------|------------|---|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 1 | 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 |
| Total | 8.710 | | | | | | | | 99.063 | 39.921 | 138.984 |

Tabla 7.4: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Conjunto Las Palmas

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.

7.3.3 Distribución al interior de las viviendas

Como se observa en la figura 5.1, el máximo consumo horario mensual en calefacción es de 12,37 kWh y 8,75 kWh por vivienda, bajo los escenarios de consumo 1 y 2, respectivamente; esto equivale a decir que la potencia requerida en calefacción es de 12,37 kW y 8,75 kW por vivienda, respectivamente. Mientras tanto, la potencia requerida por cada vivienda en ACS es de 0,57 kW. Tal como se resume en la tabla 7.6, la potencia total requerida por cada vivienda del proyecto es de 12,94 kW y 9,32 kW, bajo los escenarios de consumo 1 y 2, respectivamente.

En consecuencia, la potencia requerida por cada una de las estaciones de transferencia no puede ser inferior a 13 kW para el escenario 1 ni inferior a 10 kW para el escenario 2.

| | Escenario 1 | Escenario 2 |
|--------------------|-------------|-------------|
| Calefacción | 12,37 | 8,75 |
| ACS | 0,57 | 0,57 |
| Total | 12,94 | 9,32 |

Tabla 7.5: Potencia térmica total requerida por vivienda, proyecto Conjunto Las Palmas

7.4 Conjunto residencial Reina Luisa

7.4.1 Planta de generación

7.4.1.1 Potencia de la central térmica

De acuerdo a las potencias en calefacción y ACS reportadas en la tabla 5.7, se define el tamaño de la planta térmica bajo los escenarios 1 y 2 de consumo de calefacción:

| | Alternativa 1 (100% biomasa) | | Alternativa 2 (biomasa+gas) | | Alternativa 3 (biomasa+gas+inercia) | |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--|--------------|
| | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario |
| | 1 | 2 | 1.1 | 2.1 | 1.2 | 2.2 |
| Caldera ACS | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 | 140 |
| Caldera calefacción | 2.000 | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Caldera respaldo | 2.000 | 1.500 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| Central térmica biomasa | 2.140 | 1.640 | 1.140 | 1.140 | 1.140 | 1.140 |

Tabla 7.6: Potencia (kW) de central térmica, proyecto Conjunto Reina Luisa

7.4.2 Red de distribución de calor

El trazado de la red de tuberías se realiza siguiendo las vías de acceso vehicular. La figura 7.3 muestra un diagrama que representa dicha distribución.

La red se divide en 14 tramos, distribuidos según se muestra en la figura 7.3. En la tabla 7.8 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.

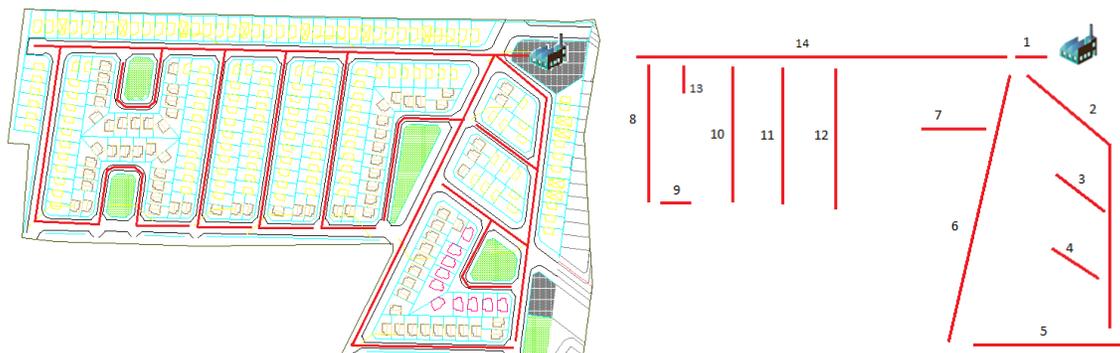


Figura 7.3: Trazado red de tuberías, proyecto Conjunto Reina Luisa

| Tramo | Longitud | Escenario 1 | | | Escenario 2 | | |
|-------|----------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | | Flujo agua (kg/s) | Diámetro teórico | Diámetro comercial | Espesor aislante | Flujo agua (kg/s) | Diámetro teórico |

| | (m) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (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 |
| Total | 3.123 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tabla 7.7: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Conjunto Reina Luisa

Para calcular las pérdidas de calor en las tuberías de este proyecto, se utiliza la expresión indicada en la sección 7.1.2 y se considera sólo el escenario 1 de calefacción, ya que los resultados son muy similares a los que se obtienen del análisis del escenario 2.

| Tramo | L | DN | E | DA | K | t _{s1} | t _{s2} | t _a | Q ₁ | Q ₂ | Q _T |
|--------------|--------------|------|------|------|--|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | (m) | (mm) | (mm) | (mm) | $\left(\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$ | (°C) | (°C) | (°C) | (kcal/h) | (kcal/h) | (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 |
| Total | 3.123 | | | | | | | | 33.790 | 13.617 | 47.407 |

Tabla 7.8: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Conjunto Reina Luisa

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.

7.4.3 Distribución al interior de las viviendas

Como se observa en la figura 5.6, el máximo consumo horario mensual en calefacción es de 11,31 kWh y 8,75 kWh por vivienda, bajo los escenarios de consumo 1 y 2, respectivamente; esto equivale a decir que la potencia requerida en calefacción es de 11,31 kW y 8,75 kW por vivienda, respectivamente. Mientras tanto, la potencia requerida por cada vivienda en ACS es de 0,57 kW. Tal como se resume en la tabla 7.9, la potencia total requerida por cada vivienda del proyecto es de 11,88 kW y 9,32 kW, bajo los escenarios de consumo 1 y 2, respectivamente.

En consecuencia, la potencia requerida por cada una de las estaciones de transferencia no puede ser inferior a 12 kW bajo el escenario 1 y 10 kW bajo el escenario 2.

| | Escenario 1 | Escenario 2 |
|--------------------|-------------|-------------|
| Calefacción | 11,31 | 8,75 |
| ACS | 0,57 | 0,57 |
| Total | 11,88 | 9,32 |

Tabla 7.9: Potencia térmica total requerida por vivienda, proyecto Conjunto Reina Luisa

7.5 Condominio Bellavista

7.5.1 Planta de generación

7.5.1.1 Potencia de la central térmica

De acuerdo a las potencias en calefacción y ACS reportadas en la tabla 5.7, se define el tamaño de la planta térmica bajo los escenarios 1 y 2 de consumo de calefacción:

| | Alternativa 1 (100% biomasa) | | Alternativa 2 (biomasa+gas) | | Alternativa 3 (biomasa+gas+inercia) | |
|-------------------------|---------------------------------|------------|--------------------------------|------------|--|------------|
| | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario | Escenario |
| | 1 | 2 | 1.1 | 2.1 | 1.2 | 2.2 |
| Caldera ACS | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Caldera calefacción | 600 | 400 | 300 | 250 | 300 | 250 |
| Caldera respaldo | 600 | 400 | 300 | 250 | 300 | 250 |
| Central térmica biomasa | 630 | 430 | 330 | 280 | 330 | 280 |

Tabla 7.10: Potencia (kW) de central térmica, proyecto Condominio Bellavista

7.5.2 Red de distribución de calor

7.5.2.1 Red primaria

El trazado de la red de tuberías se realiza siguiendo las vías de acceso vehicular. La figura 7.4 muestra un diagrama que representa dicha distribución.

La red primaria se divide en 7 tramos, distribuidos según se muestra en la figura 7.4. En la tabla 7.10 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.

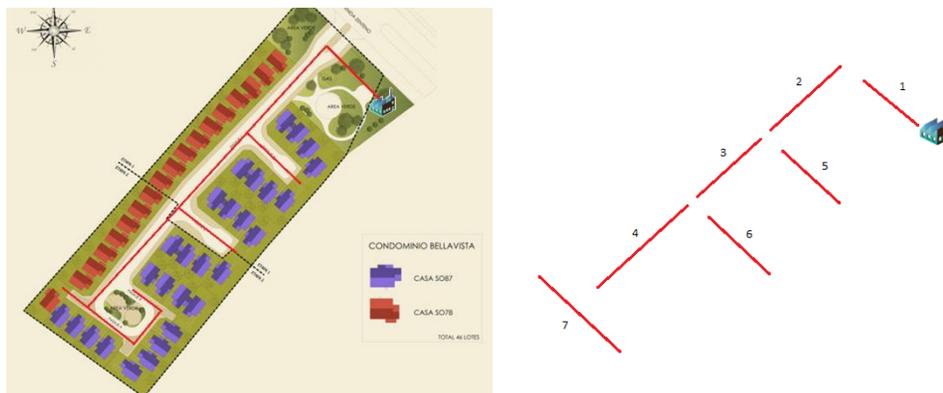


Figura 7.4: Trazado red de tuberías, proyecto Condominio Bellavista

| 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 |
| Total | 1.105 | 46 | 546 | | | | | 426 | | | | |

Tabla 7.11: Especificaciones de la red de distribución, proyecto Condominio Bellavista

Para calcular las pérdidas de calor en las tuberías de este proyecto, se utiliza la expresión indicada en la sección 7.1.2 y se considera sólo el escenario 1 de calefacción, ya que los resultados son muy similares a los que se obtienen del análisis del escenario 2.

| Tramo | L (m) | DN (mm) | E (mm) | DA (mm) | K ($\frac{\text{kcal} \cdot \text{m}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$) | t_{s1} (°C) | t_{s2} (°C) | t_a (°C) | Q_1 (kcal/h) | Q_2 (kcal/h) | Q_T (kcal/h) |
|--------------|--------------|---------|--------|---------|---|---------------|---------------|------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 78 | 125 | 40 | 205 | 0,042 | 85 | 45 | 18 | 1.395 | 562 | 1.958 |
| 2 | 145 | 80 | 30 | 140 | 0,042 | 85 | 45 | 18 | 2.293 | 924 | 3.217 |
| 3 | 123 | 80 | 30 | 140 | 0,042 | 85 | 45 | 18 | 1.945 | 784 | 2.729 |
| 4 | 212 | 65 | 30 | 125 | 0,042 | 85 | 45 | 18 | 2.869 | 1.156 | 4.026 |
| 5 | 227 | 65 | 30 | 125 | 0,042 | 85 | 45 | 18 | 3.072 | 1.238 | 4.310 |
| 6 | 145 | 50 | 30 | 110 | 0,042 | 85 | 45 | 18 | 1.628 | 656 | 2.284 |
| 7 | 175 | 65 | 30 | 125 | 0,042 | 85 | 45 | 18 | 2.368 | 954 | 3.323 |
| Total | 1.105 | | | | | | | | 15.572 | 6.275 | 21.847 |

Tabla 7.12: Cálculo de pérdidas de calor en tuberías, proyecto Condominio Bellavista

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.

7.5.3 Distribución al interior de las viviendas

Como se observa en la figura 5.7, el máximo consumo horario mensual en calefacción es de 5,24 kWh y 4,30 kWh por vivienda, bajo los escenarios de consumo 1 y 2, respectivamente; esto equivale a decir que la potencia requerida en calefacción es de 5,79 kW y 4,85 kW por vivienda, respectivamente. Mientras tanto, la potencia requerida por cada vivienda en ACS es de 0,55 kW, lo que se desprende de la tabla 3.4. Tal como se resume en la tabla 7.13, la potencia total requerida por cada vivienda del proyecto es de 5,79 kW y 4,85 kW, bajo los escenarios de consumo 1 y 2, respectivamente.

En consecuencia, la potencia requerida por cada una de las estaciones de transferencia no puede ser inferior a 6 kW.

| | Escenario 1 | Escenario 2 |
|--------------------|-------------|-------------|
| Calefacción | 5,24 | 4,30 |
| ACS | 0,55 | 0,55 |
| Total | 5,79 | 4,85 |

Tabla 7.13: Potencia térmica total requerida por vivienda, proyecto Parque Viña Santa Blanca

8 Organización y modelo de negocio

8.1 Modelo de negocio para proyectos residenciales

8.1.1 Mercado objetivo

Tres de los proyectos evaluados corresponde a grupos habitacionales localizados en los sectores Las Quemadas y Rahue de la ciudad de Osorno. El precio de las viviendas varía entre las 800 UF y 2900 UF, por lo que el mercado objetivo está constituido por familias pertenecientes a los quintiles de ingreso 2 y 3, según la clasificación de la Encuesta CASEN aplicada por el Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile. A continuación se describe con mayor detalle los proyectos.

8.1.1.1 Conjunto Residencial Las Palmas

El conjunto Las Palmas es un proyecto residencial que se localiza en el sector Las Quemadas, al sureste de la ciudad de Osorno. Está compuesto por 315 viviendas individuales de 85,9 y 97,1 m² de superficie construida. El precio de las viviendas es 2.600 y 2.900 UF respectivamente. El proyecto está dirigido para familias de clase media.



Emplazamiento del Condominio Las Palmas



Representación visual de las viviendas

Figura 8.1: Conjunto residencial Las Palmas

Fuente: www.cinel.cl

8.1.1.2 Conjunto Reina Luisa

El conjunto habitacional Reina Luisa se encuentra ubicado en la avenida Farellones, sector poniente de la ciudad de Osorno. Está conformado por 245 viviendas individuales, que van desde los 45,52 m² hasta los 68,26 m² de superficie y valores entre las 800 UF y 1.100 UF.

El conjunto habitacional pertenece a la empresa Inmobiliaria y Constructora Martabid y constituye como la primera etapa de un proyecto en el que se construirán 1300 casas en 13 años¹⁵. El terreno se encuentra anexo a dos de los aserraderos con más capacidad de la ciudad: Madesur y Madexco. Ambas empresas tienen un importante consumo de energía térmica para el proceso de secado de la madera, el cual actualmente está siendo cubierto por sus propias calderas industriales a biomasa.



Figura 8.2: Los cuatro tipos de viviendas del Conjunto Reina Luisa

Fuente: Martabid

8.1.1.3 Condominio Bellavista

El condominio Bellavista se encuentra ubicado en un terreno de 1,1 ha en el sector oriental sur de la ciudad de Osorno. Está conformado por 46 viviendas aisladas de 76,8 m² y 87,7 m², con sitios que van desde los 113,78 m² a 240,4 m². Las viviendas tendrán un precio entre las 2.300 y 2.560 UF, y tienen como mercado objetivo familias de clase media.

¹⁵ Información brindada por Juan Pablo Fuenzalida, Arquitecto de Martabid.



Tipo 1: 76 m² (2.300 UF)



Tipo 1: 87 m² (2.560 UF)

Figura 8.3: Viviendas del Condominio Bellavista

Fuente: Socovesa

8.1.2 Producto/servicio

La propuesta de valor consiste en el suministro de un servicio integrado de calefacción, agua caliente sanitaria (y energía eléctrica). Los servicios se caracterizarán por su excelente desempeño, tarifas convenientes, bajo impacto ambiental, y servicio al cliente eficaz.

A diferencia de los sistemas de calefacción individuales, en el que las actividades relacionadas al abastecimiento de combustible, operación y mantenimiento del equipo son responsabilidad del usuario, en un sistema de calefacción distrital, el cliente solamente debe pagar a través de una única factura mensual el pago de los servicios energéticos suministrados por el DH/CHP. En la figura 5 se ilustra la diferencia entre los sistemas individuales y DH/CHP.



Figura 8.4: Cadena de valor

La energía primaria está compuesta por las fuentes de biomasa disponibles localmente. Las fuentes identificadas en la ciudad de Osorno son la industria maderera, plantaciones forestales y podas de árboles urbanos. A partir de estas fuentes de biomasa, se deben realizar las operaciones necesarias para obtener la energía secundaria/final que alimentaría al sistema de combustión. Estas operaciones están a cargo de una empresa externa, quien se responsabiliza en proveer oportunamente la biomasa que satisfaga las especificaciones de calidad requeridas. El último eslabón consiste en el servicio de energía

útil integral que se le brinda a las viviendas. La gestión está a cargo de una empresa especializada en servicios energéticos.

Es importante señalar que según las capacidades y preferencias de la Empresa de Servicios Energéticos (ESE), se podría optar por delegar el servicio de gestión del cobro y el servicio al cliente post-venta a un intermediario.

8.1.3 Actividades clave

Las actividades clave para gestionar correctamente el servicio son:

8.1.3.1 Abastecimiento de biomasa

El abastecimiento del combustible es una actividad clave para el correcto funcionamiento de un sistema DH/CHP. El abastecimiento de combustible deberá cumplir con los estándares de calidad 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.

8.1.3.2 Autogestión del abastecimiento por parte de la ESCO.

La entidad responsable de la operación del sistema DH/CHP gestiona la logística directamente con los propietarios de las fuentes de biomasa (energía primaria), lo cual comprendería la negociación, recolección, tratamiento y almacenamiento. El proyecto del conjunto residencial de Reina Luisa se encuentra localizado al lado de dos aserraderos que disponen de astillas, aserrín y viruta para comercializar.

8.1.3.3 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, PCI 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 experiencia, es posible firmar contratos a largo plazo disminuyendo el riesgo de un eventuales problemas con el desabastecimiento de biomasa.

En Osorno se identificaron proveedores de biomasa con experiencia y capacidades para suministrar biomasa a largo plazo. Tal es el caso de la empresa Bossur S.A., empresa con 10 años de experiencia en el tratamiento y comercialización de astillas de eucaliptus, y la empresa INDEF, líder a nivel nacional en el aprovechamiento de residuos de actividades silvopastoriles.

8.1.3.4 Instalación, operación y mantención del sistema DH/CHP

La instalación, operación y mantenimiento del sistema DH/CHP es responsabilidad de la Empresa de Servicios Energéticos (ESE), dado que cuenta con el conocimiento técnico y equipos tecnológicos para hacerse cargo diseño del proyecto, instalación, operación y mantenimiento de los servicios del sistema DH/CHP.

8.1.3.5 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 del servicio, las responsabilidades de las partes, las condiciones de servicio, sanciones y arbitrajes. A continuación se explica con mayor detalle los aspectos mencionados.

La mantención y la reparación de la red deben ser llevadas a cabo por la empresa de servicios garantizando la calidad del servicio para los clientes finales.

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

La prestación del servicio será 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.

8.1.3.6 Mediciones, cobro y servicio post-venta

El cobro del servicio será conducido por la empresa de servicios energéticos. El servicio debería ser regulado por una institución pública, tal y como pasa con los servicios de electricidad, gas y combustibles con la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

8.1.3.7 Promoción de la tecnología

La estrategia de la relación con los clientes se debe orientar a la retención de los clientes y aumento de la demanda de servicios. En el informe sobre las barreras de mercado para los sistemas DH/CHP se comentó sobre la barrera social, en la cual se destaca la importancia de concientizar al cliente sobre los beneficios de un sistema DH/CHP, lo cual generará lealtad y una demanda rentabilice el sistema.

8.1.4 Participantes

La implementación y operación de un sistema de calefacción comunitaria (DH) requiere de la participación activa y coordinada de diversos participantes. El éxito del desarrollo del DH en ciudades chilenas se basará en el trabajo conjunto de los siguientes aliados estratégicos: empresas de servicios energéticos (ESE), proveedor de biomasa, sector inmobiliario, municipalidad, gobierno local y la comunidad.

| | | |
|--|--|--|
| Empresas de Servicios Energéticos | Sector inmobiliario | Proveedor de biomasa |
| <p>Se hacen cargo de la instalación, operación y mantenimiento de la planta de DH/CHP.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Ejemplo: Grupo Nova Energía, Energías del Sur, Ecalsur, Indef y empresas locales con interés en incursionar en el negocio.</i> | <p>El sector inmobiliario es el que posee la capacidad de incorporar la calefacción distrital en los nuevos proyectos inmobiliarios. Deben estar informados sobre los beneficios y políticas de fomento del Gobierno.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Ejemplo: Martabid, Socovesa, CINEL, Galilea y Acongagua. Es importante el apoyo que pueda dar la Oficina local de la Cámara Chilena de la Construcción.</i> | <p>Incluye a productores e intermediarios de biomasa. Se requiere un abastecimiento seguro y confiable de biomasa que cumpla con los estándares de calidad requeridos por la planta térmica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Ejemplo: Residuos de aserraderos (Madexpo, Madesur), BOSSUR, empresas forestales (Forestal Arauco, Masisa, Forestal de Los Lagos, Anchile y Forestal Trinidad), centrales de astillado (KBM Chile S.A., Forestal Los Lagos SA, Coala Industrial)</i> |
| Comunidad | Empresa especializada en cobro de servicios | Gobierno |
| <p>Información clara y oportuna sobre los beneficios de los sistemas DH/CHP, formalización de las condiciones del servicio a través de contratos, etc.</p> | <p>Empresas con las capacidades y experiencia en cobro de servicios.</p> <p><i>Ejemplo: Lipigas, SAESA, Gassur, etc.</i></p> | <p>Desarrollo de instrumentos de fomento, coordinación con autoridades regionales y locales, alianzas público privadas, entre otros.</p> <p><i>Ejemplo: Municipalidad, GORE, Seremis de MINVU y MMA.</i></p> |

Tabla 8.1: Participantes del proyecto 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 DH/CHP. En la etapa de planificación los aliados estratégicos más importantes son la empresa inmobiliaria, la municipalidad y el gobierno. Posteriormente la empresa de servicios energéticos (ESE), empresa inmobiliaria

y empresa constructora son aliados más importantes en la implementación. En la operación, las partes interesadas más importantes son la ESE y el proveedor de biomasa. A continuación se describe el aporte de cada aliado estratégico al modelo de negocios.

8.1.5 Estructura de ingresos y costos

Para analizar las alternativas para hacer frente a la inversión en infraestructura y equipamiento del sistema DH, se dividió la inversión en 3 componentes:

- **Planta de generación:** calderas (base, peak y respaldo), turbinas, generadores, condensadores, torres de enfriamiento, tanques de almacenamiento, entre otros.
- **Red de distribución:** tuberías, conexiones, sistemas de válvulas, aislantes, bombas, entre otros.
- **Equipos de calefacción de cada vivienda conectada:** intercambiador individual de calor, radiador, sistema de control, entre otros.

8.1.5.1 Financiamiento

A continuación se presentan las alternativas propuestas para el financiamiento.

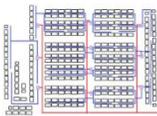
| Componente | | Alternativa de financiamiento | | |
|------------|---|-------------------------------|---|---|
| 1 | Planta de generación  | A | Propiedad de ESE | → Están dispuestas a financiar la inversión. |
| 2 | Red de distribución  | A | Copropiedad de los dueños del condominio/edificio | → Inversión incluida en el valor de la vivienda/departamento (Ley N° 19.537, Ley de Copropiedad Inmobiliaria) |
| | | B | Gobierno | → Inversión subsidiada parcial o totalmente por el gobierno |
| 3 | Equipamiento de vivienda  | A | Propietarios de vivienda | → Inversión es realizada por el propietario de la vivienda. |
| | | B | Gobierno | → Inversión subsidiada parcial o totalmente por el gobierno |

Tabla 8.2: Alternativas de financiamiento del sistema DH/CHP

La razón por la cual una ESE no es una alternativa de financiamiento para la red de distribución y el equipamiento de vivienda se debe a alto riesgo asociado de la inversión y la imposibilidad de recuperar la inversión en caso que el proyecto fracase. Esta fue la conclusión a la que llegaron los gerentes generales de dos ESCO que operan en Chile (Energía del Sur y Vapores del Sur). Ambas empresas proponen que la inversión debe ser cubierta por la empresa inmobiliaria como propiedad, cuyos montos se transfieren posteriormente a los propietarios de las viviendas. La infraestructura sería administrada por una junta de vecinos según la Ley de Copropiedad Inmobiliaria (N° 19.537).

8.1.5.2 Sistema tarifario

Se consideran distintos elementos para el cálculo de tarifa mensual, dicho cálculo 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 Tasa de Retorno Inversión del proyecto, en el plazo pactado con los usuarios, de modo que los usuarios no paguen cuotas mensuales excesivas y que la empresa de servicios cuente con garantías legales que disminuyan los riesgos de inversión.
- **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 se dicha parte de la tarifa, se debe considerar al menos las siguientes variables:

$$\text{Costo de la Energía} = \frac{\text{Costos de consumo}(\$)}{kWh_{th}} + \frac{\text{Costo de Operación}(\$)}{kWh_{th}} + \frac{\text{Retorno Fijo Garantizado}(\$)}{kWh_{th}}$$

- El retorno fijo garantizado (RFG) se incluye para disminuir los riesgos asociados y fomentar la inversión de los proyectos.

8.2 Modelos de negocio para proyectos mixtos

8.2.1 Mercado objetivo

El proyecto mixto en evaluación está constituido por el proyecto residencial Conjunto Reina Luisa y los aserraderos Madexpo S.A. y Madesur Ltda. 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.

8.2.2 Servicio

La planta de generación tendrá una central térmica y un módulo de cogeneración. Los servicios que ofrece la planta es energía térmica para las industrias y el proyecto residencial, y electricidad para las industrias y el Sistema Interconectado Central. Se

propone que la planta de generación sea gestionada por una Empresa de Servicios Energéticos. En el siguiente diagrama resume los servicios y el flujo de efectivo.

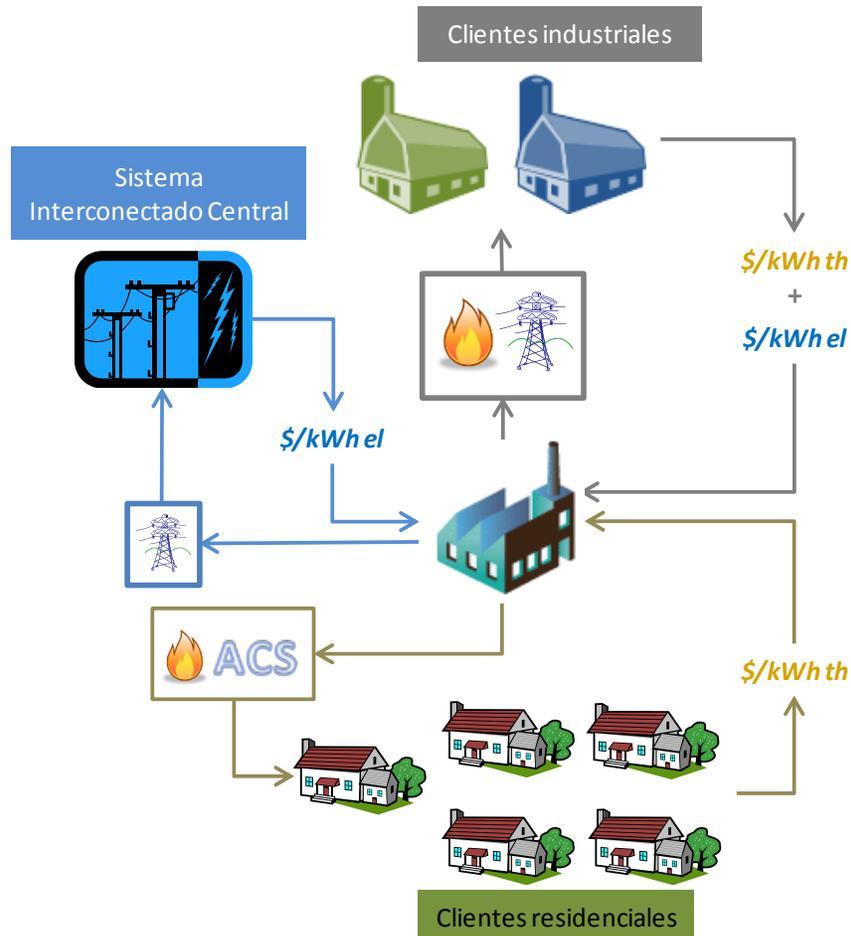


Figura 8.5: Modelo de negocio para el proyecto mixto de Osorno

Fuente: Elaboración propia

8.2.3 Cadena de valor

La cadena de valor del servicio energético está compuesta por cuatro etapas principales: energía primaria, energía secundaria, servicio de energía útil y ahorro energético.



Figura 8.6: Cadena de valor

Fuente: Elaboración propia

El primer y segundo eslabón de la cadena de valor corresponde a la obtención de la biomasa que alimentará las plantas de generación del proyecto. La energía primaria está definida según la fuente de origen de la biomasa: plantaciones forestales, procesos industriales de la madera y podas de árboles municipales. A partir de estas fuentes de biomasa, se deben realizar las operaciones necesarias para obtener la energía secundaria/final que alimentaría al sistema de combustión. Estas operaciones pueden estar a cargo de una empresa externa o bien, gestionado por la misma ESE. En la siguiente etapa se da el servicio de energía útil integral que se le brinda a los clientes.

En el anexo 3 se muestra el diagrama de flujo de la cadena de valor y las entidades responsables en ejecutar cada una de las actividades.

8.3 Actividades clave

Las actividades clave para gestionar correctamente el servicio son:

8.3.1 Recolección de biomasa

El abastecimiento de combustible deberá cumplir con los estándares de calidad 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:

- Alternativa N°1: Autogestión del suministro de biomasa.

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

- Alternativa N°2: 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, poder calorífico 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.

8.3.2 Instalación, operación y mantención del sistema DH/CHP

Al igual que en el modelo de negocios para proyectos residenciales, la instalación, operación y mantenimiento del sistema DH/CHP es responsabilidad de la Empresa de Servicios Energéticos (ESE), dado que cuenta con el conocimiento técnico y equipos tecnológicos para hacerse cargo diseño del proyecto, instalación, operación y mantenimiento de los servicios del sistema DH/CHP.

Para disminuir el riesgo del abastecimiento, que comprometa la continua gestión 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 del servicio, las responsabilidades de las partes, las condiciones de servicio, sanciones y arbitrajes.

8.3.3 Mediciones, cobro y servicio post-venta

El cobro del servicio y el servicio post-venta es responsabilidad de la empresa de servicios energéticos. Es importante contar con la supervisión de un ente regulador, tal y como pasa con los servicios de electricidad, gas y combustibles con la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

8.4 Participantes

La implementación y operación de un sistema de calefacción comunitaria (DH) requiere de la participación activa y coordinada de los siguientes participantes. Cada uno de estos aliados tiene un rol clave para la correcta ejecución de la planificación, implementación y operación de un sistema DH/CHP.

| | | |
|--|--|---|
| Empresas de Servicios Energéticos | Sector inmobiliario | Cientes industriales |
| <p>Se hacen cargo de la instalación, operación y mantenimiento de la planta de DH/CHP.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Ejemplo: Grupo Nova Energía, Energías del Sur, Ecalur, Indef y empresas locales con interés en incursionar en el negocio.</i> | <p>El sector inmobiliario es el que posee la capacidad de incorporar la calefacción distrital en los nuevos proyectos inmobiliarios. Deben estar informados sobre los beneficios y políticas de fomento del Gobierno.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Ejemplo: Martabid, Socovesa, CINEL, Galilea y Acongagua. Es importante el apoyo que pueda dar la Oficina local de la Cámara Chilena de la Construcción.</i> | <p>En este caso se trata de dos aserraderos con requerimientos energéticos térmicos y eléctricos estables. Las empresas son Madexpo y Madesur. Debe haber un contrato que defina las condiciones de la prestación del servicio entre la ESE y los clientes.</p> |
| Comunidad | Empresa especializada en cobro de servicios | Gobierno |
| <p>Información clara y oportuna sobre los beneficios de los sistemas DH/CHP, formalización de las condiciones del servicio a través de contratos, etc.</p> | <p>Empresas con las capacidades y experiencia en cobro de servicios.</p> <p><i>Ejemplo: Lipigas, SAESA, Gassur, etc.</i></p> | <p>Desarrollo de instrumentos de fomento, coordinación con autoridades regionales y locales, alianzas público privadas, entre otros.</p> <p><i>Ejemplo: Municipalidad, GORE, Seremis de MINVU y MMA.</i></p> |
| Proveedor de biomasa | | |
| <p>Incluye a productores e intermediarios de biomasa. Se requiere un abastecimiento seguro y confiable de biomasa que cumpla con los estándares de calidad requeridos por la planta térmica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Ejemplo: Residuos de aserraderos (Madexpo, Madesur), BOSSUR, empresas forestales (Forestal Arauco, Masisa, Forestal de Los Lagos, Anchile y Forestal Trinidad), centrales de astillado (KBM Chile S.A., Forestal Los Lagos SA, Coala Industrial)</i> | | |

Tabla 8.3: Participantes del proyecto residencial

Fuente: Elaboración propia

8.4.1 Estructura de ingresos y costos

Para analizar las alternativas para hacer frente a la inversión en infraestructura y equipamiento del sistema DH, se dividió la inversión en 3 componentes:

Central de calderas: calderas (base, peak y respaldo), turbinas, generadores, condensadores, torres de enfriamiento, tanques de almacenamiento, entre otros.

Red de distribución: tuberías, conexiones, sistemas de válvulas, aislantes, bombas, entre otros.

Equipos de calefacción de cada vivienda conectada: intercambiador individual de calor, radiador, sistema de control, entre otros.

A continuación se presentan las alternativas propuestas para el financiamiento.

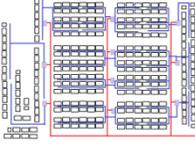
| Componente | Alternativa de financiamiento | |
|--|-------------------------------|---|
| 1 Central de calderas  | A Propiedad de ESCO | → Están dispuestas a financiar la inversión. |
| 2 Red de distribución  | A Empresa privada | → Red de distribución del conjunto residencial financiada por Martabid. |
| | B Gobierno | → Subsidio parcial o total de la inversión. |
| 3 Equipamiento individual  | A Propietarios | → La inversión es realizada por los clientes. |
| | B Gobierno | → Al ser viviendas de costo menor a los 1000 UF resulta razonable que se cuente con un subsidio parcial o total del gobierno. |

Tabla 8.4: Alternativas de financiamiento del sistema DH/CHP

Fuente: Elaboración propia

8.4.1.1 Sistema tarifario

Se consideran distintos elementos para el cálculo de tarifa mensual, dicho cálculo 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 Tasa de Retorno Inversión del proyecto, en el plazo pactado con los usuarios, de modo que los usuarios no paguen cuotas mensuales excesivas y que la empresa de servicios cuente con garantías legales que disminuyan los riesgos de inversión.
- **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 se dicha parte de la tarifa, se debe considerar al menos las siguientes variables:

$$\text{Costo de la Energía} = \frac{\text{Costos de consumo}(\$)}{kWh_{th}} + \frac{\text{Costo de Operación}(\$)}{kWh_{th}} + \frac{\text{Retorno Fijo Garantizado}(\$)}{kWh_{th}}$$

- El retorno fijo garantizado (RFG) se incluye para disminuir los riesgos asociados y fomentar la inversión de los proyectos.

9 Evaluación económica

9.1 Aspectos generales

9.1.1 Inversión inicial

9.1.1.1 Estudios de preinversión y permisos previos

Entre los estudios de preinversión y los permisos ambientales y de construcción, se estima una inversión de unos \$40.000.000. En el caso de requerirse una Declaración de Impacto Ambiental, esta inversión aumentaría en unos \$15.000.000.

9.1.1.2 Central térmica

A partir de los requerimientos térmicos de cada proyecto, reportados en el capítulo 5, se solicitaron cotizaciones a dos proveedores e instaladores de plantas térmicas en Chile¹⁶. Las características de los equipos cotizados se indican a continuación.

¹⁶ Los proveedores consultados fueron Vapores del Sur (<http://www.vaporesdelsur.cl>), quienes representan en Chile a la firma española L.Solé (<http://www.lsole.com>), y Grupo Nova Energía (GNE) (<http://www.gruponovaenergia.com>), firma también española con presencia en Chile y otros países.

| | |
|----------------------|--|
| 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) |
| | Sistema para control a distancia del sistema |

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

9.1.1.3 Red de distribución

El costo de inversión de la red de distribución se determina a partir de los costos unitarios de tubería, aislante, soldaduras, fitting, excavaciones y retapes, y mano de obra de montaje. Además, se determina un monto aproximado por concepto de bombas, válvulas, accesorios de montaje y control, y gastos generales.

9.1.2 Ingresos por ventas

9.1.2.1 Precio de venta

El precio de suministro de calefacción y ACS se fija al analizar un conjunto de variables a través del cálculo de la tarifa según costos operacionales y de inversión, niveles de ingreso y costo de calefacción y ACS con artefactos actuales de las familias en Osorno.

Tarifa en base al gasto anual por familia.

De acuerdo a los resultados obtenidos de las encuestas de hábitos de consumo de leña en Osorno, se infirió que el gasto en calefacción es transversal a los estratos socio-económicos, razón por la cual se consideró el gasto promedio de consumo para los meses

de frío (abril – noviembre) por familia, el que asciende a \$411.048 en calefacción y \$168.009 en ACS, considerando costos unitarios de 32,37 (\$/kWh) y 40,4 (\$/kWh) para la leña y el gas licuado, respectivamente.

Asumiendo que las familias no querrán gastar más dinero del que gastan actualmente en calefacción y ACS, se puede determinar los precios (\$/kWh) para cada proyecto y en cada escenario analizado. En la Tabla 9.1, se observan los precios que estarían dispuestos a pagar por calefacción distrital las familias en Osorno.

$$Tarifa = \frac{Gasto\ Anual\ por\ familia\ (\$)}{Consumo\ Anual\ por\ Vivienda(kWh)}$$

| Escenarios | Conjunto | Conjunto | Condominio |
|-------------------------------|------------|-------------|------------|
| | Las Palmas | Reina Luisa | Bellavista |
| Escenario 1 | \$ 52,49 | \$ 67,04 | \$ 47,25 |
| Escenario 2 (Tarifa Diurna) | \$ 40,93 | \$ 56,49 | \$ 36,24 |
| Escenario 2 (Tarifa Nocturna) | \$ 8,95 | \$ 15,26 | \$ 8,36 |

Tabla 9.1: Tarifa máxima a cobrar en base al gasto anual por familia

Tarifa en base a la inversión y gastos operacionales

Para calcular la tarifa mensual se supone un consumo térmico de calefacción y ACS fijo en los distintos proyectos evaluados, considerando los siguientes elementos:

- Tarifa en base a la inversión realizada: Calculada para garantizar la recuperación de la inversión inicial en un periodo de 15 años considerando una tasa de descuento del 10%.

$$Tarifa = \frac{Costo\ Anual\ Equivalente\ (CAE)\ por\ Proyecto(\$)}{Consumo\ Anual\ por\ Proyecto(kWh)}$$

$$CAE = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} * \left[\frac{r * (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

C_t : Costos incurrido durante el periodo t.

n: Horizonte de evaluación.

r: Tasa de descuento.

Las tarifas en base a la inversión realizada para cada uno de los proyectos según los respectivos escenarios se muestran en la siguiente tabla:

| COSTO DE INVERSIÓN (\$/kWh) | Conjunto | Conjunto | Condominio |
|--|------------|-------------|------------|
| | Las Palmas | Reina Luisa | Bellavista |
| Escenario 1 | \$ 85,33 | \$ 86,35 | \$ 113,88 |
| Escenario 2 | \$ 55,40 | \$ 54,74 | \$ 72,70 |
| Escenario 1, 90% biomasa 10% gas licuado | \$ 73,69 | \$ 79,35 | \$ 97,66 |
| Escenario 1, 60% potencia y 100 litros/vivienda de inercia | \$ 72,61 | \$ 75,73 | \$ 105,58 |

Tabla 9.2: Tarifa a cobrar en base a la inversión

- Tarifa en base a los costos operacionales: Calculada para cubrir los costos y gastos operacionales del sistema de calefacción distrital durante su etapa de operación.

$$Tarifa = \frac{\text{Costos y Gastos Operacionales por Proyecto (\$)}}{\text{Consumo Anual por Proyecto (kWh)}}$$

Las tarifas en base a los costos y gastos operacionales para cada uno de los proyectos según los respectivos escenarios se muestran en la siguiente tabla:

| COSTO OPERACIONALES (\$/kWh) | Conjunto | Conjunto | Condominio |
|--|------------|-------------|------------|
| | Las Palmas | Reina Luisa | Bellavista |
| Escenario 1 | \$ 18,59 | \$ 19,61 | \$ 32,53 |
| Escenario 2 | \$ 14,53 | \$ 15,35 | \$ 23,52 |
| Escenario 1, 90% biomasa 10% gas licuado | \$ 18,52 | \$ 20,33 | \$ 32,31 |
| Escenario 1, 60% potencia y 100 litros/vivienda de inercia | \$ 18,16 | \$ 19,39 | \$ 32,26 |

Tabla 9.3: Tarifa a cobrar en base a los costos operacionales

- Tarifa en base al retorno fijo garantizado: Calculada para disminuir los riesgos asociados y fomentar la inversión de proyectos, se estima un retorno de capital de un 10%.

$$Tarifa = \frac{\text{Retorno Fijo Garantizado (\$)}}{\text{Consumo Anual por Proyecto (kWh)}}$$

Las tarifas en base al retorno fijo garantizado para cada uno de los proyectos según los respectivos escenarios se muestran en la siguiente tabla:

| RETORNO FIJO GARANTIZADO (\$/kWh) | Conjunto | Conjunto | Condominio |
|--|------------|-------------|------------|
| | Las Palmas | Reina Luisa | Bellavista |
| Escenario 1 | \$ 64,91 | \$ 65,68 | \$ 86,62 |
| Escenario 2 | \$ 42,14 | \$ 41,63 | \$ 55,30 |
| Escenario 1, 90% biomasa 10% gas licuado | \$ 56,05 | \$ 60,35 | \$ 74,28 |
| Escenario 1, 60% potencia y 100 litros/vivienda de inercia | \$ 55,23 | \$ 57,60 | \$ 80,30 |

Tabla 9.4: Tarifa a cobrar en base al retorno fijo garantizado

Finalmente, las tarifas necesarias para cubrir el gasto de inversión y los costos operativos del proyecto, y asegurar un retorno de un 10% del capital invertido, se resumen en la siguiente tabla:

| TARIFA DE REFERENCIA (\$/kWh) | Conjunto | Conjunto | Condominio |
|--|------------|-------------|------------|
| | Las Palmas | Reina Luisa | Bellavista |
| Escenario 1 | \$ 168,83 | \$ 171,64 | \$ 233,03 |
| Escenario 2 (Tarifa Diurna) | \$ 143,46 | \$ 153,05 | \$ 196,97 |
| Escenario 2 (Tarifa Nocturna) | \$ 31,38 | \$ 41,33 | \$ 45,45 |
| Escenario 1, 90% biomasa 10% gas licuado | \$ 148,26 | \$ 160,04 | \$ 204,25 |
| Escenario 1, 60% potencia y 100 litros/vivienda de inercia | \$ 146,01 | \$ 152,73 | \$ 218,14 |

Tabla 9.5: Tarifa total a cobrar en calefacción y ACS

9.1.2.2 Volumen de venta

El volumen de venta está dado por los consumos térmicos reportados en capítulos anteriores.

9.1.3 Costos operacionales

Los costos operacionales asociados a cada proyecto, corresponden a:

- Consumo de combustible
- Consumo de electricidad
- Horas hombre de operación
- Gastos de mantención de la central
- Seguros
- Gastos de administración y ventas

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: 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.

9.2 Conjunto Las Palmas

9.2.1 Inversión inicial

9.2.1.1 Planta térmica

A continuación, se entrega un detalle del costo estimado de una planta térmica, según se requiere en cada escenario.

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------------------|------------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 180 kW biomasa | gl | 1 | 81.000.000 | 172.340 | 81.000.000 | 172.340 | 6% |
| Caldera peak 3,8 MW biomasa | gl | 1 | 567.000.000 | 1.206.383 | 567.000.000 | 1.206.383 | 44% |
| Caldera respaldo 3,8 MW gas licuado | gl | 1 | 155.000.000 | 329.787 | 155.000.000 | 329.787 | 12% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 100.000.000 | 212.766 | 100.000.000 | 212.766 | 8% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 0% |
| Terreno | m ² | 500 | 40.000 | 85 | 20.000.000 | 42.553 | 2% |
| Edificación | m ² | 300 | 200.000 | 426 | 60.000.000 | 127.660 | 5% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 316.750.000 | 673.936 | 316.750.000 | 673.936 | 24% |
| Total | | | | | 1.301.750.000 | 2.769.681 | 100% |

Tabla 9.6: Inversión inicial planta térmica Conjunto Las Palmas, escenario 1

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|----------------------|------------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 180 kW biomasa | gl | 1 | 81.000.000 | 172.340 | 81.000.000 | 172.340 | 7% |
| Caldera peak 2,7 MW biomasa | gl | 1 | 495.000.000 | 1.053.191 | 495.000.000 | 1.053.191 | 43% |
| Caldera respaldo 2,7 MW gas licuado | gl | 1 | 132.000.000 | 280.851 | 132.000.000 | 280.851 | 12% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 80.000.000 | 170.213 | 80.000.000 | 170.213 | 7% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 0% |
| Terreno | m ² | 500 | 40.000 | 85 | 20.000.000 | 42.553 | 2% |
| Edificación | m ² | 300 | 200.000 | 426 | 60.000.000 | 127.660 | 5% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 276.500.000 | 588.298 | 276.500.000 | 588.298 | 24% |
| Total | | | | | 1.146.500.000 | 2.439.362 | 100% |

Tabla 9.7: Inversión inicial planta térmica Conjunto Las Palmas, escenario 2

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|------------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 180 kW biomasa | gl | 1 | 81.000.000 | 172.340 | 81.000.000 | 172.340 | 10% |
| Caldera peak 2,0 MW biomasa | gl | 1 | 324.000.000 | 689.362 | 324.000.000 | 689.362 | 39% |
| Caldera respaldo 2,0 MW gas licuado | gl | 1 | 85.000.000 | 180.851 | 85.000.000 | 180.851 | 10% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 70.000.000 | 148.936 | 70.000.000 | 148.936 | 8% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 0% |
| Terreno | m ² | 500 | 40.000 | 85 | 20.000.000 | 42.553 | 2% |
| Edificación | m ² | 300 | 200.000 | 426 | 60.000.000 | 127.660 | 7% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 196.700.000 | 418.511 | 196.700.000 | 418.511 | 23% |
| Total | | | | | 838.700.000 | 1.784.468 | 100% |

Tabla 9.8: Inversión inicial planta térmica Conjunto Las Palmas, escenario 1.1

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|------------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 180 kW biomasa | gl | 1 | 81.000.000 | 172.340 | 81.000.000 | 172.340 | 9% |
| Caldera peak 2,0 MW biomasa | gl | 1 | 324.000.000 | 689.362 | 324.000.000 | 689.362 | 37% |
| Caldera respaldo 2,0 MW gas licuado | gl | 1 | 85.000.000 | 180.851 | 85.000.000 | 180.851 | 10% |
| Estanque inercia 10.000 litros | gl | 3 | 7.000.000 | 14.894 | 21.000.000 | 44.681 | 2% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 70.000.000 | 148.936 | 70.000.000 | 148.936 | 8% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 0% |
| Terreno | m ² | 500 | 40.000 | 85 | 20.000.000 | 42.553 | 2% |
| Edificación | m ² | 300 | 200.000 | 426 | 60.000.000 | 127.660 | 7% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 204.050.000 | 434.149 | 204.050.000 | 434.149 | 24% |
| Total | | | | | 867.050.000 | 1.844.787 | 100% |

Tabla 9.9: Inversión inicial planta térmica Conjunto Las Palmas, escenario 1.2

9.2.1.2 Red de distribución

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Costo unitario (USD) | Costo total (\$) | Costo total (USD) | Peso |
|---------------------------------|--------|----------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------------|
| Tubería fierro Sch 40 15 mm | m | 381 | 1.083 | 2,30 | 412.623 | 878 | |
| Tubería fierro Sch 40 20 mm | m | 1.472 | 1.083 | 2,30 | 1.594.609 | 3.393 | |
| Tubería fierro Sch 40 25 mm | m | 982 | 1.574 | 3,35 | 1.545.038 | 3.287 | |
| Tubería fierro Sch 40 32 mm | m | 1.330 | 1.574 | 3,35 | 2.094.050 | 4.455 | |
| Tubería fierro Sch 40 40 mm | m | 217 | 1.574 | 3,35 | 341.558 | 727 | |
| Tubería fierro Sch 40 50 mm | m | 651 | 3.093 | 6,58 | 2.012.924 | 4.283 | |
| Tubería fierro Sch 40 65 mm | m | 367 | 6.672 | 14,20 | 2.447.290 | 5.207 | |
| Tubería fierro Sch 40 125 mm | m | 155 | 8.976 | 19,10 | 1.391.280 | 2.960 | |
| Total tuberías | m | 5.555 | 2.131 | 4,53 | 11.839.372 | 25.190 | 4% |
| Aislación tuberías | m3 | 11,0 | 1.160.000 | 2.468 | 12.760.000 | 27.149 | 4% |
| Excavaciones y retapes | m | 5.555 | 7.000 | 14,89 | 38.885.000 | 82.734 | 13% |
| Fitting y soldaduras | m | 5.555 | 20.000 | 42,55 | 111.100.000 | 236.383 | 36% |
| Bombas | gl | 1 | 35.000.000 | 74.468 | 35.000.000 | 74.468 | 11% |
| Válvulas | gl | 1 | 7.000.000 | 14.894 | 7.000.000 | 14.894 | 2% |
| Accesorios de montaje y control | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 1% |
| Gastos generales | gl | 1 | 7.000.000 | 14.894 | 7.000.000 | 14.894 | 2% |
| Mano de obra montaje tuberías | m | 5.555 | 15.000 | 31,91 | 83.325.000 | 177.287 | 27% |
| Total | | | | | 308.909.372 | 657.254 | 100% |

Tabla 9.10: Inversión inicial red de distribución de calor, Conjunto Las Palmas

9.2.1.3 Distribución en viviendas

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario (\$) | Costo unitario (USD) | Costo total (\$) | Costo total (USD) | Peso |
|---------------------------------|--------|----------|---------------------|----------------------|------------------|-------------------|-------------|
| Red de tuberías e instalación | gl | 1 | 500.000 | 1.064 | 500.000 | 1.064 | 23% |
| Intercambiador de calor | gl | 1 | 150.000 | 319 | 150.000 | 319 | 7% |
| Radiadores y accesorios | gl | 1 | 600.000 | 1.277 | 600.000 | 1.277 | 28% |
| Termos de almacenamiento ACS | gl | 1 | 400.000 | 851 | 400.000 | 851 | 19% |
| Sistema de control y accesorios | gl | 1 | 250.000 | 532 | 250.000 | 532 | 12% |
| Mano de obra montaje | gl | 1 | 250.000 | 532 | 250.000 | 532 | 12% |
| Total | | | | | 2.150.000 | 4.574 | 100% |

Tabla 9.11: Inversión inicial en distribución al interior de las viviendas, por vivienda, Conjunto Las Palmas

9.2.2 Costos operativos

A continuación, se indican los costos operativos para cada escenario estudiado. En todos los casos, se considera un sistema de operación remoto, lo que libera el costo adicional en horas hombre.

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 1.058 | 20.055 | 42,67 | 21.226.486 | 45.163 | 33% |
| Gas licuado | kg | 0 | 1.000 | 2,13 | 0 | 0 | 0% |
| Electricidad | kWh | 100.000 | 60 | 0,13 | 6.000.000 | 12.766 | 9% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 12% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 10.000.000 | 21.277 | 10.000.000 | 21.277 | 16% |
| Seguros | gl | 1 | 9.650.000 | 20.532 | 9.650.000 | 20.532 | 15% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 10.000.000 | 21.277 | 10.000.000 | 21.277 | 16% |
| Total | | | | | 64.376.486 | 136.971 | 100% |

Tabla 9.12: Costos operativos escenario 1, Conjunto Las Palmas

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 1.537 | 20.055 | 42,67 | 30.818.899 | 65.572 | 48% |
| Gas licuado | ton | 0 | 1.000 | 2,13 | 0 | 0 | 0% |
| Electricidad | kWh | 100.000 | 60 | 0,13 | 6.000.000 | 12.766 | 9% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 12% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 10.000.000 | 21.277 | 10.000.000 | 21.277 | 16% |
| Seguros | gl | 1 | 8.500.000 | 18.085 | 8.500.000 | 18.085 | 13% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 10.000.000 | 21.277 | 10.000.000 | 21.277 | 16% |
| Total | | | | | 72.818.899 | 154.934 | 100% |

Tabla 9.13: Costos operativos escenario 2, Conjunto Las Palmas

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 1.040 | 20.055 | 42,67 | 20.854.463 | 44.371 | 32% |
| Gas licuado | kg | 2.361 | 1.000 | 2,13 | 2.360.926 | 5.023 | 4% |
| Electricidad | kWh | 100.000 | 60 | 0,13 | 6.000.000 | 12.766 | 9% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 12% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 10.000.000 | 21.277 | 10.000.000 | 21.277 | 16% |
| Seguros | gl | 1 | 6.220.000 | 13.234 | 6.220.000 | 13.234 | 10% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 10.000.000 | 21.277 | 10.000.000 | 21.277 | 16% |
| Total | | | | | 62.935.390 | 133.905 | 100% |

Tabla 9.14: Costos operativos escenario 1.1, Conjunto Las Palmas

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 1.055 | 20.055 | 42,67 | 21.160.004 | 45.021 | 33% |
| Gas licuado | kg | 422 | 1.000 | 2,13 | 421.908 | 898 | 1% |
| Electricidad | kWh | 100.000 | 60 | 0,13 | 6.000.000 | 12.766 | 9% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 12% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 10.000.000 | 21.277 | 10.000.000 | 21.277 | 16% |
| Seguros | gl | 1 | 6.430.000 | 13.681 | 6.430.000 | 13.681 | 10% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 10.000.000 | 21.277 | 10.000.000 | 21.277 | 16% |
| Total | | | | | 61.511.912 | 130.876 | 100% |

Tabla 9.15: Costos operativos escenario 1.2, Conjunto Las Palmas

9.2.3 Depreciación de activos

Los activos depreciables corresponden a los que se indican en las tablas 9.14 a 9.17, así como la vida útil, el valor de rescate, la depreciación anual y el peso relativo de cada ítem sobre el total. Se considera depreciación lineal.

En el escenario 1, por ejemplo, de todo el activo depreciable, el 50% correspondería a los elementos de distribución al interior de las viviendas, mientras que los equipos de la planta térmica corresponderían a un tercio del total. En ambos casos, se asumió un 10% de valor de rescate comercial con valor libro igual a cero.

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 905.000 | 15 | 90.500 | 54.300 | 56% |
| Edificación planta térmica | 60.000 | 20 | 0 | 3.000 | 3% |
| Red de distribución | 308.909 | 30 | 0 | 10.297 | 11% |
| Distribución interior | 666.500 | 20 | 66.650 | 29.993 | 31% |
| Total | 1.940.409 | | | 97.589 | 100% |

Tabla 9.16: Depreciación de activos, escenario 1, Conjunto Las Palmas

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 790.000 | 15 | 79.000 | 47.400 | 52% |
| Edificación planta térmica | 60.000 | 20 | 0 | 3.000 | 3% |
| Red de distribución | 308.909 | 30 | 0 | 10.297 | 11% |
| Distribución interior | 666.500 | 20 | 66.650 | 29.993 | 33% |
| Total | 1.825.409 | | | 90.689 | 100% |

Tabla 9.17: Depreciación de activos, escenario 2, Conjunto Las Palmas

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 562.000 | 15 | 56.200 | 33.720 | 44% |
| Edificación planta térmica | 60.000 | 20 | 0 | 3.000 | 4% |
| Red de distribución | 308.909 | 30 | 0 | 10.297 | 13% |
| Distribución interior | 666.500 | 20 | 66.650 | 29.993 | 39% |
| Total | 1.597.409 | | | 77.009 | 100% |

Tabla 9.18: Depreciación de activos, escenario 1.1, Conjunto Las Palmas

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 583.000 | 15 | 58.300 | 34.980 | 45% |
| Edificación planta térmica | 60.000 | 20 | 0 | 3.000 | 4% |
| Red de distribución | 308.909 | 30 | 0 | 10.297 | 13% |
| Distribución interior | 666.500 | 20 | 66.650 | 29.993 | 38% |
| Total | 1.618.409 | | | 78.269 | 100% |

Tabla 9.19: Depreciación de activos, escenario 1.2, Conjunto Las Palmas

9.2.4 Ingresos por venta del servicio

En la tabla 9.18, se indican los ingresos por venta del servicio, considerando una tarifa de venta equivalente a un 20% más que el gasto actual en calefacción y ACS de una familia promedio en Osorno.

| Conjunto Las Palmas | | Escenario 1 | Escenario 2 |
|----------------------|------------|-------------|-------------|
| Consumo diurno | (kWh/año) | 3.445.998 | 3.602.355 |
| Consumo nocturno | (kWh/año) | | 1.400.916 |
| Tarifa diurna | (\$/kWh) | 62,99 | 49,12 |
| Tarifa nocturna | (\$/kWh) | | 10,74 |
| Gasto por vivienda | (\$/año) | 700.182 | 619.287 |
| Gasto total conjunto | (\$/año) | 217.056.509 | 191.979.120 |
| | (US\$/año) | 461.822 | 408.466 |

Tabla 9.20: Ingresos por venta de servicio, Conjunto Las Palmas

9.2.5 Evaluación económica

De acuerdo a las cifras reportadas en este capítulo, los indicadores de evaluación económica serían los siguientes:

| | VAN(10%) (M\$) | TIR | Inversión (M\$) |
|--|-------------------|-------|--------------------|
| Escenario 1 | -1.199.476 | -0,1% | 2.277.159 |
| Escenario 2 | -1.267.513 | -1,8% | 2.121.909 |
| Escenario 1, respaldo con gas licuado en un 10% de las horas de calefacción | -762.151 | 2,3% | 1.814.109 |
| Escenario 1, 60% de la potencia de la caldera a biomasa, volumen de inercia de 100 litros/vivienda | -779.382 | 2,2% | 1.842.459 |

Tabla 9.21: Indicadores de evaluación económica, Conjunto Las Palmas

El escenario más favorable es el escenario 1.1, aunque en cualquiera de ellos, la rentabilidad económica resulta negativa. Para que el proyecto fuera rentable desde un punto de vista económico, el subsidio por parte del Estado debiera cubrir el VAN negativo reportado en la tabla 9.19; es decir, el Estado debiera invertir del orden de los 770 millones de pesos para rentabilizar este proyecto.

9.3 Conjunto Reina Luisa

9.3.1 Inversión inicial

9.3.1.1 Planta térmica

A continuación, se entrega un detalle del costo estimado de una planta térmica, según se requiere en cada escenario.

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|------------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 140 kW biomasa | gl | 1 | 65.000.000 | 138.298 | 65.000.000 | 138.298 | 8% |
| Caldera peak 2,0 MW biomasa | gl | 1 | 324.000.000 | 689.362 | 324.000.000 | 689.362 | 41% |
| Caldera respaldo 2,0 MW gas licuado | gl | 1 | 85.000.000 | 180.851 | 85.000.000 | 180.851 | 11% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 70.000.000 | 148.936 | 70.000.000 | 148.936 | 9% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 0% |
| Terreno | m ² | 280 | 40.000 | 85 | 11.200.000 | 23.830 | 1% |
| Edificación | m ² | 170 | 200.000 | 426 | 34.000.000 | 72.340 | 4% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 191.100.000 | 406.596 | 191.100.000 | 406.596 | 24% |
| Total | | | | | 782.300.000 | 1.664.468 | 100% |

Tabla 9.22: Inversión inicial planta térmica Conjunto Reina Luisa, escenario 1

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|------------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 140 kW biomasa | gl | 1 | 65.000.000 | 138.298 | 65.000.000 | 138.298 | 10% |
| Caldera peak 1,5 MW biomasa | gl | 1 | 280.000.000 | 595.745 | 280.000.000 | 595.745 | 41% |
| Caldera respaldo 1,5 MW gas licuado | gl | 1 | 70.000.000 | 148.936 | 70.000.000 | 148.936 | 10% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 55.000.000 | 117.021 | 55.000.000 | 117.021 | 8% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 0% |
| Terreno | m ² | 280 | 40.000 | 85 | 11.200.000 | 23.830 | 2% |
| Edificación | m ² | 170 | 200.000 | 426 | 34.000.000 | 72.340 | 5% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 165.200.000 | 351.489 | 165.200.000 | 351.489 | 24% |
| Total | | | | | 682.400.000 | 1.451.915 | 100% |

Tabla 9.23: Inversión inicial planta térmica Conjunto Reina Luisa, escenario 2

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|------------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 140 kW biomasa | gl | 1 | 65.000.000 | 138.298 | 65.000.000 | 138.298 | 12% |
| Caldera peak 1,0 MW biomasa | gl | 1 | 200.000.000 | 425.532 | 200.000.000 | 425.532 | 38% |
| Caldera respaldo 1,0 MW gas licuado | gl | 1 | 50.000.000 | 106.383 | 50.000.000 | 106.383 | 9% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 40.000.000 | 85.106 | 40.000.000 | 85.106 | 8% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 0% |
| Terreno | m ² | 280 | 40.000 | 85 | 11.200.000 | 23.830 | 2% |
| Edificación | m ² | 170 | 200.000 | 426 | 34.000.000 | 72.340 | 6% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 124.950.000 | 265.851 | 124.950.000 | 265.851 | 24% |
| Total | | | | | 527.150.000 | 1.121.596 | 100% |

Tabla 9.24: Inversión inicial planta térmica Conjunto Reina Luisa, escenario 1.1

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|------------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 140 kW biomasa | gl | 1 | 65.000.000 | 138.298 | 65.000.000 | 138.298 | 12% |
| Caldera peak 1,0 MW biomasa | gl | 1 | 200.000.000 | 425.532 | 200.000.000 | 425.532 | 36% |
| Caldera respaldo 1,0 MW gas licuado | gl | 1 | 50.000.000 | 106.383 | 50.000.000 | 106.383 | 9% |
| Estanque inercia 10.000 litros | gl | 2,5 | 7.000.000 | 14.894 | 17.500.000 | 37.234 | 3% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 40.000.000 | 85.106 | 40.000.000 | 85.106 | 7% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 0% |
| Terreno | m ² | 280 | 40.000 | 85 | 11.200.000 | 23.830 | 2% |
| Edificación | m ² | 170 | 200.000 | 426 | 34.000.000 | 72.340 | 6% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 131.075.000 | 278.883 | 131.075.000 | 278.883 | 24% |
| Total | | | | | 550.775.000 | 1.171.862 | 100% |

Tabla 9.25: Inversión inicial planta térmica Conjunto Reina Luisa, escenario 1.2

9.3.1.2 Red de distribución

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | |
|---------------------------------|--------|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Tubería fierro Sch 40 15 mm | m | 292 | 1.083 | 2,30 | 316.019 | 672 | |
| Tubería fierro Sch 40 20 mm | m | 994 | 1.083 | 2,30 | 1.076.502 | 2.290 | |
| Tubería fierro Sch 40 25 mm | m | 850 | 1.574 | 3,35 | 1.338.215 | 2.847 | |
| Tubería fierro Sch 40 32 mm | m | 977 | 1.574 | 3,35 | 1.537.798 | 3.272 | |
| Tubería fierro Sch 40 80 mm | m | 639 | 8.976 | 19,10 | 5.733.869 | 12.200 | |
| Total tuberías | m | 3.752 | 2.666 | 5,67 | 10.002.403 | 21.282 | 5% |
| Aislación tuberías | m3 | 8,0 | 1.160.000 | 2.468 | 9.280.000 | 19.745 | 4% |
| Excavaciones y retapes | m | 3.752 | 7.000 | 14,89 | 26.262.600 | 55.878 | 12% |
| Fitting y soldaduras | m | 3.752 | 20.000 | 42,55 | 75.036.000 | 159.651 | 35% |
| Bombas | gl | 1 | 25.000.000 | 53.191 | 25.000.000 | 53.191 | 12% |
| Válvulas | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 2% |
| Accesorios de montaje y control | gl | 1 | 2.500.000 | 5.319 | 2.500.000 | 5.319 | 1% |
| Gastos generales | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 2% |
| Mano de obra montaje tuberías | m | 3.752 | 15.000 | 31,91 | 56.277.000 | 119.738 | 26% |
| Total | | | | | 214.358.003 | 456.081 | 100% |

Tabla 9.26: Inversión inicial red de distribución de calor, Conjunto Reina Luisa

9.3.1.3 Distribución en viviendas

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------|--------|----------|----------------|----------------|------------------|--------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Red de tuberías e instalación | gl | 1 | 500.000 | 1.064 | 500.000 | 1.064 | 23% |
| Intercambiador de calor | gl | 1 | 150.000 | 319 | 150.000 | 319 | 7% |
| Radiadores y accesorios | gl | 1 | 600.000 | 1.277 | 600.000 | 1.277 | 28% |
| Termos de almacenamiento ACS | gl | 1 | 400.000 | 851 | 400.000 | 851 | 19% |
| Sistema de control y accesorios | gl | 1 | 250.000 | 532 | 250.000 | 532 | 12% |
| Mano de obra montaje | gl | 1 | 250.000 | 532 | 250.000 | 532 | 12% |
| Total | | | | | 2.150.000 | 4.574 | 100% |

Tabla 9.27: Inversión inicial en distribución al interior de las viviendas, por vivienda, Conjunto Reina Luisa

9.3.2 Costos operativos

A continuación, se indican los costos operativos para cada escenario estudiado. En todos los casos, se considera un sistema de operación remoto, lo que libera el costo adicional en horas hombre.

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 709 | 20.055 | 42,67 | 14.211.399 | 30.237 | 31% |
| Gas licuado | kg | 0 | 1.000 | 2,13 | 0 | 0 | 0% |
| Electricidad | kWh | 80.000 | 60 | 0,13 | 4.800.000 | 10.213 | 11% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 17% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 11% |
| Seguros | gl | 1 | 5.800.000 | 12.340 | 5.800.000 | 12.340 | 13% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 8.000.000 | 17.021 | 8.000.000 | 17.021 | 18% |
| Total | | | | | 45.311.399 | 96.407 | 100% |

Tabla 9.28: Costos operativos escenario 1, Conjunto Reina Luisa

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 997 | 20.055 | 42,67 | 20.002.969 | 42.560 | 40% |
| Gas licuado | kg | 0 | 1.000 | 2,13 | 0 | 0 | 0% |
| Electricidad | kWh | 80.000 | 60 | 0,13 | 4.800.000 | 10.213 | 10% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 15% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 10% |
| Seguros | gl | 1 | 5.060.000 | 10.766 | 5.060.000 | 10.766 | 10% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 8.000.000 | 17.021 | 8.000.000 | 17.021 | 16% |
| Total | | | | | 50.362.969 | 107.155 | 100% |

Tabla 9.29: Costos operativos escenario 2, Conjunto Reina Luisa

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 685 | 20.055 | 42,67 | 13.732.017 | 29.217 | 30% |
| Gas licuado | kg | 3.042 | 1.000 | 2,13 | 3.042.250 | 6.473 | 7% |
| Electricidad | kWh | 80.000 | 60 | 0,13 | 4.800.000 | 10.213 | 10% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 16% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 11% |
| Seguros | gl | 1 | 3.910.000 | 8.319 | 3.910.000 | 8.319 | 9% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 8.000.000 | 17.021 | 8.000.000 | 17.021 | 17% |
| Total | | | | | 45.984.267 | 97.839 | 100% |

Tabla 9.30: Costos operativos escenario 1.1, Conjunto Reina Luisa

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 706 | 20.055 | 42,67 | 14.150.362 | 30.107 | 32% |
| Gas licuado | kg | 387 | 1.000 | 2,13 | 387.352 | 824 | 1% |
| Electricidad | kWh | 80.000 | 60 | 0,13 | 4.800.000 | 10.213 | 11% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 17% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 11% |
| Seguros | gl | 1 | 4.085.000 | 8.691 | 4.085.000 | 8.691 | 9% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 8.000.000 | 17.021 | 8.000.000 | 17.021 | 18% |
| Total | | | | | 43.922.714 | 93.453 | 100% |

Tabla 9.31: Costos operativos escenario 1.2, Conjunto Reina Luisa

9.3.3 Depreciación de activos

Los activos depreciables corresponden a los que se indican en las tablas 9.30 a 9.33, así como la vida útil, el valor de rescate, la depreciación anual y el peso relativo de cada ítem sobre el total. Se considera depreciación lineal.

En el escenario 1, por ejemplo, de todo el activo depreciable, el 50% correspondería a los elementos de distribución al interior de las viviendas, mientras que los equipos de la planta térmica corresponderían a un tercio del total. En ambos casos, se asumió un 10% de valor de rescate comercial con valor libro igual a cero.

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 546.000 | 15 | 54.600 | 32.760 | 50% |
| Edificación planta térmica | 34.000 | 20 | 0 | 1.700 | 3% |
| Red de distribución | 214.358 | 30 | 0 | 7.145 | 11% |
| Distribución interior | 526.750 | 20 | 52.675 | 23.704 | 36% |
| Total | 1.321.108 | | | 65.309 | 100% |

Tabla 9.32: Depreciación de activos, escenario 1, Conjunto Reina Luisa

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 472.000 | 15 | 47.200 | 28.320 | 47% |
| Edificación planta térmica | 34.000 | 20 | 0 | 1.700 | 3% |
| Red de distribución | 214.358 | 30 | 0 | 7.145 | 12% |
| Distribución interior | 526.750 | 20 | 52.675 | 23.704 | 39% |
| Total | 1.247.108 | | | 60.869 | 100% |

Tabla 9.33: Depreciación de activos, escenario 2, Conjunto Reina Luisa

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 357.000 | 15 | 35.700 | 21.420 | 40% |
| Edificación planta térmica | 34.000 | 20 | 0 | 1.700 | 3% |
| Red de distribución | 214.358 | 30 | 0 | 7.145 | 13% |
| Distribución interior | 526.750 | 20 | 52.675 | 23.704 | 44% |
| Total | 1.132.108 | | | 53.969 | 100% |

Tabla 9.34: Depreciación de activos, escenario 1.1, Conjunto Reina Luisa

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 374.500 | 15 | 37.450 | 22.470 | 41% |
| Edificación planta térmica | 34.000 | 20 | 0 | 1.700 | 3% |
| Red de distribución | 214.358 | 30 | 0 | 7.145 | 13% |
| Distribución interior | 526.750 | 20 | 52.675 | 23.704 | 43% |
| Total | 1.149.608 | | | 55.019 | 100% |

Tabla 9.35: Depreciación de activos, escenario 1.2, Conjunto Reina Luisa

9.3.4 Ingresos por venta del servicio

En la tabla 9.18, se indican los ingresos por venta del servicio, considerando una tarifa de venta equivalente a un 20% más que el gasto actual en calefacción y ACS de una familia promedio en Osorno.

| Conjunto Reina Luisa | | Escenario 1 | Escenario 2 |
|----------------------|------------|-------------|-------------|
| Consumo diurno | (kWh/año) | 2.307.139 | 2.045.841 |
| Consumo nocturno | (kWh/año) | | 1.201.526 |
| Tarifa diurna | (\$/kWh) | 80,45 | 67,79 |
| Tarifa nocturna | (\$/kWh) | | 18 |
| Gasto por vivienda | (\$/año) | 757.570 | 655.861 |
| Gasto total conjunto | (\$/año) | 185.604.756 | 160.685.831 |
| | (US\$/año) | 394.904 | 341.885 |

Tabla 9.36: Ingresos por venta de servicio, Conjunto Reina Luisa

9.3.5 Evaluación económica

De acuerdo a las cifras reportadas en este capítulo, los indicadores de evaluación económica serían los siguientes:

| | VAN(10%) (M\$) | TIR | Inversión (M\$) |
|--|-------------------|------|--------------------|
| Escenario 1 | -547.602 | 3,4% | 1.523.408 |
| Escenario 2 | -644.420 | 1,5% | 1.423.508 |
| Escenario 1, respaldo con gas licuado en un 10% de las horas de calefacción | -315.887 | 5,6% | 1.268.258 |
| Escenario 1, 60% de la potencia de la caldera a biomasa, volumen de inercia de 100 litros/vivienda | -324.721 | 5,5% | 1.291.883 |

Tabla 9.37: Indicadores de evaluación económica, Conjunto Reina Luisa

El escenario más favorable es el escenario 1.1, aunque en cualquiera de ellos, la rentabilidad económica resulta negativa. Para que el proyecto fuera rentable desde un

punto de vista económico, el subsidio por parte del Estado debiera cubrir el VAN negativo reportado en la tabla 9.19; es decir, el Estado debiera invertir del orden de los 316 millones de pesos para rentabilizar este proyecto.

9.4 Condominio Bellavista

9.4.1 Inversión inicial

9.4.1.1 Planta térmica

A continuación, se entrega un detalle del costo estimado de una planta térmica, según se requiere en cada escenario.

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 30 kW biomasa | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 1% |
| Caldera peak 600 kW biomasa | gl | 1 | 160.000.000 | 340.426 | 160.000.000 | 340.426 | 46% |
| Caldera respaldo 600 kW gas licuado | gl | 1 | 50.000.000 | 106.383 | 50.000.000 | 106.383 | 14% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 30.000.000 | 63.830 | 30.000.000 | 63.830 | 9% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 1% |
| Terreno | m ² | 150 | 40.000 | 85 | 6.000.000 | 12.766 | 2% |
| Edificación | m ² | 50 | 200.000 | 426 | 10.000.000 | 21.277 | 3% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 86.450.000 | 183.936 | 86.450.000 | 183.936 | 25% |
| Total | | | | | 349.450.000 | 743.511 | 100% |

Tabla 9.38: Inversión inicial planta térmica Condominio Bellavista, escenario 1

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 30 kW biomasa | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 2% |
| Caldera peak 400 kW biomasa | gl | 1 | 120.000.000 | 255.319 | 120.000.000 | 255.319 | 45% |
| Caldera respaldo 400 kW gas licuado | gl | 1 | 35.000.000 | 74.468 | 35.000.000 | 74.468 | 13% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 25.000.000 | 53.191 | 25.000.000 | 53.191 | 9% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 1% |
| Terreno | m ² | 150 | 40.000 | 85 | 6.000.000 | 12.766 | 2% |
| Edificación | m ² | 50 | 200.000 | 426 | 10.000.000 | 21.277 | 4% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 65.450.000 | 139.255 | 65.450.000 | 139.255 | 24% |
| Total | | | | | 268.450.000 | 571.170 | 100% |

Tabla 9.39: Inversión inicial planta térmica Condominio Bellavista, escenario 2

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 30 kW biomasa | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 2% |
| Caldera peak 300 kW biomasa | gl | 1 | 90.000.000 | 191.489 | 90.000.000 | 191.489 | 43% |
| Caldera respaldo 300 kW gas licuado | gl | 1 | 25.000.000 | 53.191 | 25.000.000 | 53.191 | 12% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 20.000.000 | 42.553 | 20.000.000 | 42.553 | 10% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 1% |
| Terreno | m ² | 150 | 40.000 | 85 | 6.000.000 | 12.766 | 3% |
| Edificación | m ² | 50 | 200.000 | 426 | 10.000.000 | 21.277 | 5% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 49.700.000 | 105.745 | 49.700.000 | 105.745 | 24% |
| Total | | | | | 207.700.000 | 441.915 | 100% |

Tabla 9.40: Inversión inicial planta térmica Condominio Bellavista, escenario 1.1

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------------|----------------|----------|----------------|----------------|--------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Caldera base 30 kW biomasa | gl | 1 | 5.000.000 | 10.638 | 5.000.000 | 10.638 | 2% |
| Caldera peak 300 kW biomasa | gl | 1 | 90.000.000 | 191.489 | 90.000.000 | 191.489 | 42% |
| Caldera respaldo 300 kW gas licuado | gl | 1 | 25.000.000 | 53.191 | 25.000.000 | 53.191 | 12% |
| Estanque inercia 5.000 litros | gl | 1 | 4.000.000 | 8.511 | 4.000.000 | 8.511 | 2% |
| Precipitador electrostático | gl | 1 | 20.000.000 | 42.553 | 20.000.000 | 42.553 | 9% |
| Chimenea evacuación de gases | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 1% |
| Terreno | m ² | 150 | 40.000 | 85 | 6.000.000 | 12.766 | 3% |
| Edificación | m ² | 50 | 200.000 | 426 | 10.000.000 | 21.277 | 5% |
| Obra civil, fletes, seguros y montaje | gl | 1 | 51.100.000 | 108.723 | 51.100.000 | 108.723 | 24% |
| Total | | | | | 213.100.000 | 453.404 | 100% |

Tabla 9.41: Inversión inicial planta térmica Condominio Bellavista, escenario 1.2

9.4.1.2 Red de distribución

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|-------------------|----------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Tubería fierro Sch 40 20 mm | m | 372 | 1.083 | 2,30 | 402.876 | 857 | |
| Tubería fierro Sch 40 25 mm | m | 175 | 1.574 | 3,35 | 275.450 | 586 | |
| Tubería fierro Sch 40 32 mm | m | 212 | 1.574 | 3,35 | 333.688 | 710 | |
| Tubería fierro Sch 40 40 mm | m | 123 | 1.574 | 3,35 | 193.602 | 412 | |
| Tubería fierro Sch 40 50 mm | m | 223 | 3.093 | 6,58 | 689.739 | 1.468 | |
| Total tuberías | m | 1.105 | 1.715 | 3,65 | 1.895.355 | 4.033 | 3% |
| Aislación tuberías | m ³ | 2,0 | 1.160.000 | 2.468 | 2.320.000 | 4.936 | 4% |
| Excavaciones y retapes | m | 1.105 | 7.000 | 14,89 | 7.735.000 | 16.457 | 13% |
| Fitting y soldaduras | m | 1.105 | 20.000 | 42,55 | 22.100.000 | 47.021 | 37% |
| Bombas | gl | 1 | 6.000.000 | 12.766 | 6.000.000 | 12.766 | 10% |
| Válvulas | gl | 1 | 1.000.000 | 2.128 | 1.000.000 | 2.128 | 2% |
| Accesorios de montaje y control | gl | 1 | 1.000.000 | 2.128 | 1.000.000 | 2.128 | 2% |
| Gastos generales | gl | 1 | 1.000.000 | 2.128 | 1.000.000 | 2.128 | 2% |
| Mano de obra montaje tuberías | m | 1.105 | 15.000 | 31,91 | 16.575.000 | 35.266 | 28% |
| Total | | | | | 59.625.355 | 126.862 | 100% |

Tabla 9.42: Inversión inicial red de distribución de calor, Condominio Bellavista

9.4.1.3 Distribución en viviendas

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|---------------------------------|--------|----------|----------------|----------------|------------------|--------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Red de tuberías e instalación | gl | 1 | 500.000 | 1.064 | 500.000 | 1.064 | 23% |
| Intercambiador de calor | gl | 1 | 150.000 | 319 | 150.000 | 319 | 7% |
| Radiadores y accesorios | gl | 1 | 600.000 | 1.277 | 600.000 | 1.277 | 28% |
| Termos de almacenamiento ACS | gl | 1 | 400.000 | 851 | 400.000 | 851 | 19% |
| Sistema de control y accesorios | gl | 1 | 250.000 | 532 | 250.000 | 532 | 12% |
| Mano de obra montaje | gl | 1 | 250.000 | 532 | 250.000 | 532 | 12% |
| Total | | | | | 2.150.000 | 4.574 | 100% |

Tabla 9.43: Inversión inicial en distribución al interior de las viviendas, por vivienda, Condominio Bellavista

9.4.2 Costos operativos

A continuación, se indican los costos operativos para cada escenario estudiado. En todos los casos, se considera un sistema de operación remoto, lo que libera el costo adicional en horas hombre.

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 169 | 20.055 | 42,67 | 3.395.772 | 7.225 | 19% |
| Gas licuado | kg | 0 | 1.000 | 2,13 | 0 | 0 | 0% |
| Electricidad | kWh | 10.000 | 60 | 0,13 | 600.000 | 1.277 | 3% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 42% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 11% |
| Seguros | gl | 1 | 2.570.000 | 5.468 | 2.570.000 | 5.468 | 14% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 11% |
| Total | | | | | 18.065.772 | 38.438 | 100% |

Tabla 9.44: Costos operativos escenario 1, Condominio Bellavista

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 255 | 20.055 | 43 | 5.108.940 | 10.870 | 27% |
| Gas licuado | kg | 0 | 1.000 | 2 | 0 | 0 | 0% |
| Electricidad | kWh | 10.000 | 60 | 0,13 | 600.000 | 1.277 | 3% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 39% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 10% |
| Seguros | gl | 1 | 1.970.000 | 4.191 | 1.970.000 | 4.191 | 10% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 10% |
| Total | | | | | 19.178.940 | 40.806 | 100% |

Tabla 9.45: Costos operativos escenario 2, Condominio Bellavista

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 166 | 20.055 | 42,67 | 3.324.725 | 7.074 | 19% |
| Gas licuado | kg | 451 | 1.000 | 2,13 | 450.875 | 959 | 3% |
| Electricidad | kWh | 10.000 | 60 | 0,13 | 600.000 | 1.277 | 3% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 43% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255,32 | 2.000.000 | 4.255 | 11% |
| Seguros | gl | 1 | 1.520.000 | 3.234,04 | 1.520.000 | 3.234 | 9% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255,32 | 2.000.000 | 4.255 | 11% |
| Total | | | | | 17.395.600 | 37.012 | 100% |

Tabla 9.46: Costos operativos escenario 1.1, Condominio Bellavista

| Ítem | Unidad | Cantidad | Costo unitario | Costo unitario | Costo total | Costo total | Peso |
|-----------------------------------|----------|----------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-------------|
| | | | (\$) | (USD) | (\$) | (USD) | |
| Biomasa | ton b.s. | 169 | 20.055 | 42,67 | 3.385.737 | 7.204 | 20% |
| Gas licuado | kg | 64 | 1.000 | 2,13 | 63.679 | 135 | 0% |
| Electricidad | kWh | 10.000 | 60 | 0,13 | 600.000 | 1.277 | 4% |
| Horas hombre operación | HH | 2.500 | 3.000 | 6,38 | 7.500.000 | 15.957 | 44% |
| Gastos de mantención | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 12% |
| Seguros | gl | 1 | 1.560.000 | 3.319 | 1.560.000 | 3.319 | 9% |
| Gastos de administración y ventas | gl | 1 | 2.000.000 | 4.255 | 2.000.000 | 4.255 | 12% |
| Total | | | | | 17.109.416 | 36.403 | 100% |

Tabla 9.47: Costos operativos escenario 1.2, Condominio Bellavista

9.4.3 Depreciación de activos

Los activos depreciables corresponden a los que se indican en las tablas 9.30 a 9.33, así como la vida útil, el valor de rescate, la depreciación anual y el peso relativo de cada ítem sobre el total. Se considera depreciación lineal.

En el escenario 1, por ejemplo, de todo el activo depreciable, el 50% correspondería a los elementos de distribución al interior de las viviendas, mientras que los equipos de la planta térmica corresponderían a un tercio del total. En ambos casos, se asumió un 10% de valor de rescate comercial con valor libro igual a cero.

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 247.000 | 15 | 24.700 | 14.820 | 55% |
| Edificación planta térmica | 10.000 | 20 | 0 | 500 | 2% |
| Red de distribución | 214.358 | 30 | 0 | 7.145 | 27% |
| Distribución interior | 98.900 | 20 | 9.890 | 4.451 | 17% |
| Total | 570.258 | | | 26.916 | 100% |

Tabla 9.48: Depreciación de activos, escenario 1, Condominio Bellavista

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 187.000 | 15 | 18.700 | 11.220 | 48% |
| Edificación planta térmica | 10.000 | 20 | 0 | 500 | 2% |
| Red de distribución | 214.358 | 30 | 0 | 7.145 | 31% |
| Distribución interior | 98.900 | 20 | 9.890 | 4.451 | 19% |
| Total | 510.258 | | | 23.316 | 100% |

Tabla 9.49: Depreciación de activos, escenario 2, Condominio Bellavista

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 142.000 | 15 | 14.200 | 8.520 | 41% |
| Edificación planta térmica | 10.000 | 20 | 0 | 500 | 2% |
| Red de distribución | 214.358 | 30 | 0 | 7.145 | 35% |
| Distribución interior | 98.900 | 20 | 9.890 | 4.451 | 22% |
| Total | 465.258 | | | 20.616 | 100% |

Tabla 9.50: Depreciación de activos, escenario 1.1, Condominio Bellavista

| | Inversión (M\$) | Vida útil (años) | Rescate (M\$) | Depreciación (M\$/año) | Peso |
|----------------------------|--------------------|---------------------|------------------|---------------------------|-------------|
| Equipos planta térmica | 146.000 | 15 | 14.600 | 8.760 | 42% |
| Edificación planta térmica | 10.000 | 20 | 0 | 500 | 2% |
| Red de distribución | 214.358 | 30 | 0 | 7.145 | 34% |
| Distribución interior | 98.900 | 20 | 9.890 | 4.451 | 21% |
| Total | 469.258 | | | 20.856 | 100% |

Tabla 9.51: Depreciación de activos, escenario 1.2, Condominio Bellavista

9.4.4 Ingresos por venta del servicio

En la tabla 9.18, se indican los ingresos por venta del servicio, considerando una tarifa de venta equivalente a un 20% más que el gasto actual en calefacción y ACS de una familia promedio en Osorno.

| Condominio Bellavista | | Escenario 1 | Escenario 2 |
|-----------------------|------------|-------------|-------------|
| Consumo diurno | (kWh/año) | 551.284 | 580.585 |
| Consumo nocturno | (kWh/año) | | 248.822 |
| Tarifa diurna | (\$/kWh) | 56,70 | 43,49 |
| Tarifa nocturna | (\$/kWh) | | 10,03 |
| Gasto por vivienda | (\$/año) | 679.517 | 603.145 |
| Gasto total conjunto | (\$/año) | 31.257.786 | 27.744.649 |
| | (US\$/año) | 66.506 | 59.031 |

Tabla 9.52: Ingresos por venta de servicio, Condominio Bellavista

9.4.5 Evaluación económica

De acuerdo a las cifras reportadas en este capítulo, los indicadores de evaluación económica serían los siguientes:

| | VAN(10%) (M\$) | TIR | Inversión (M\$) |
|--|-------------------|-------|--------------------|
| Escenario 1 | -449.355 | | 507.975 |
| Escenario 2 | -404.980 | | 426.975 |
| Escenario 1, respaldo con gas licuado en un 10% de las horas de calefacción | -305.022 | -6,0% | 366.225 |
| Escenario 1, 60% de la potencia de la caldera a biomasa, volumen de inercia de 100 litros/vivienda | -308.149 | -6,0% | 371.625 |

Tabla 9.53: Indicadores de evaluación económica, Condominio Bellavista

El escenario más favorable es el escenario 1.1, aunque en cualquiera de ellos, la rentabilidad económica resulta negativa. Para que el proyecto fuera rentable desde un punto de vista económico, el subsidio por parte del Estado debiera cubrir el VAN negativo reportado en la tabla 9.19; es decir, el Estado debiera invertir del orden de los 316 millones de pesos para rentabilizar este proyecto.

9.5 Proyecto Mixto

9.5.1 Costos de generación de energía térmica

La inversión inicial incluye dos calderas a biomasa, la compra de un terreno anexo a la planta, la construcción de la estación de generación, las instalaciones eléctricas, el sistema de abatimiento, y los costos de planificación del proyecto. En total, la inversión de la planta térmica es de 1.545.959.358 pesos chilenos, lo cual equivale aproximadamente 4 millones de dólares. El costo principal de inversión corresponde a la caldera que provee aceite a 320 °C al módulo ORC, con capacidad de 5.8 MW de potencia de calor útil y cuyo

costo es \$1.771.497.000¹⁷. El costo de capital correspondiente a la inversión de la caldera de aceite será asignado al costo de generación de energía térmica y electricidad. Para realizar la asignación del costo de capital, se obtuvo la diferencia entre el costo de la caldera a biomasa de 5 MW de aceite y lo que hubiera costado una caldera a biomasa de 6 MW de agua caliente (\$905.943.560). La diferencia fue asignada al costo de generación de electricidad.

Se contempla la adquisición de una segunda caldera de agua caliente de 1 MW para completar los requerimientos energéticos del proyecto.

| Unidad | Valor | Unidad |
|---|----------------------|----------------|
| Caldera de aceite - 5.8MW (% Asignado a planta térmica) | 905.943.560 | CLP |
| Caldera de agua caliente (2.5MW) | 153.583.517 | CLP |
| Sistema de abatimiento de MP: Filtro de manga | 133.846.440 | CLP |
| Contenedor de cenizas | incluido | CLP |
| Recuperación del calor | incluido | CLP |
| Transportador del combustible | incluido | CLP |
| Estación de Generación, Terreno | 212.044.100 | CLP |
| Instalaciones eléctricas | - | CLP |
| Instalaciones hidráulicas | incluido | CLP |
| Infraestructura de acero | incluido | CLP |
| Estudios de ingeniería | 140.541.762 | CLP |
| Costos de inversión Planta térmica | 1.545.959.378 | CLP |
| Costos de inversión CHP por kWh | 322.075 | CLP/kWh |
| Financiamiento (%) | 0,00% | % |
| Financiamiento (Pesos chilenos) | - | CLP |
| Costo de inversión con financiamiento | 1.545.959.378 | CLP |
| Costos de inversión CHP por kWh (con financiamiento) | 322.075 | CLP/kWh |

Tabla 9.54: Inversión inicial de la planta térmica

Los costos anuales de generación y el costo por unidad de energía producida (kWh) son presentados en la tabla 9.2. La tasa de descuento para calcular el costo de capital anual fue del 10%. El precio de la biomasa es 5,39 CLP/kWh, lo cual es levemente superior al precio al que Madexpo S.A. comercializa astillas de biomasa residual de sus procesos. Los costos de la hora-hombre se establecieron en \$3.000. El costo por unidad de energía generada es \$12.26/kWh.

¹⁷ Según cotización de Grupo Nova Energía

| Parámetro | Valor | Unidad |
|--|--------------------|----------------------|
| Costo de capital | | |
| Tasa de interés | 10% | %/año |
| Costo de capital de planta térmica | 203.253.118 | CLP/año |
| Costo de capital por kWh | 4,38 | CLP/kWh e |
| Costos de consumo | | |
| Precio del combustible | 5,39 | CLP/kWh |
| Costo de disposición de cenizas | Incluido | CLP/año |
| Costos del combustible | 284.326.949 | CLP/año |
| Precio de la electricidad | 60,00 | CLP/kWh |
| Costos de electricidad | 36.192.000 | CLP/año |
| Costos de consumo | 320.518.949 | CLP/año |
| Costos de consumo por kWh | 6,91 | CLP/kWh e |
| Costos operacionales | | |
| Costo RRHH | 3.000 | CLP/hora |
| Total de horas de RRHH | 8.000 | hora/año |
| Administración CHP | 7.900.221 | CLP/año |
| Costos totales de RRHH | 31.900.221 | CLP/año |
| Costos de mantenimiento | 2.323.509 | CLP/año |
| Costos operacionales | 34.223.729 | CLP/año |
| Costos operacionales por kWh | 0,74 | CLP/kWh e |
| Otros costos | | |
| Proporción de otros costos | 0,70% | (% de inversión)/año |
| Otros costos | 10.821.716 | CLP/año |
| Otros costos por kWh | 0,25 | CLP/kWh th |
| Costos totales de generación de calor | 568.817.512 | CLP/año |
| Costos de generación de calor por kWh | 12,26 | CLP/kWh th |
| Costos de generación de calor por kWh (incluido financiamie | 12,26 | CLP/kWh th |

Tabla 9.55: Costos anuales de generación de energía térmica

En la siguiente figura se muestra la composición del costo de generación de calor. Los costos de consumo y el costo de capital representan el 65% y 28% del costo de la energía térmica producida respectivamente. Es importante destacar el alto peso relativo (92%) del costo del combustible dentro de la categoría de costos de consumo. Los costos operacionales representa el 6% del costo total y la categoría “otros costos” comprenden el 2% del costos de generación.

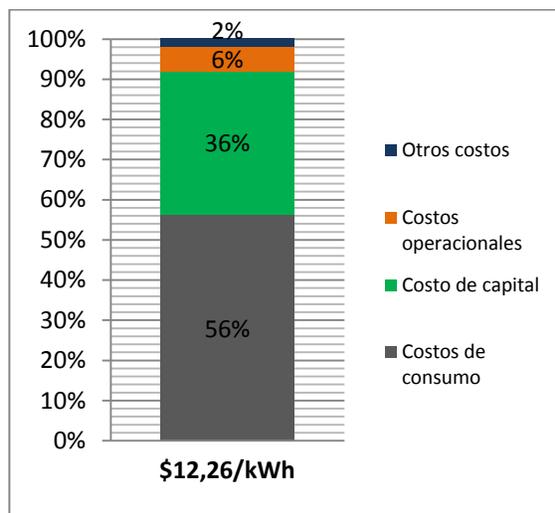


Figura 9.1: Composición del costo de generación de energía térmica

El costo de la generación y distribución de la energía para los clientes residenciales incluye un costo adicional correspondiente al costo de capital de la inversión de la red de distribución y equipamiento de las viviendas, el cual ronda los \$30/kWh. De esta forma, el costo de la energía térmica consumida por las viviendas del Conjunto Reina Luisa costaría \$ 42,28/kWh.

| Ítem | Valor | Unidad |
|--|----------------------|----------------|
| Red de distribución | 214.358.003,00 | CLP |
| Distribución en viviendas | 526.750.000,00 | CLP |
| Total | 741.108.003,00 | CLP |
| Costo de capital de red de distribución | 97.436.268,24 | CLP/año |
| Costo de capital por kWh | 30,00 | CLP/kWh |

Tabla 9.56: Costo de capital de red de distribución de Conjunto Reina Luisa

En el siguiente gráfico se puede observar el efecto al incorporar el costo de capital adicional. Los costos de capital aumentan de un 36% a un 81%.

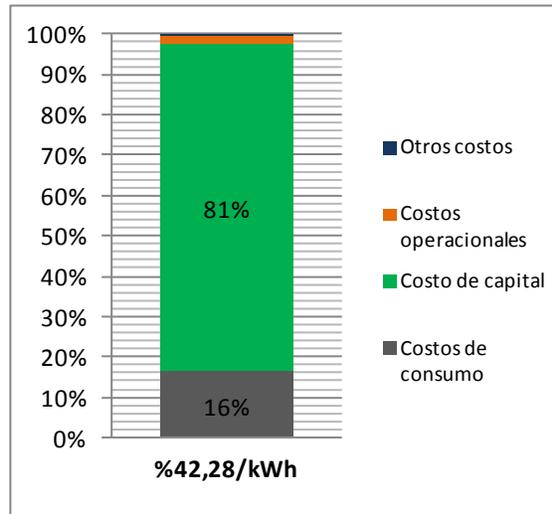


Figura 9.2: Composición del costo de generación y distribución de la energía térmica de clientes residenciales

9.5.2 Costos de generación de electricidad

El módulo CHP está compuesto por un Ciclo Orgánico de Rankine (ORC, por sus siglas en inglés), el cual se diferencia del proceso convencional de Rankine por utilizar una sustancia orgánica con propiedades termodinámicas convenientes en lugar de agua.

Los costos de inversión incluyen el módulo CHP, instalaciones eléctricas, instalaciones hidráulicas y costos de planificación. Los costos de inversión suman \$2.001.282.008.

| Unidad | Valor | Unidad |
|---|----------------------|----------------|
| Caldera de aceite - 5.8MW (% Asignado a planta eléctrica) | 865.553.440 | |
| Instalaciones eléctricas | 75.509.211 | CLP |
| Instalaciones hidráulicas | 42.285.158 | CLP |
| Infraestructura de acero | incluido | CLP |
| Módulo CHP | 875.906.850 | CLP |
| Planificación | 99.370.122 | CLP |
| Otras inversiones | 42.657.227 | CLP |
| Costos de inversión CHP | 2.001.282.008 | CLP |
| Costos de inversión CHP por kWh | 2.001.282 | CLP/kWh |
| Financiamiento (%) | 0% | % |
| Financiamiento (Euros) | 2.001.282.008 | CLP |
| Costos de inversión CHP por kWh (con financiamiento) | 2.001.282 | CLP/kWh |

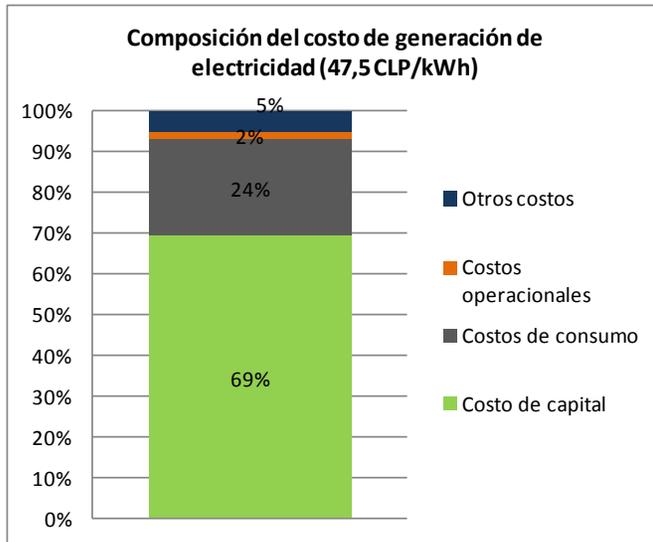
Tabla 9.57: Inversión inicial del módulo CHP

Los costos anuales de generación de electricidad y el costo por unidad de energía producida (kWh) son presentados en la tabla 9.5. Al igual que para el caso de la planta térmica, se utiliza una tasa de descuento para los costos de capital del 10% y un precio de la biomasa en \$5,39/kWh. El costo de la generación de electricidad es \$47,5/kWh.

| Parámetro | Valor (CLP) | |
|--|--------------------|----------------------|
| Costo de capital | | |
| Tasa de interés | 10% | %/año |
| Costo de capital | 263.116.104 | CLP/año |
| Costo de capital por kWh | 32,890 | CLP |
| Costos de consumo | | |
| Precio del combustible | 5,39 | CLP/kWh |
| Costo de disposición de cenizas | Incluido | CLP/año |
| Costos del combustible | 49.021.888 | CLP/año |
| Precio de la electricidad | 60 | CLP/kWh |
| Costos de electricidad | 12.960.000 | CLP/año |
| Costos específicos para la generación de calor adicional de | 3.084 | CLP/MWh |
| Costo de generación de calor adicional CHP | 24.669.736 | CLP/año |
| Share of general consumption costs | 0,20% | (% de inversión)/año |
| Costos generales de consumo | 4.002.564 | CLP/año |
| Subtotal - Costos de consumo | 90.654.188 | CLP/año |
| Subtotal - Costos de consumo por kWh | 11,33 | CLP/kWh |
| Costos operacionales | | |
| Costo RRHH | 3.000 | CLP/HORA |
| Total de horas de RRHH | 800 | hora/año |
| Administración CHP | 3.882.859 | CLP/año |
| Costos totales de RRHH | 6.282.859 | CLP/año |
| Costos de mantenimiento | - | CLP/año |
| Costos operacionales | 6.282.859 | CLP/año |
| Costos operacionales por kWh | 0,785 | CLP |
| Otros costos | | |
| Peso relativo de "otros costos" | 1% | (% de inversión)/año |
| Otros costos | 20.012.820 | CLP/año |
| Otros costos por kWh | 2,502 | CLP/kWh e |
| Costos totales de generación de electricidad | 380.065.971 | CLP/año |
| Costos de generación de electricidad por kWh | 47,508 | CLP/kWh e |
| Costos de generación de electricidad por kWh (con financiamiento) | 47,508 | CLP/kWh e |

Tabla 9.58: Costos anuales de generación de electricidad

En la siguiente figura se muestra la composición del costo de generación de la electricidad. A diferencia del costo de la energía térmica, en donde los costos de consumo dominaban el costo total, en el módulo de cogeneración el costo de capital es el más significativo alcanzando un 66% del costo total. Los costos de consumo representan un 24%, los costos operacionales un 5% y otros costos un 5% del costo total.



| Costo específico | Costo por kWh |
|----------------------|---------------|
| Costo de capital | 32,89 |
| Costos de consumo | 11,33 |
| Costos operacionales | 0,79 |
| Otros costos | 2,50 |
| Total | 47,51 |

Figura 9.3: Composición del costo de generación de energía eléctrica

9.5.3 Costos totales del sistema

En la siguiente tabla se muestran los costos totales para la generación de energía. Si se analiza el peso relativo de cada una de las categorías de costos, los costos de consumo y costos de capital suman el 90% del costo total. Los costos de consumo, determinados en aproximadamente un 92% por los costos de adquisición de la biomasa representan un 60% del costo total.

| Parámetro | Valor | Unidad |
|---|--------------------|----------------|
| Costos totales de inversión | 3.547.241.386 | CLP |
| Costos totales de inversión (incluido financiamiento) | 3.547.241.386 | CLP |
| Costos de capital | 466.369.223 | CLP/año |
| Costos de capital por kWh | 8,5730 | CLP/kWh |
| Costos de consumo | 411.173.137 | CLP/año |
| Costos de consumo por kWh | 7,56 | CLP/kWh |
| Costos operacionales | 40.506.588 | CLP/año |
| Costos operacionales por kWh | 0,74 | CLP/kWh |
| Otros costos | 30.834.536 | CLP/año |
| Otros costos por kWh | 0,5668 | CLP/kWh |
| Costos totales para la generación de energía | 948.883.484 | CLP/año |
| Costos totales para la generación de energía por kWh | 17,44 | CLP/kWh |
| Costos totales para la generación de energía por kWh (con fi | 17,44 | CLP/kWh |

Tabla 9.59: Costos anuales de generación de electricidad

9.5.4 Ingresos

El cálculo de los ingresos se realiza a partir de los requerimientos energéticos determinados anteriormente, y las tarifas (\$/kWh) para cada servicio. En la siguiente tabla se resumen los consumos de electricidad y energía térmica de cada cliente.

| Cliente | Calor | Electricidad |
|----------------------|------------|--------------|
| Madexpo | 29.702.400 | 3.259.440 |
| Madesur | 7.961.195 | 263.690 |
| SIC | - | 4.131.102 |
| Vivienda Reina Luisa | 13.255 | 345.769 |
| Total | 37.676.850 | 8.000.000 |

Tabla 9.60: Consumos energéticos de los clientes

La tarifa se define con base a los costos reales de la generación energética, y está compuesta por dos partes: tarifa base y el costo de la energía. La tarifa base tiene por objetivo recuperar la inversión en un plazo y a una tasa de descuento definida. En esta evaluación se establece un plazo de 15 años y una tasa de descuento del 10%.

| Ítem | Valor | Unidad |
|--|-------|---------|
| Cliente Industrial | | |
| Costos de capital (Planta térmica) | 4,38 | CLP/kWh |
| Cliente Residencial | | |
| Costo de capital (Planta térmica + Distribución distrital) | 34,39 | CLP/kWh |

Tabla 9.61: Tarifa base de la energía térmica

| Ítem | Valor | Unidad |
|---|-------|---------|
| Tarifa base de la electricidad cogenerada | 32,89 | CLP/kWh |

Tabla 9.62: Tarifa base de la electricidad

El costo de la energía es la suma de los costos de consumo, los costos de operación y el retorno fijo garantizado del operador de la planta térmica. A continuación se muestra el cálculo.

| Ítem | Valor | Unidad |
|----------------------------|--------------|----------------|
| Costos de consumo | 10,12 | CLP/kWh |
| Costos de operación | 0,74 | CLP/kWh |
| Retorno Fijo Garantizado | 2 | CLP/kWh |
| Costo de la energía | 12,86 | CLP/kWh |

Tabla 9.63: Costo de la energía térmica

| Ítem | Valor | Unidad |
|----------------------------|--------------|----------------|
| Costos de consumo | 12,02 | CLP/kWh |
| Costos de operación | 3,29 | CLP/kWh |
| Retorno Fijo Garantizado | 3,00 | CLP/kWh |
| Costo de la energía | 18,31 | CLP/kWh |

Tabla 9.64: Costo de la electricidad

| Tarifa final | Valor | Unidad |
|---------------------|-------|---------|
| Cliente Industrial | 17,24 | CLP/kWh |
| Cliente Residencial | 47,25 | CLP/kWh |

Tabla 9.65: Tarifa energía térmica según cliente

| Tarifa final | Valor | Unidad |
|------------------|-------|---------|
| SIC e Industrias | 51,2 | CLP/kWh |
| Viviendas | 104,5 | CLP/kWh |

Tabla 9.66: Tarifa de la electricidad

Con este precio, los clientes residenciales pagarían en promedio \$623.370 por año. El gasto promedio de una familia en calefacción, agua caliente sanitaria (ACS) y cocina es \$579.057¹⁸.

9.5.5 Comparación de escenarios

Hasta el momento la evaluación del proyecto se ha realizado desde el punto de vista de la Empresa de Servicios Energéticos que realizaría la inversión y gestionaría el sistema. Para ello se definieron las tarifas que, además de cubrir con los costos de capital y costos operacionales, generaban un margen de ganancia para la ESE. Sin embargo, la viabilidad del proyecto se debe fundamentar en el beneficio mutuo entre las partes.

En este proyecto mixto, se busca sustituir dos calderas a biomasa que suman una potencia de 5.5 MW con un sistema de calefacción distrital y cogeneración a partir de una planta térmica a biomasa de 5.8 MW. Para comparar el escenario con proyecto y sin proyecto, se procedió a valorizar la energía térmica que actualmente se utiliza en ambos aserraderos. El objetivo es comparar las magnitudes de los costos y su estructura, y así poder determinar cuál tarifa podría ser conveniente para los clientes industriales.

| Parámetro (CLP/kWh) | Proyecto Mixto | Madexpo | Madesur |
|----------------------|----------------|-------------|--------------|
| Costos de capital | 4,38 | 0,98 | 2,84 |
| Costos de consumo | 6,91 | 8,01 | 12,00 |
| Costos operacionales | 0,74 | 0,69 | 1,56 |
| Otros costos | 0,25 | 0,02 | 0,03 |
| Total | 12,27 | 9,70 | 16,43 |

Tabla 9.67: Comparación de costo de energía térmica según escenario de generación

¹⁸ El cálculo se realizó con base en el precio de leña certificada (\$90/kg) y el precio de gas licuado (\$40,4/kWh) para el ACS.

Según los cálculos, el costo de la energía térmica con el proyecto mixto es significativamente superior al costo de la energía actual de Madexpo S.A. y Madesur Ltda. El costo de la energía (kWh_{th}) en Madexpo S.A. es de $\$9,70/\text{kWh}$, mientras que para Madesur Ltda. es de $\$16,43/\text{kWh}$.

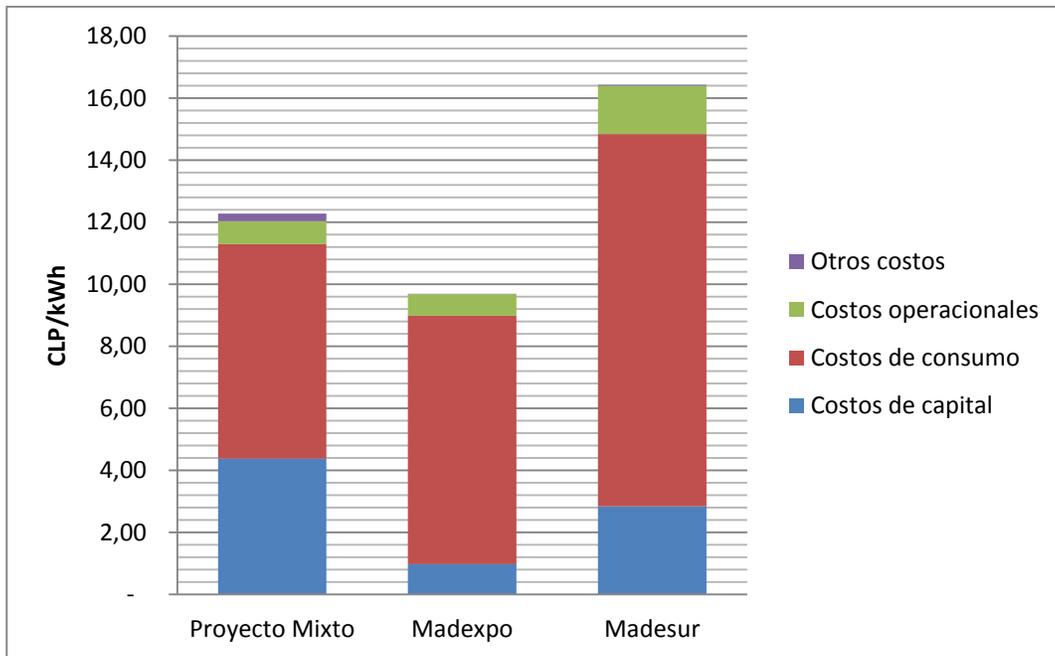


Figura 9.4: Comparación de costo de energía térmica según escenario de generación

9.5.6 Determinación del Valor Actual de los flujos de efectivo

Con base a las variables definidas en las secciones anteriores, se procede a calcular el flujo de caja del proyecto. En la tabla siguiente se muestran los ingresos por ventas y los gastos anuales que proyectados a 15 años. El valor actual de la utilidad proyectada es de $\$33.871.307$.

| | 0 | Flujo por período |
|--|---|---------------------------|
| Ventas | | |
| Calor industrial | | 490.597.384,31 |
| Calor residencial | | 152.725.196,70 |
| Electricidad Industrial | | 170.900.858,12 |
| Electricidad residencial | | 36.157.012,05 |
| Electricidad SIC | | 200.392.489,44 |
| Ingresos | | 1.050.772.940,60 |
| Gastos | | |
| Costo de capital | | - 466.369.222,60 |
| Costo de capital (Red de distribución) | | - 97.436.268,24 |
| Costos de consumo | | - 411.173.137,23 |
| Costos operacionales | | - 40.506.588,05 |
| Otros costos | | - 30.834.535,73 |
| Total | | - 1.046.319.751,84 |
| Utilidades | | 4.453.188,76 |

| | |
|------------|-------------------------|
| VAN | \$ 33.871.307,77 |
|------------|-------------------------|

Tabla 9.68: Valor Actual de los flujos de efectivo proyectados a 15 años

9.5.7 Evaluación económica con subsidios a la inversión

Los costos de capital representan un 46,9% de los costos anuales, y esto se debe al alto costo de la inversión, que supera los 3.547 millones de pesos. Dado el gran peso que representa el costo de capital, se analizará dos escenarios adicionales que incorporan un subsidio a la inversión de parte del estado del 25% y un 50%.

En la siguiente tabla se muestra que al disminuir el aporte de capital privado en un 25%, el VAN aumenta en un 299%. En la misma proporción el VAN aumentaría si se reduce la inversión del capital privado en un 50%, generando un aumento del VAN del 498%.

| Subsidio | Inversión total | VAN | Diferencia |
|----------|-----------------|-------------|------------|
| 0% | 3.547.241.387 | 33.871.308 | |
| 25% | 2.660.431.040 | 101.216.755 | 299% |
| 50% | 1.773.620.694 | 168.562.203 | 498% |

Tabla 9.69: Efecto sobre el VAN al incorporar subsidios a la inversión

Anteriormente, se comparó el costo de la energía térmica en los escenarios con proyecto y sin proyecto. En el siguiente gráfico se muestra el efecto de la reducción del aporte de capital privado gracias a dos ejemplos de subsidios de la inversión. Se puede observar, que con un 25% de subsidio, el costo de la energía térmica del proyecto mixto iguala al costo de la energía actual de Madesur Ltda. Con un subsidio a la inversión del 50%, el costo de la energía térmica es menor al precio actual de Madesur Ltda, sin embargo sigue siendo significativamente mayor al costo estimado de Madexpo S.A.

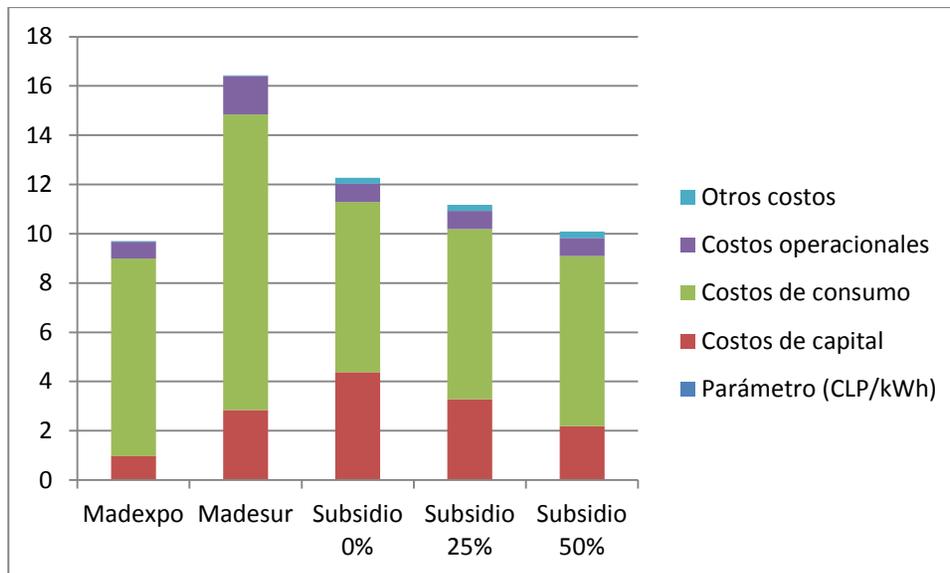


Figura 9.5: Efecto sobre el costo de la energía térmica al incorporar subsidios a la inversión

9.6 Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad permite determinar posibles variaciones en la rentabilidad del proyecto causado por cambios en algunas variables, revelándose el efecto que tienen estas fluctuaciones en los pronósticos de las variables relevantes.

En una primera instancia se realizó un análisis unidimensional, es decir, se hace fluctuar una variable a la vez, mientras las demás permanecen constantes. Las variables que se consideraron en el análisis de sensibilidad fueron la tarifa de la calefacción, el valor de la biomasa, la inversión inicial y la tasa de descuento.

9.6.1 Sensibilidad a la tarifa de calefacción

La variación de la tarifa de calefacción influye en los ingresos del proyecto, provocando una variación en la rentabilidad de éste. Como se cuenta con un VAN negativo, no tiene sentido analizar una disminución en la tarifa, luego se estudió el efecto que produce un aumento en ésta.

Este análisis se realizó para cada proyecto y para todos los escenarios planteados, donde la tarifa se aumento gradualmente, de manera de apreciar a qué valores el VAN deja de ser negativo. Los resultados se muestran en los gráficos presentes en las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** figuras 9.6, 9.7 y 9.8. Figura 9.6: Sensibilidad de la tarifa de la calefacción para el Conjunto Las Palmas

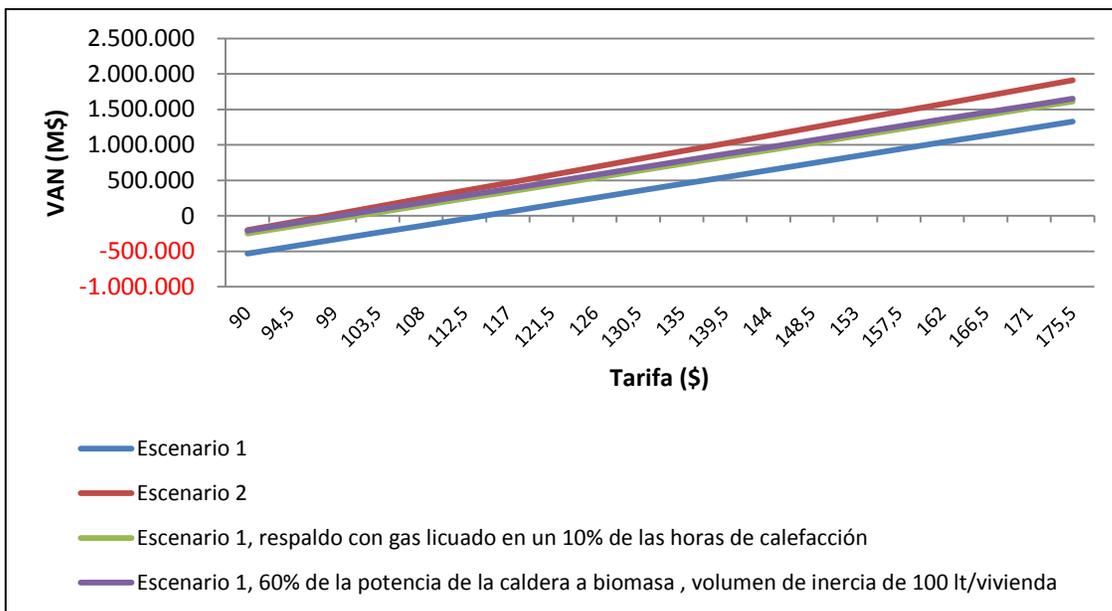


Figura 9.6: Sensibilidad de la tarifa de la calefacción para el Conjunto Las Palmas

Fuente: Elaboración propia

Para el Conjunto Las Palmas, el VAN deja de ser negativo para valores entre \$97 y \$114 por kWh para los distintos escenarios, es decir, el valor de la tarifa debería ser superior al doble a lo que las familias estarían dispuestas a pagar por la calefacción distrital considerando constante su gasto anual en calefacción y ACS, para que el proyecto sea rentable, esto manteniendo todas las demás variables fijas.

La elasticidad del VAN sobre la tarifa de calefacción es entre 3.68 y 10.98 para las distintas alternativas evaluadas para el Conjunto Las Palmas, lo que significa que un aumento de 1% de la tarifa de calefacción produce un aumento entre un 3,68 % y 10,98% el VAN.

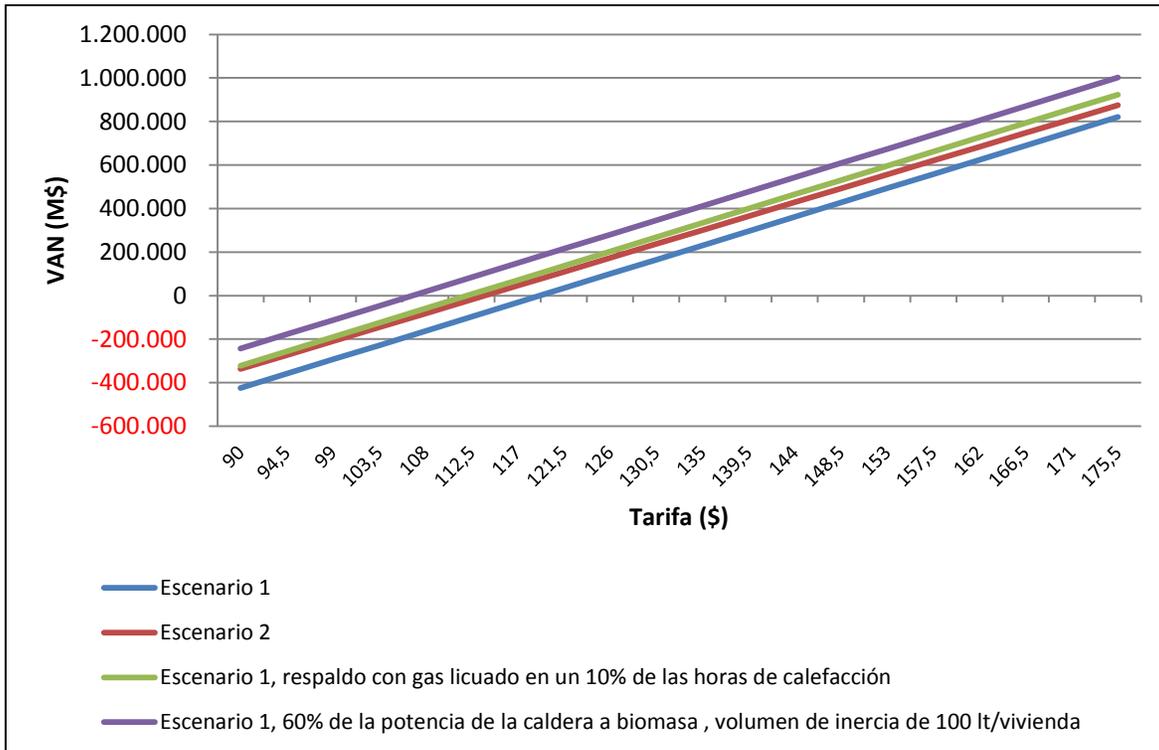


Figura 9.7: Sensibilidad de la tarifa para el Conjunto Reina Luisa

Fuente: Elaboración propia

Para el Conjunto Reina Luisa, se puede apreciar que para valores entre \$104 y \$118 por KWh, el VAN deja de ser negativo para los distintos escenarios, lo cual es un precio mayor aproximadamente en un 50% a lo que las familias estarían dispuestas a pagar por la calefacción distrital considerando constante su gasto anual en calefacción y ACS, para que el proyecto sea rentable, esto manteniendo todas las demás variables fijas.

La elasticidad del VAN sobre esta variable es de entre 3.09 y 5,38 para las distintas alternativas evaluadas del Conjunto.

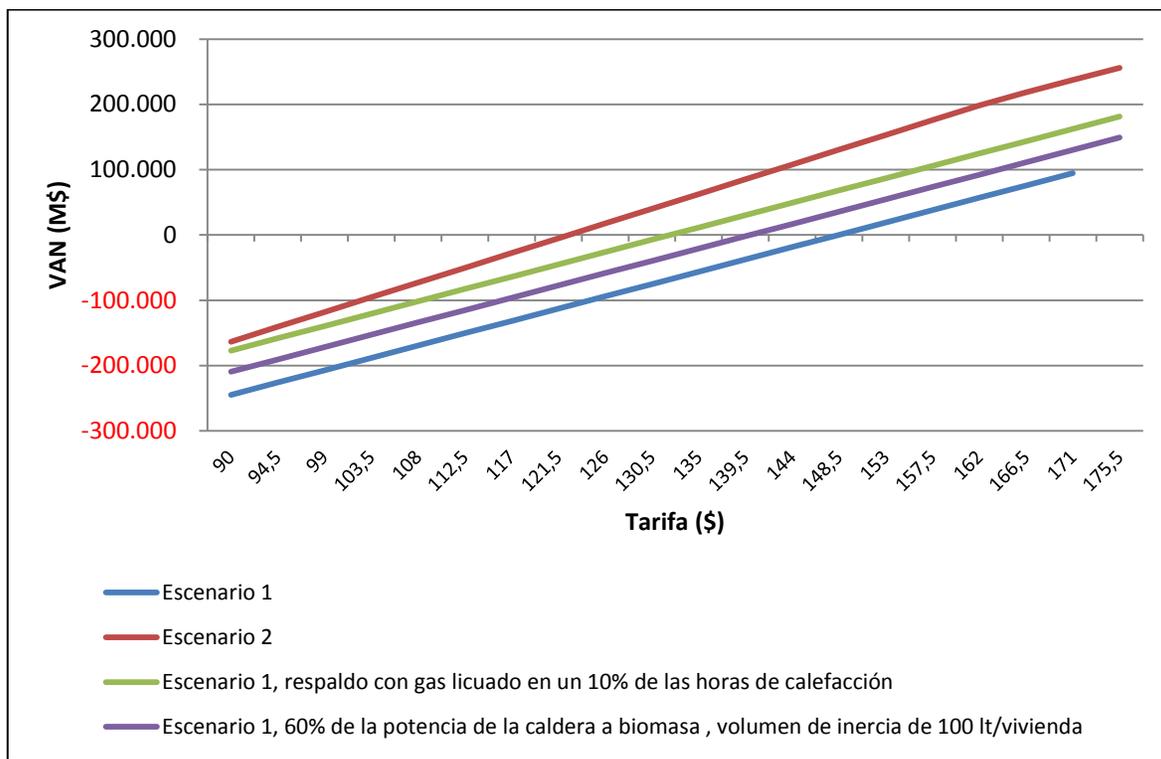


Figura 9.8: Sensibilidad de la tarifa para el Condominio Bellavista.

Fuente: Elaboración propia

el Condominio Bellavista, el VAN deja de ser negativo para valores entre \$123 y \$148 por KWh para los distintos escenarios, lo cual es un precio triplica a lo que las familias estarían dispuestas a pagar por la calefacción distrital considerando constante su gasto anual en calefacción y ACS, para que el proyecto sea rentable, esto manteniendo todas las demás variables fijas.

La elasticidad del VAN sobre la tarifa fluctúa entre 1,54 y 2,76, es decir, que un aumento de un 1% en la tarifa de calefacción aumenta el VAN entre un 1,54% y un 2,76%.

9.6.2 Sensibilidad al costo de la biomasa

Las fluctuaciones en el costo de la biomasa influyen en los egresos del proyecto. Dado a que el VAN es negativo, no se analizó un escenario en el que se incluya un aumento en el costo de la biomasa, si no que se estudió una disminución en los costos de ésta. La disminución en los costos de la biomasa puede ocurrir debido a que existe la posibilidad

de utilizar otros tipos de biomasa, como lo son las podas de árboles, podas agrícolas, entre otros.

El análisis se realizó para cada proyecto y cada una de las alternativas existentes en cada uno, donde el costo se disminuyó gradualmente hasta alcanzar el valor de biomasa mínimo existente. En las figuras 9.9, 9.10 y 9.11 se muestran los resultados obtenidos.

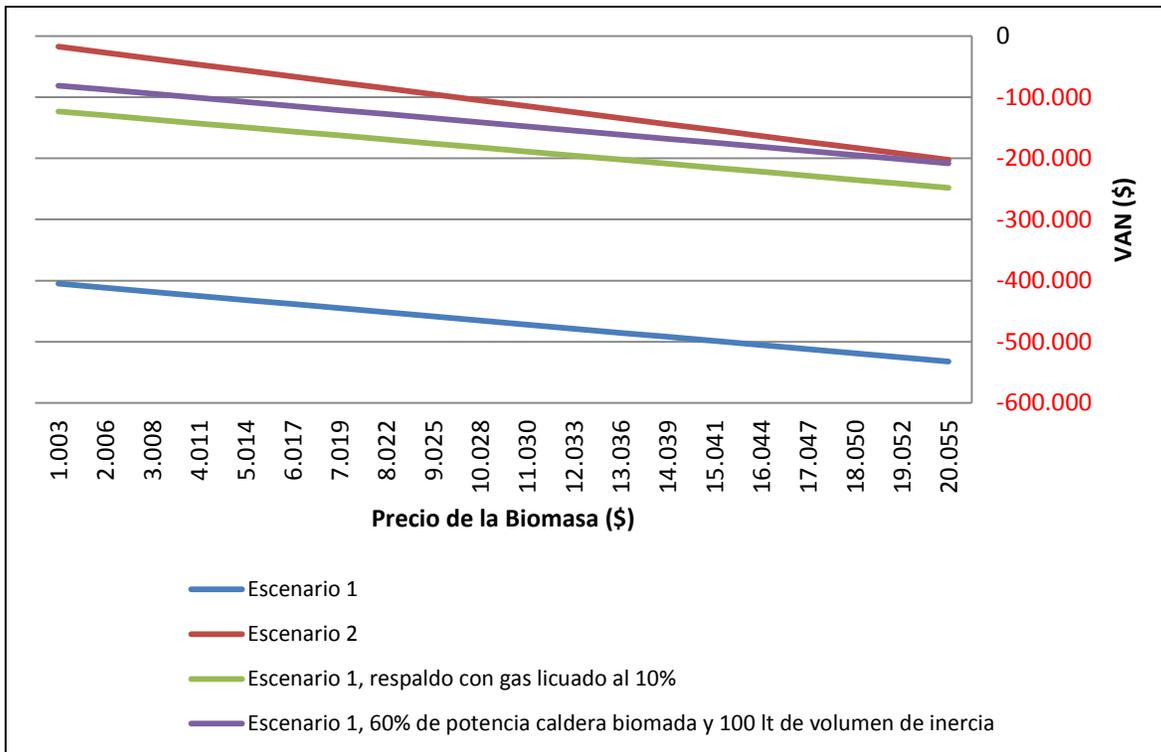


Figura 9.9: Sensibilidad del costo de la biomasa para el Conjunto Las Palmas

Fuente: Elaboración propia

Para el Conjunto Las Palmas, se puede apreciar que aun si se disminuyen los costos de la biomasa al menor valor posible, no es posible lograr un VAN positivo para ninguna de las alternativas propuestas, siendo la elasticidad del VAN respecto a esta variable entre -0,25 y -0,96, lo que significa que si se disminuye en un 1% el costo de la biomasa el VAN aumenta entre un 0,25% y 0,96% según el escenario considerado.

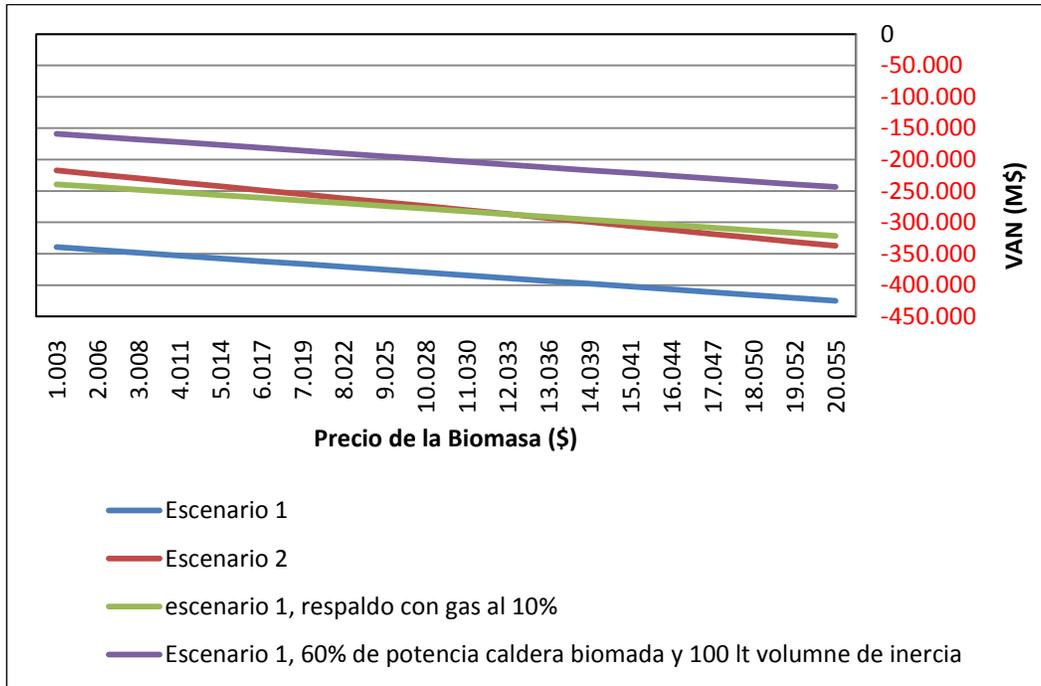


Figura 9.10: Sensibilidad del costo de la biomasa para el Conjunto Reina Luisa
Fuente: Elaboración propia

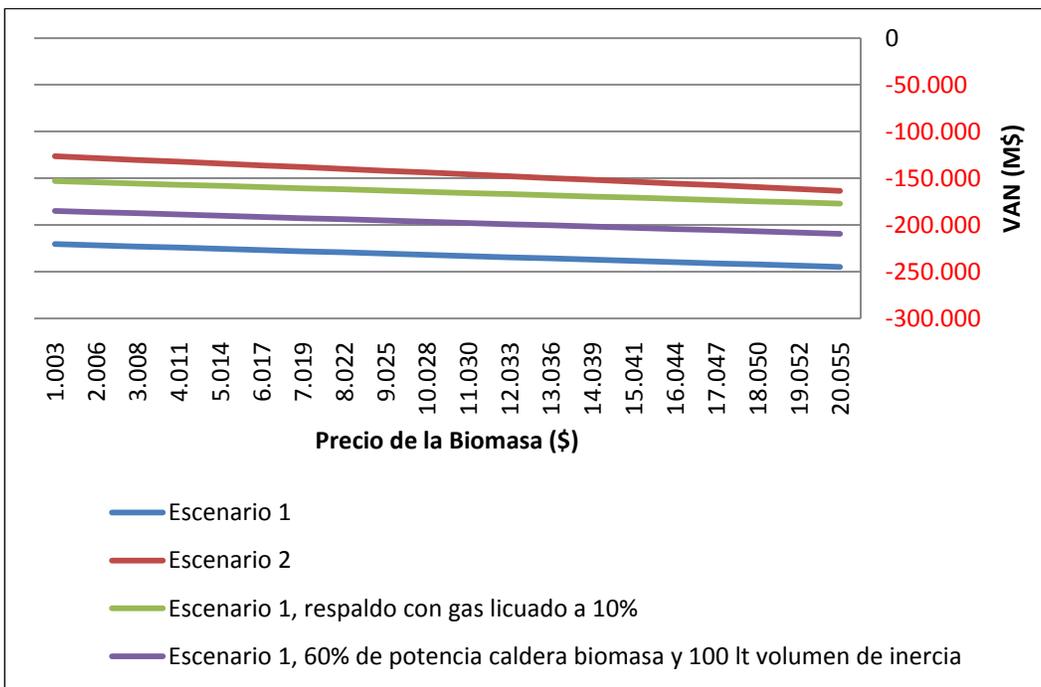


Figura 9.11: Sensibilidad del costo de la biomasa para el Condominio Bellavista

Para el Conjunto Reina Luisa y el Condominio Bellavista, al igual que en caso anterior, se tiene que el VAN no deja de ser negativo incluso cuando el costo de la biomasa es reducida al menor posible. Para el Conjunto Reina Luisa la elasticidad del VAN respecto al costo de la biomasa ronda valores entre -0,21 y -0,37, y en el caso del Condominio Bellavista es de -0,11 y -0,24, dependiendo del escenario utilizado.

El análisis de sensibilidad del costo de la biomasa se realizó dejando todas las demás variables constantes, pero es importante considerar que un cambio en el tipo de biomasa conlleva cambios en la inversión inicial, pues la tecnología utilizada no es adecuada para otros tipos de biomasa.

9.6.3 Sensibilidad a la inversión inicial

La variación en la inversión inicial del proyecto afecta directamente a la rentabilidad de éste. Se analizó una disminución en la inversión inicial, lo que puede ocurrir por la incorporación de subsidios a la inversión inicial, de manera de determinar bajo qué cantidad el VAN del proyecto deja de ser negativo.

La inversión inicial está compuesta por tres partes, la inversión en la planta térmica, la inversión en la red de distribución y la inversión en la distribución dentro de las viviendas. Se considerará como inversión inicial exterior (a la vivienda) la compuesta por la inversión en la planta térmica junto con la red de distribución y como inversión inicial interior la correspondiente a la distribución dentro de las viviendas.

En este análisis se estudiaron dos posibilidades: en la primera se considera que la inversión inicial interior es subsidiada en un 50% y la segunda considera que ésta es subsidiada en un 100%. Para ambas opciones se considera una variación porcentual en la inversión inicial exterior, de manera de determinar, a qué nivel de ésta el VAN deja de ser negativo.

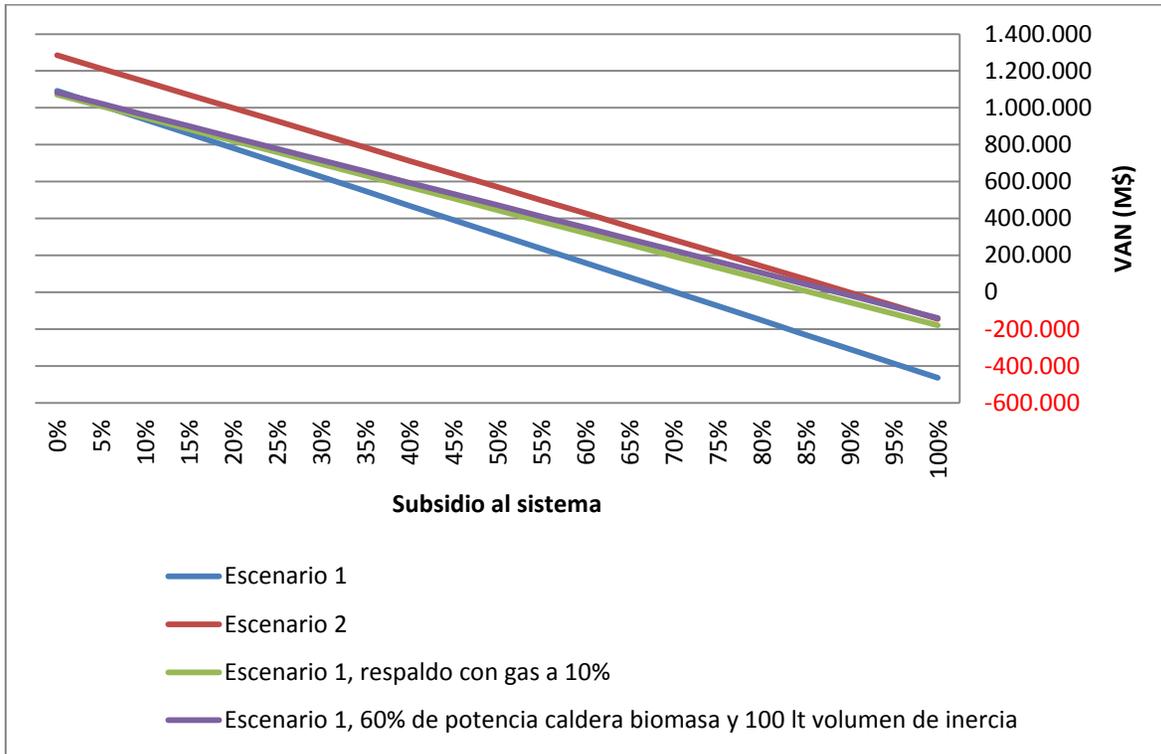


Figura 9.12. Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Conjunto Las Palmas, con un 50% de subsidio a la inversión inicial interior

Fuente: Elaboración propia

Para el Conjunto Las Palmas, cuando se considera que existe un subsidio de un 50% en la inversión inicial interior, se puede apreciar que el VAN deja de ser negativo, para todas las alternativas, cuando la inversión inicial exterior corresponde a aproximadamente un 90% de la inversión considerada, lo cual podría darse con un subsidio equivalente al 10% de la inversión. La elasticidad del VAN respecto a esta variable corresponde a valores entre 3.35 y 8.75 dependiendo de la alternativa usada, es decir, que el VAN aumentara entre 3.35% y 8.75% por cada disminución porcentual en el valor de la inversión inicial exterior.

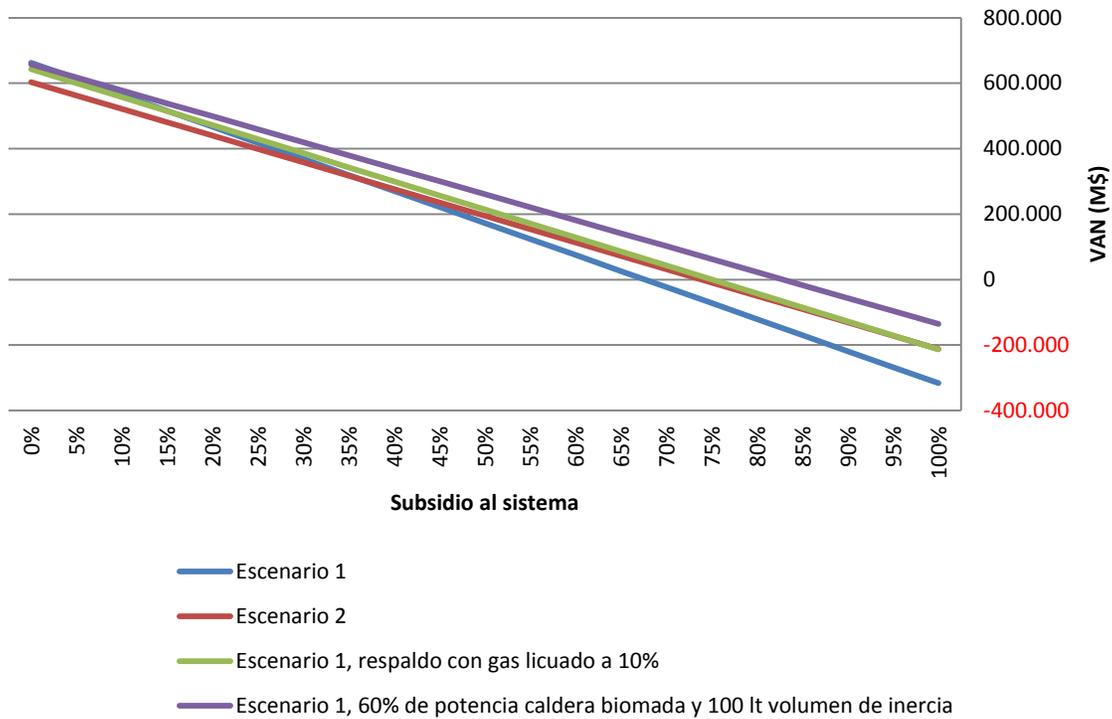


Figura 9.12: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Conjunto Reina Luisa, con un 50% de subsidio a la inversión inicial interior

Fuente: Elaboración propia

Para el Conjunto Reina Luisa, ocurre un panorama similar al caso anterior, produciéndose un VAN positivo para valores de la inversión inicial que corresponden a alrededor de un 75% para las diferentes alternativas.

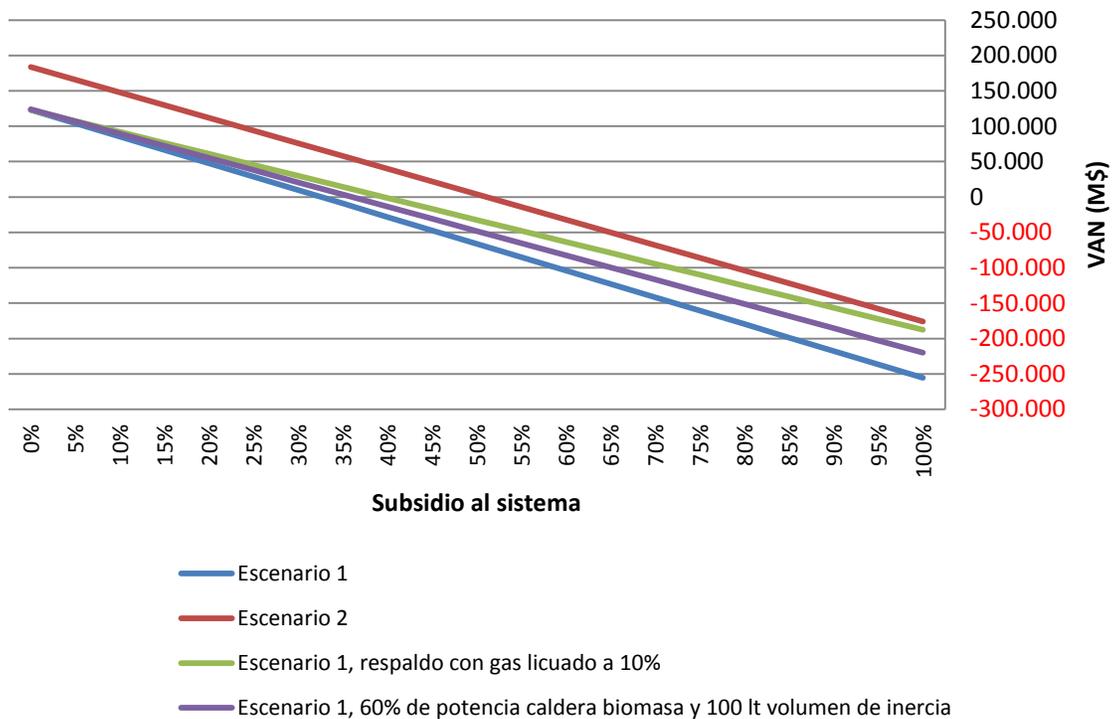


Figura 9.13: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Condominio Bellavista, con un 50% de subsidio a la inversión inicial interior

Fuente: Elaboración propia

Para el Condominio Bellavista, se puede apreciar que para valores que corresponde a un 50% de la inversión inicial exterior considerada, el VAN deja de ser negativo para casi todas las alternativas cuando se considera un subsidio de un 50% en la inversión inicial interior.

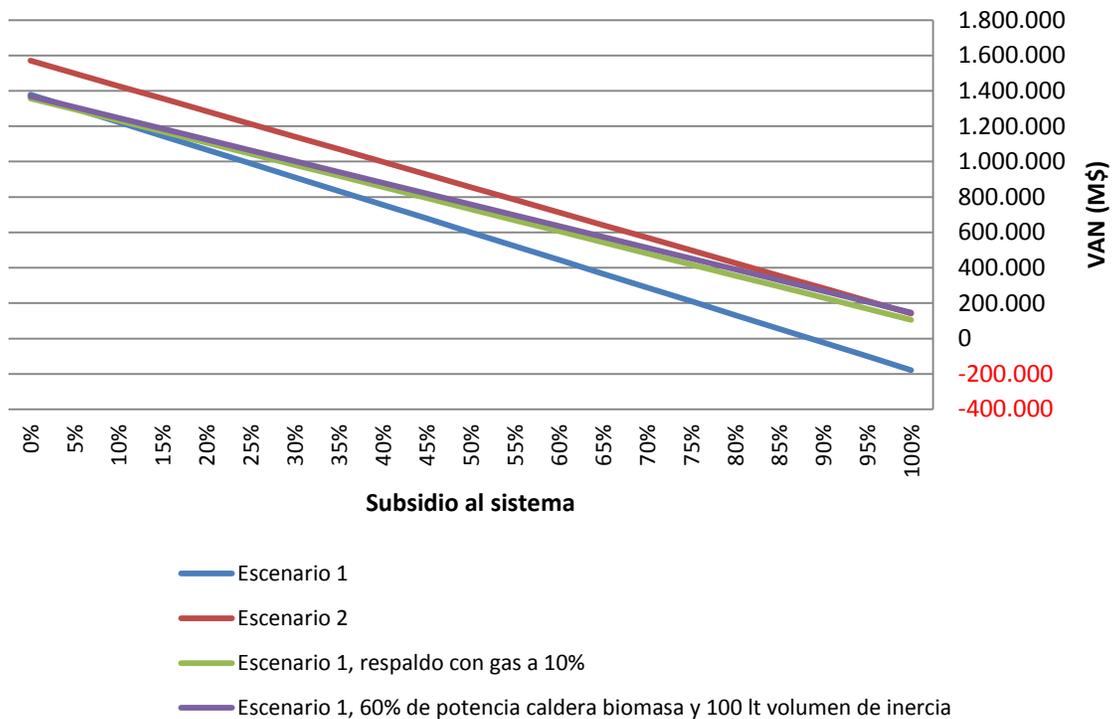


Figura 9.14: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Conjunto Las Palmas, con un 100% de subsidio a la inversión inicial interior

Fuente: Elaboración propia

Cuando se considera que se subsidia totalmente la inversión inicial interior, para Conjunto Las Palmas, el VAN presenta valores positivos en 3 de los 4 escenarios con el 100% de la inversión inicial exterior. El único escenario que requiere una reducción de la inversión inicial externa es el Escenario 1, con aproximadamente un 10% de reducción.

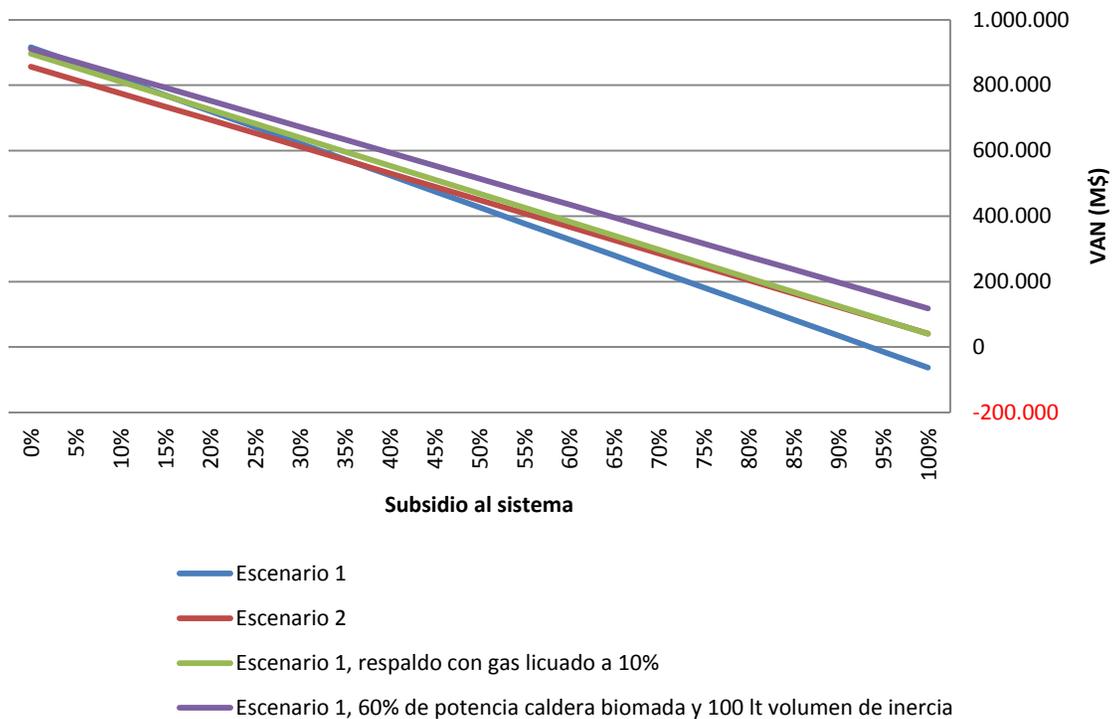


Figura 9.15: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Conjunto Reina Luisa, con un 100% de subsidio a la inversión inicial interior

Fuente: Elaboración propia

Para el Conjunto Reina Luisa, todos la mayor parte de los escenarios (excepto el Escenario 1) presentan un VAN positivo afrontando el 100% de la inversión.

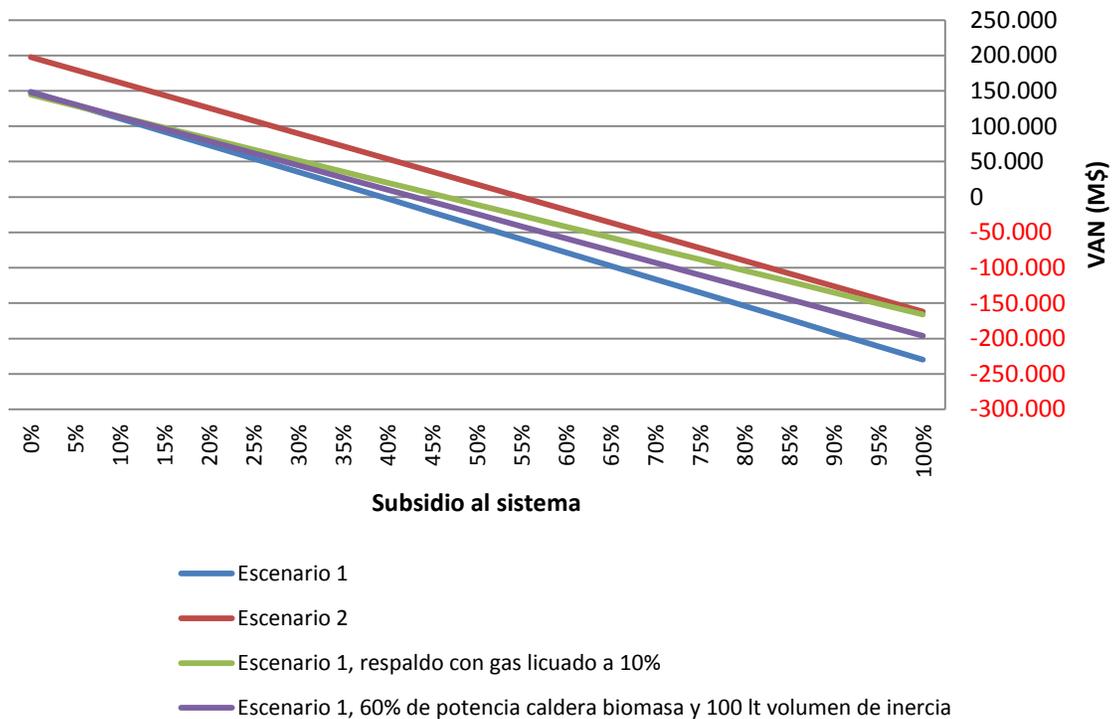


Figura 9.16: Sensibilidad a la Inversión Inicial para el Condominio Bellavista, con un 100% de subsidio a la inversión inicial interior.

Fuente: Elaboración propia

Para el Condominio Bellavista, el VAN deja de ser negativo para valores que corresponden entre un 40% y 55% del valor considerado para la inversión inicial exterior (Planta + red de distribución).

9.6.4 Sensibilidad de la tasa de descuento

La variación en la tasa de descuento influye directamente en el VAN del proyecto. En el análisis realizado la tasa de descuento se disminuye y se aumenta, haciéndola fluctuar entre 1% y 20%. Esto se ha realiza para uno de los proyectos, con cada alternativa posible.

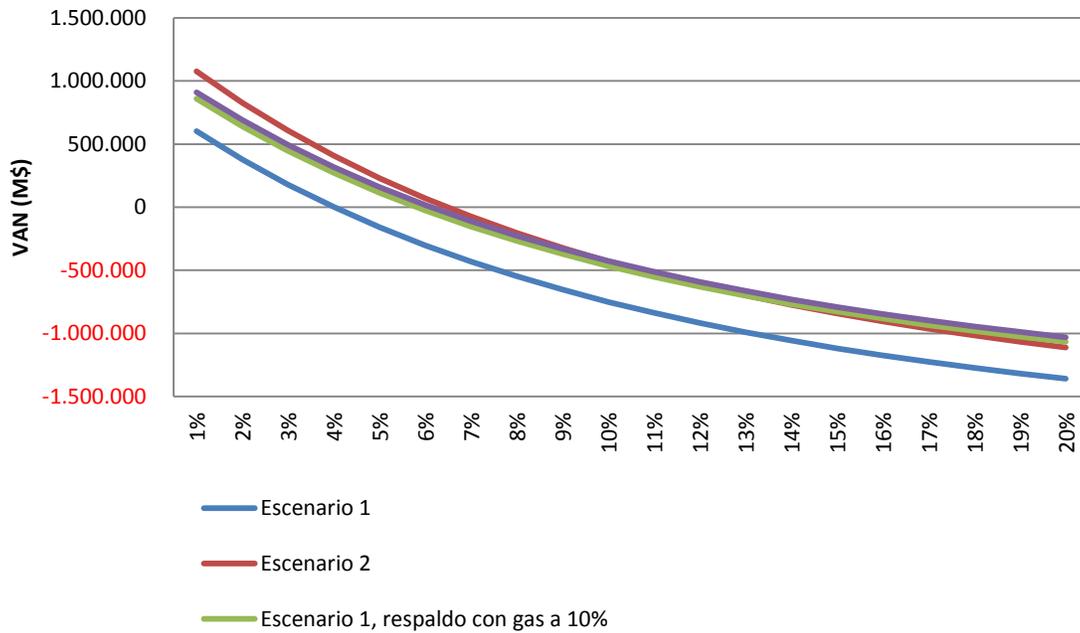


Figura 9.17: Sensibilidad a tasa de descuento en el Conjunto Las Palmas

Fuente: Elaboración propia

Para el Conjunto Las Palmas, se puede apreciar que para tasas de descuento mayores al 7%, los valores del VAN pasan a ser negativos.

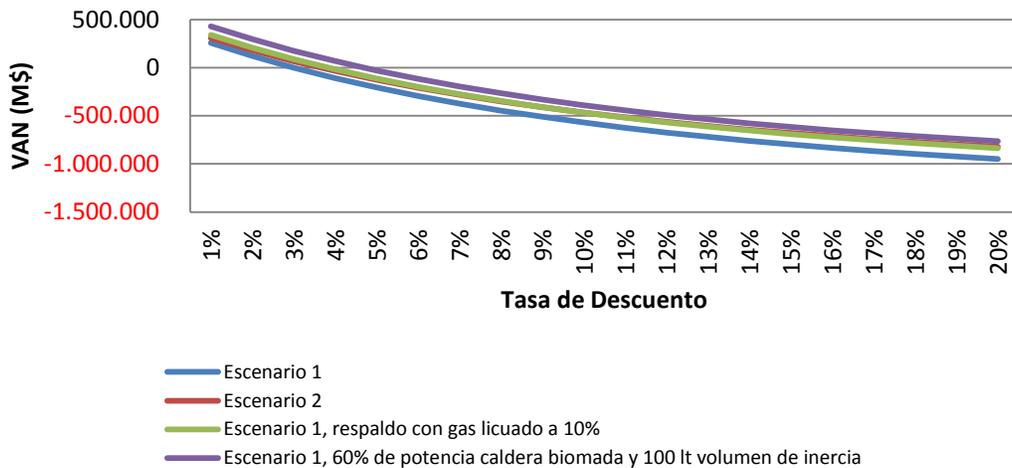


Figura 9.18: Sensibilidad a tasa de descuento en el Conjunto Reina Luisa

Fuente: Elaboración propia

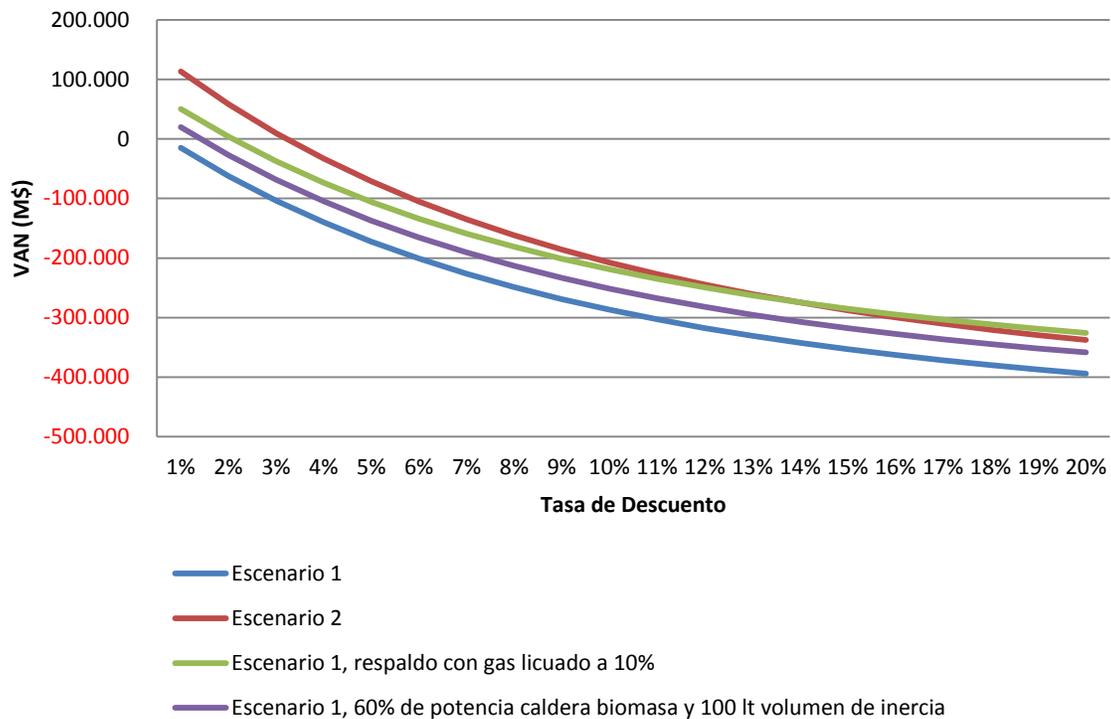


Figura 9.19: Sensibilidad a tasa de descuento en el Condominio Bellavista

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el cambio del VAN con respecto a un aumento de la tasa de descuento, se observa que tanto el Conjunto Reina Luisa como el Condominio Bellavista son altamente sensibles, sin embargo como era de esperar el Conjunto Bellavista es el que requiere una menor tasa de descuento para obtener una evaluación positiva. El Conjunto Reina Luisa presenta valores VAN positivos cuando la tasa es menor al 4%, mientras que el Conjunto Bellavista requiere tasas menores a 2%.

10 Evaluación de reducción de emisiones

10.1 Antecedentes

La ciudad de Osorno de la región de Los Lagos ha presentado problemas en la calidad del aire por Material Particulado tanto respirable (MP10, material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 10 μm) como finos (MP2,5, material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 μm) según mediciones registradas entre los años 2009 y 2012 en las estación de monitoreo de calidad del aire ubicada en la ciudad de Osorno, donde se han registrado valores por sobre la norma diaria.

Los registros de calidad del aire de la ciudad de Osorno registrados en el Sistema Nacional de Calidad del Aire (SINCA), muestran que los niveles ambientales de MP10 y MP2,5 (ver figura 1 y 2) exceden límites anuales (línea azul) y diarios (línea roja) tanto para MP10 como para los niveles ambientales de MP2.5, situación que se atribuye principalmente a la combustión de leña en los hogares para calefacción y/o cocinar alimentos.

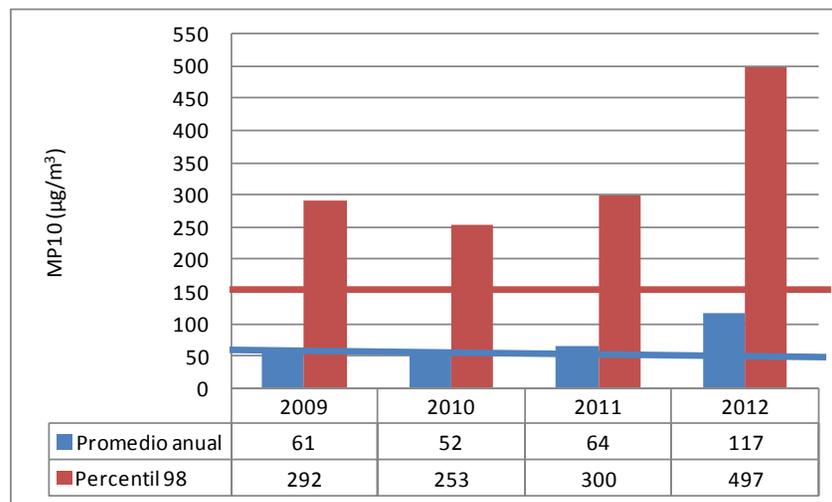


Figura 10.7: Percentil 98 de concentración 24 horas para MP10, periodo 2009-2012.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SINCA

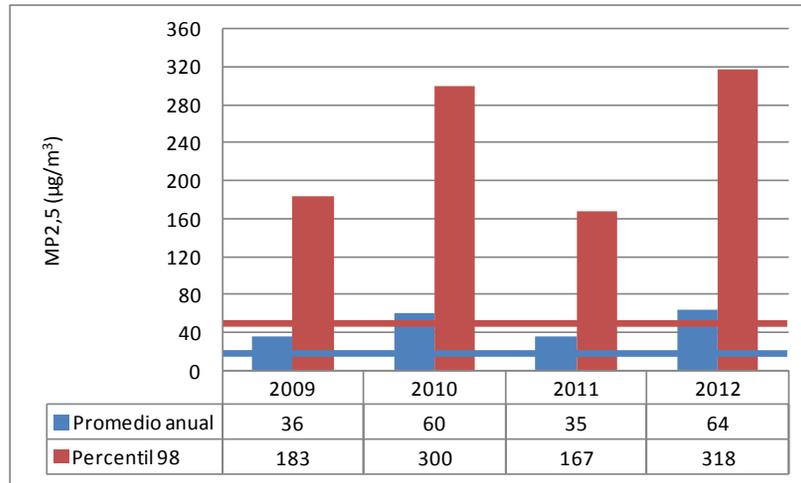


Figura 10.8: Percentil 98 de concentración 24 horas para MP2,5, periodo 2009-2012.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del SINCA

El siguiente informe contiene los resultados del análisis de tres escenarios de calefacción en los futuros proyectos inmobiliario para la evaluación del impacto sobre la concentración del MP10, MP2,5 y otros contaminantes atmosféricos en la ciudad de Osorno. Los escenarios se desarrollaron para estimar el efecto del crecimiento de viviendas de la ciudad de Osorno en la calidad del aire, en particular, en los niveles ambientales de MP10 y MP2,5. Se desarrollaron 3 escenarios de calefacción para los nuevos desarrollos habitacionales de la ciudad de Osorno, los cuales se describen brevemente a continuación:

Escenario 1 (E1) considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno utilizando sistemas de calefactores a leña convencionales, entre ellos cocinas a leña y estufas de combustión lenta con sistema de templador (actual sistema disponible en los calefactores nacionales).

Escenario 2 (E2) considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno utilizando sistemas de calefacción que cumplen con el D.S. 39/2012 del Ministerio del Medio Ambiente. Estos consideran que los calefactores cumplen con los límites de emisión establecidos para las emisiones de material particulado.

Escenario 3 (E3) considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno utilizando sistemas de calefacción distrital o comunitaria.

10.1.1 Descripción de los Escenarios de Calefacción para los Futuros Proyectos Inmobiliarios

A continuación se describen las consideraciones para calefacción para los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno.

10.1.1.1 Escenario 1

El Escenario 1 (E1) considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno. Para ello se consideró el plano regulador de la comuna e información los actuales desarrollos urbanos en Osorno. Para el análisis inicial se consideraron los proyectos inmobiliarios levantados en el estudio. Estos corresponden a desarrollos inmobiliarios proyectados para la ciudad. En la tabla 10.1 se indican los futuros proyectos inmobiliarios estudiados (Condominio Bellavista, Conjunto Las Palmas, junto con una proyección de nuevos desarrollos siguiendo los patrones de superficie y número de viviendas según localización y tipo de vivienda (superficie construida). La localización geográfica de estos proyectos se muestra espacialmente en la figura 10.3.

| Nombre proyecto | Superficie, m ² | Número viviendas |
|-----------------------|----------------------------|------------------|
| Condominio Bellavista | 11.000 | 46 |
| Conjunto Las Palmas | 120.000 | 315 |
| Conjunto Reina Luisa | 58.000 | 245 |
| Pila_1 | 90.549 | 382 |
| Pila_2 | 82.514 | 349 |
| Pila_3 | 85.247 | 360 |
| Pila_4 | 60.575 | 256 |
| Quem_9 | 8.839 | 37 |
| Quem_10 | 12.635 | 53 |
| Quem_12 | 13.312 | 56 |
| Quem_13 | 22.661 | 95 |
| Ove_14 | 37.214 | 157 |
| Ove_15 | 27.514 | 116 |
| Ove_16 | 34.863 | 147 |
| Ove_17 | 20.261 | 86 |
| Ove_18 | 32.086 | 136 |
| Ove_19 | 47.101 | 199 |
| Rah_21 | 38.332 | 162 |
| Rah_22 | 38.596 | 163 |
| Rah_23 | 28.868 | 122 |
| Rah_24 | 36.992 | 156 |

Tabla 10.1: Proyectos inmobiliarios proyectados para la ciudad de Osorno

Fuente: Elaboración propia



Figura 10.9: Futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno

Fuente: Elaboración propia en base a imagen de Google Earth

Para efectos de penetración de calefactores de leña en los futuros hogares se utilizó la información generada en la campaña de muestreo realizada en este estudio entre los meses de septiembre y octubre de 2012 donde se estimó que el 88,5% de los hogares de Osorno se calefacciona con equipos de combustión a leña. El consumo medio de leña, por hogar proyectado para las nuevas viviendas que utilizarían equipos de combustión a leña sería de 4.344 kg/hogar-año de leña (base húmeda) según los datos levantados en este estudio.

Los factores de emisión de contaminantes del aire considerado para el análisis corresponden a valores propuestos en el estudio Dictuc 2009 y se muestran en la tabla 10.2 según el rango de contenido de humedad de la leña y operación. En la tabla se puede apreciar que las emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5) es sensible al contenido de humedad de la leña y la operación del equipo de combustión. Cabe señalar,

que una importante proporción de los quipos de combustión a leña que se encuentran disponibles en el mercado nacional, operan mal cuando se les restringe la entrada de aire primario para la cámara de combustión, lo que conlleva a emisiones elevadas de material particulado y monóxido de carbono.

Para efectos de la estimación de las emisiones de los futuros proyectos se consideró que se mantendría la proporción de cocinas a leña (56%) y que los que opten en comprar calefactores tendría la opción de adquirir los calefactores a leña que actualmente se encuentran disponibles en el mercado. Adicionalmente, se consideró para este escenario que el 60% de la leña se encuentra seca ($\%H \leq 20\%$ base húmeda), el 30% semi-húmeda ($20 < \%H \leq 30\%$ base húmeda) y el 10% húmeda ($H > 30\%$ base húmeda). Adicionalmente, el 60% de los calefactores operaría en forma inadecuada debido a la mala utilización de la regulación del aire primario de combustión. Los factores de emisión ponderados por el contenido de humedad de la leña se muestran en la tabla 10.3.

| | Factor de emisión cocina a leña, g/kg leña | | | | | |
|-------------------------------|--|-------|--------|-----|--------|-----|
| Rango %H leña (base húmeda) | MP10 | MP2.5 | CO | NOx | COV | SOx |
| 0-20 | 19,2 | 18,6 | 126,3 | 1,3 | 114,5 | 0,2 |
| 20-30 | 30,9 | 30,1 | 401,0 | 1,3 | 363,5 | 0,2 |
| 30-40 | 90,1 | 87,6 | 1139,7 | 1,3 | 1033,2 | 0,2 |
| Mala utilización ¹ | 76,0 | 73,9 | 1050,5 | 1,4 | 241,2 | 0,2 |
| | Factor de emisión calefactor cámara doble, g/kg leña | | | | | |
| Rango %H leña (base húmeda) | MP10 | MP2.5 | CO | NOx | COV | SOx |
| 0-20 | 8,3 | 8,1 | 115,4 | 1,4 | 26,5 | 0,2 |
| 20-30 | 13,5 | 13,1 | 366,4 | 1,4 | 84,1 | 0,2 |
| 30-40 | 39,3 | 38,2 | 1041,3 | 1,4 | 239,1 | 0,2 |
| Mala utilización ¹ | 76,0 | 73,9 | 1050,5 | 1,4 | 241,2 | 0,2 |

¹Operación inadecuada del control de aire primario de combustión

Tabla 10.2: Factor de emisión de Contaminantes del aire para las cocinas a leña y estufas de combustión lenta de doble cámara

Fuente: Dictuc 2009

| | Factor de emisión ponderado equipos de combustión de Osorno, g/kg leña | | | | | |
|--------------------|--|-------|-------|-----|-------|-----|
| | MP10 | MP2.5 | CO | NOx | COV | SOx |
| Promedio ponderado | 33,0 | 32,1 | 464,8 | 1,4 | 210,4 | 0,2 |

Tabla 10.3: Factor de emisión de Contaminantes del aire para estufas de combustión lenta de doble cámara ponderado por el contenido de humedad de la leña y operación del calefactor

Fuente: Elaboración propia

La estacionalidad del consumo de leña en el año ocurre principalmente entre los meses de mayo y septiembre, aunque en todos los meses del año se registran consumos de leña, incluyendo los meses de verano, situación que se atribuye a la utilización de cocinas a Leña donde se aprecia que estos equipos tiene una mayor presencia en los hogares de Osorno. El uso de estas cocinas es mayor en los hogares con menores ingresos y a medida que incrementa el nivel de ingreso en el hogar, disminuye la utilización de cocinas de fierro, pero incrementa la utilización de equipos a combustión lenta de doble cámara para calefacción, como se observa en la tabla 10.4.

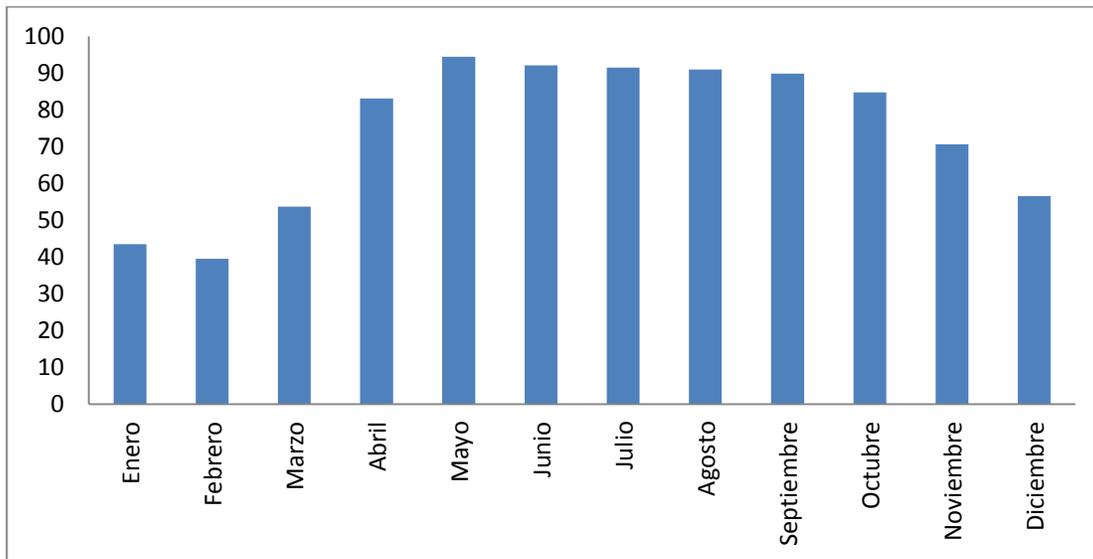


Figura 10.10. Estacionalidad del consumo de leña en los hogares de Osorno.

Fuente: Elaboración Propia

| Equipo a leña | Quintil 1 | Quintil 2 | Quintil 3 | Quintil 4 | Quintil 5 |
|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Cocina de fierro | 61,7% | 58,8% | 54,3% | 45,5% | 44,4% |
| Combustión lenta doble cámara | 17,0% | 25,5% | 37,1% | 18,2% | 40,7% |
| Combustión lenta cámara simple | 12,8% | 13,7% | 5,7% | 36,4% | 11,1% |
| Salamandra | 4,3% | 1,0% | 0,0% | 0,0% | 3,7% |
| Horno de barro | 0,0% | 0,0% | 2,9% | 0,0% | 0,0% |
| Otro | 4,3% | 1,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% |

Tabla 10.4. Proporción de equipos a leña según quintil de ingreso

Fuente: Elaboración propia

10.1.1.2 Escenario 2

El Escenario 2 (E2) considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno utilizando sistemas de calefacción que cumplen con el D.S. 39/2012 del Ministerio del Medio Ambiente. Para ello se consideraron los límites de emisión de material particulado establecidos en el Decreto Supremo según la tabla 10.5.

| Potencia Térmica Nominal (kW) | Emisión MP (g/h) |
|---------------------------------|------------------|
| Menor o igual a 8 | 2,5 |
| Mayor a 8 y menor o igual a 14 | 3,5 |
| Mayor a 14 y menor o igual a 25 | 4,5 |

Tabla 10.5. Límites de emisión según potencia

Fuente: DS 39/2012 Ministerio del Medio Ambiente

Se consideró el mismo nivel de penetración de calefactores a leña en los hogares (88,5%) que el del escenario 1 y el consumo promedio de leña por hogar se ajustó debido al mayor rendimiento térmico de los nuevos calefactores. Esto considera un 10% de reducción del consumo de leña por hogar lo que considera un consumo medio de 3.910 kg/hogar-año de leña. Este escenario consideró además que la leña utilizada en los hogares se encontraría 60% seca (contenido de humedad, $H < 20\%$, base húmeda) un 30% semi-húmeda ($20 < H < 30\%$, base húmeda) y un 10% húmeda ($H > 30\%$, base húmeda) y la estacionalidad del consumo de leña sería la misma del escenario 1. Para el caso de los nuevos calefactores, se consideró utilización del dispositivo preferentemente en la menor tasa de quemado por lo que las emisiones de material particulado aumentan debido al menor ingreso de aire primario. Los factores de emisión considerados para este escenario se muestran en la

siguiente tabla. Cabe señalar, que los factores de emisión de estos calefactores consideran el uso de leña sin corteza, ni sustancias químicas y una adecuada distribución de la carga de combustible dentro de la cámara primaria.

| Característica combustible | Factor de Emisión MP10, g/h | Tasa de quemado, kg leña/h | FE MP10, g/kg leña |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------|
| Leña seca | 8,3 | 1,0 | 8,3 |
| Leña semi- húmeda | 13,5 | 1,0 | 13,5 |
| Leña húmeda | 39,3 | 1,0 | 39,3 |

Tabla 10.6. Factores de emisión de material particulado para los calefactores que cumplen con le D.S. 39

Fuente: elaboración propia

10.1.1.3 Escenario 3

El Escenario 3 (E3) considera la incorporación de sistemas de Calefacción Distrital para el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno. Para ello se consideró las propuestas de sistemas de calefacción distrital bajo el escenario 2 desarrolladas para los proyectos inmobiliarios Conjunto Reina Luisa, Condominio Bellavista y Conjunto Las Palmas. Se consideraron los requerimientos de energía para calefacción, los consumos de biomasa y las características tecnológicas de las calderas de los sistemas de calefacción distrital propuestos para estos proyectos evaluados. Para mas detalles de la localización de los proyectos de calefacción distrital en los futuros barrios de Osorno referirse al Anexo A.

El escenario 2 de consumo calefacción para los hogares estudiados considera los requerimientos térmicos y de potencia para mantener una temperatura de 21°C entre las 12:00 y las 23:00 hrs y de 15°C el resto del día.

Para calcular las emisiones de sustancias contaminantes del aire se utilizaron factores de emisión del AP42 de la US EPA (Agencia de Protección Ambiental de EE.UU). Para ello se seleccionó el tipo de tecnología del calentador/ caldera, el tipo de combustible y el nivel de actividad de la fuente y los sistemas de abatimiento si este aplica, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$E = A \times EF \times (1 - ER / 100) \quad \text{Eq. 1}$$

Donde:

E = Emisión total

A = Nivel de actividad de la fuente

EF = Factor de emisión de la fuente

ER = Eficiencia de los sistemas de control de emisiones, %.

Estos factores corresponden a procesos de combustión controlada de biomasa en calderas industriales y se detallan a continuación.

| | (g/ MMBtu) | | | | | |
|-------------------------------------|------------|-------|-----|-----------------|-----|-----|
| Contaminante | MP10 | MP2,5 | NOx | SO ₂ | COV | CO |
| Factor de Emisión para Biomasa seca | 160 | 140 | 220 | 10 | 10 | 270 |

Tabla 10.7. Factores de emisión de contaminantes del aire para las calderas de biomasa para los sistemas de calefacción distrital

Fuente: US EPA AP-42 1.6 Open Combustion, Wood Residue Combustion in Boilers

Para el caso del control de emisiones de material particulado se consideró la incorporación de un sistema de abatimiento de material particulado con una eficiencia de un 95%. Además consideró una condición donde la biomasa utilizada en los sistemas de calefacción distrital se encontraría seca (contenido de humedad <25% base seca). Por lo tanto se ajustaron los factores de emisión de MP10 y MP2,5 a 8 g/MMBtu y 7 g/MMBtu, respectivamente.

10.1.2 Estimación del Impacto en la Calidad del Aire de los Nuevos Proyectos Inmobiliarios en la Ciudad de Osorno

Para efectos de valuar el potencial impacto en la calidad del aire que tendrían los futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Osorno, en particular para el material particulado (MP10 y MP2,5) se utilizó la herramienta de modelación de calidad del aire CALMET-CALPUFF, el cual también se utilizó para evaluar la relación que existe entre los niveles de emisión de sustancias contaminantes emitidos por los nuevos hogares y el aporte a los niveles de concentración observados en la ciudad de Rancagua. El uso del modelo permitiría considerar la variable espacial y temporal del impacto de las emisiones de los

nuevos conjuntos habitacionales y evaluar los efectos de emisiones de los distintos escenarios considerados para el estudio.

10.1.3 Selección del modelo de dispersión

El sistema de modelación CALMET-CALPUFF es un modelo de calidad del aire reconocido por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (US EPA) y es utilizado con fines regulatorios para evaluar el impacto de emisiones atmosféricas bajo condiciones de topografía y meteorología compleja. La utilización de este sistema de modelación involucrará el procesamiento de información meteorológica y topográfica utilizando los siguientes modelos y programas:

CALMET: Consiste en el modelo meteorológico que procesa la información disponible en observaciones de superficie, altura y/o datos de modelos meteorológicos tridimensionales (MM5 por ejemplo). CALMET genera los campos tridimensionales de vientos y temperaturas, al igual que campos bidimensionales de estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla, utilizando la topografía, uso de suelo y meteorología local.

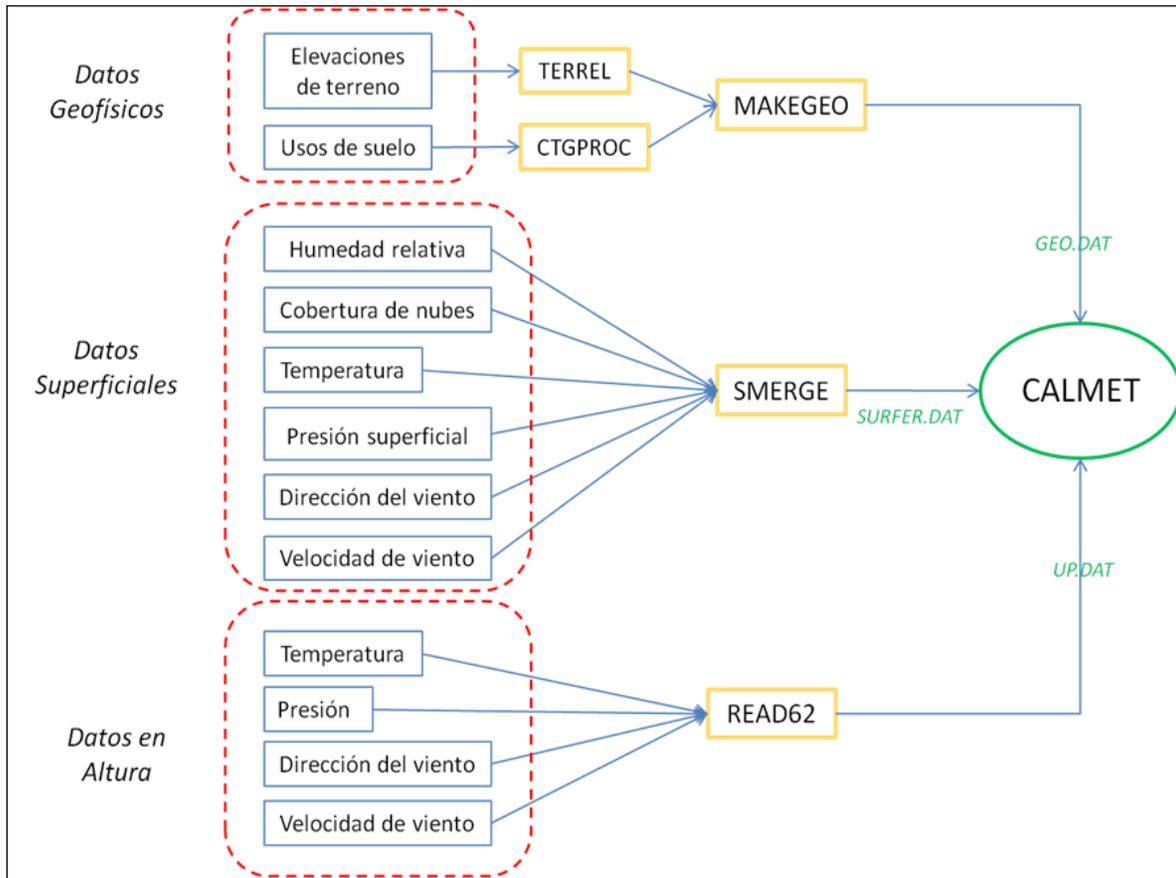


Figura 10.11: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET y los subprogramas de procesamiento de información.

Fuente: Elaboración propia

CALPUFF: Consiste en un modelo Lagrangiano de dispersión de tipo puff, que permite simular el transporte advectivo y difusivo de una sustancia de interés, para predecir el impacto en la concentración ambiental de esta sustancia (por ejemplo MP10), este modelo requiere de la información meteorológica generada por el modelo CALMET.

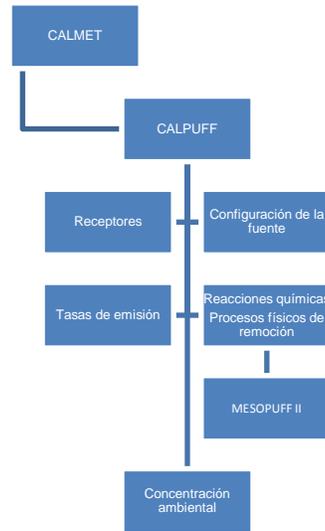


Figura 10.12: Esquema de los datos requeridos por el modelo CALPUFF.

Fuente: Elaboración Propia

10.1.4 Meteorología de Superficie

La información meteorológica para el área de estudio considera los registros de vientos, temperatura, y presión registrados en el año 2009 en la estación meteorológica ubicada en la estación de monitoreo de calidad del aire de Osorno. La tabla muestra las variables meteorológicas registradas en la estación y que se utilizó para el análisis.

| Estación | Propietario | Este ¹ (m) | Norte ¹ (m) | altura (m.s.n.m.) | Vel. Viento | Dir. viento | Temp | Hum. Rel. |
|----------|------------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|----------------|----------------|------|--------------|
| Osorno | Ministerio de Medio Ambiente | 659.218 | 5.505.664 | 52 | X | X | X | X |

¹Datum WGS84 y el huso 18

Tabla 10.8: Variables Meteorológicas registradas en la Estación de Calidad del Aire ubicada en la ciudad de Osorno

Fuente: SINCA, Ministerio del Medio Ambiente

Las magnitudes y frecuencia de la dirección de los vientos registrados en la ciudad de Osorno durante el año 2009 se muestran gráficamente en las rozas de vientos del ANEXO B.

Para la meteorología de altura se utilizó las predicciones del modelo meteorológico WRF (Weather Research and Forecasting Model). WRF es uno de los modelos meteorológicos de pronóstico más avanzados y completos. Es mantenido por NCAR9/NOAA10 de Estados Unidos.

10.1.5 Dominio de la modelación

El dominio seleccionado para la modelación cubre un área de 20 x 20 km con su origen (vértice inferior izquierdo) en las coordenadas UTM 647,755 km E y 5.498,478 km N. Este dominio cubre por completo la comuna de Osorno. La resolución de la grilla para simular la concentración ambiental fue de 200 m (ver figura 10.7).

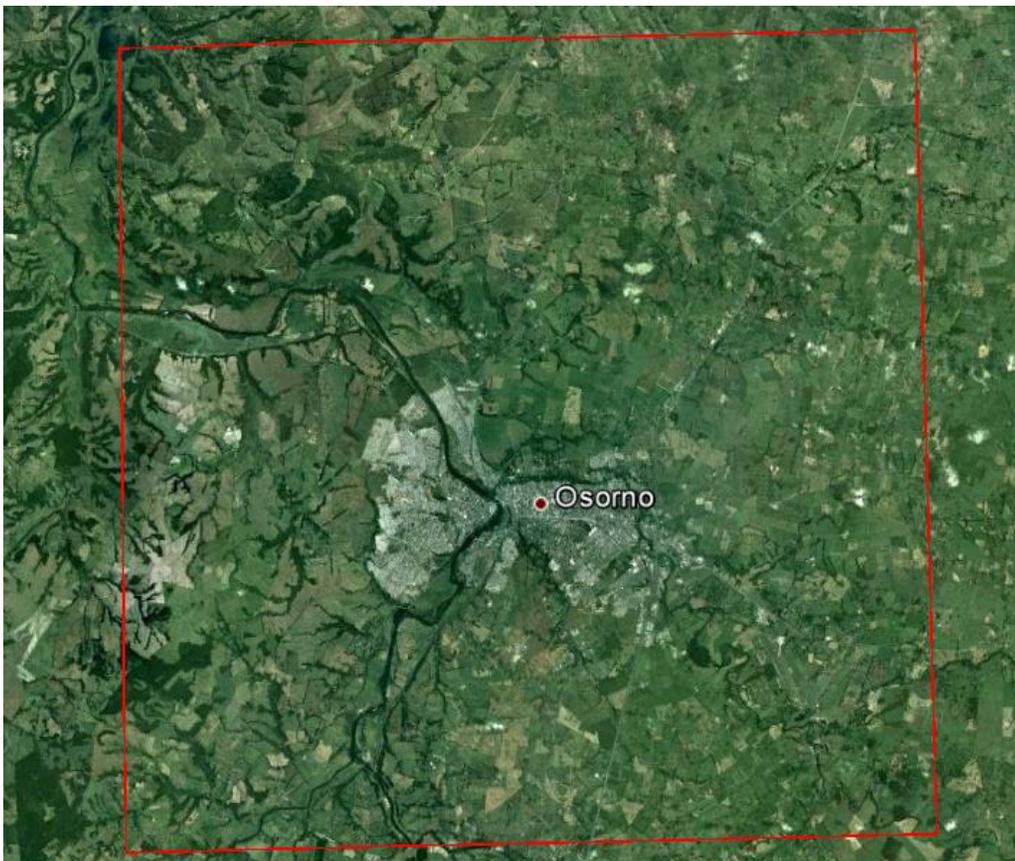


Figura 10.13: Dominio de la para el modelo CALMET- CALPUFF

Fuente: Elaboración propia en base a imagen de Google Earth

Para efectos del procesamiento de la información meteorológica recopilada para la modelación con CALMET- CALPUFF se consideraron 9 niveles entre los 0 y 2.560 m de altura, como se muestra en la tabla 10.9.

| Nivel | Altura (m) |
|-------|------------|
| 1 | 0 |
| 2 | 20 |
| 3 | 40 |
| 4 | 80 |
| 5 | 160 |
| 6 | 320 |
| 7 | 640 |
| 8 | 1.280 |
| 9 | 2.560 |

Tabla 10.9: Niveles considerados para la modelación con CALMET

Fuente: Elaboración propia

10.1.6 Receptores puntuales

Para efectos de evaluar el impacto en las concentraciones ambientales de material particulado y otros contaminantes se consideraron 21 receptores puntuales localizados dentro del radio urbano de la ciudad de Osorno (ver tabla 10.10), entre los cuales se encuentra la actual estación de monitoreo de calidad del aire de la ciudad (receptor No 21). La distribución espacial de los receptores en la ciudad de Osorno se muestra en la figura 10.8.

| Receptor No | ¹ UTME (m) | ¹ UTM N (m) | Altitud (m.s.n.m.) | Observación |
|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|--|
| 1 | 654.978 | 5.509.294 | 60 | |
| 2 | 654.466 | 5.508.413 | 73 | |
| 3 | 654.884 | 5.507.282 | 73 | |
| 4 | 654.902 | 5.506.356 | 76 | |
| 5 | 654.658 | 5.505.326 | 75 | |
| 6 | 655.765 | 5.505.686 | 64 | |
| 7 | 655.742 | 5.506.630 | 63 | |
| 8 | 655.494 | 5.507.548 | 56 | |
| 9 | 655.529 | 5.508.306 | 64 | |
| 10 | 656.030 | 5.509.109 | 21 | |
| 11 | 656.574 | 5.507.774 | 21 | |
| 12 | 656.615 | 5.506.632 | 20 | |
| 13 | 657.259 | 5.505.665 | 58 | |
| 14 | 656.337 | 5.505.230 | 26 | |
| 15 | 657.548 | 5.507.110 | 31 | |
| 16 | 658.242 | 5.506.188 | 46 | |
| 17 | 659.030 | 5.505.142 | 64 | |
| 18 | 659.429 | 5.507.165 | 34 | |
| 19 | 659.994 | 5.506.726 | 40 | |
| 20 | 660.497 | 5.504.951 | 58 | |
| 21-Est | 659.218 | 5.505.664 | 52 | Actual ubicación de la estación de monitoreo de calidad del aire |

¹Datum WGS84 y el huso 18

Tabla 10.10: Receptores puntuales considerados para la modelación con CALMET – CALPUFF

Fuente: Elaboración propia

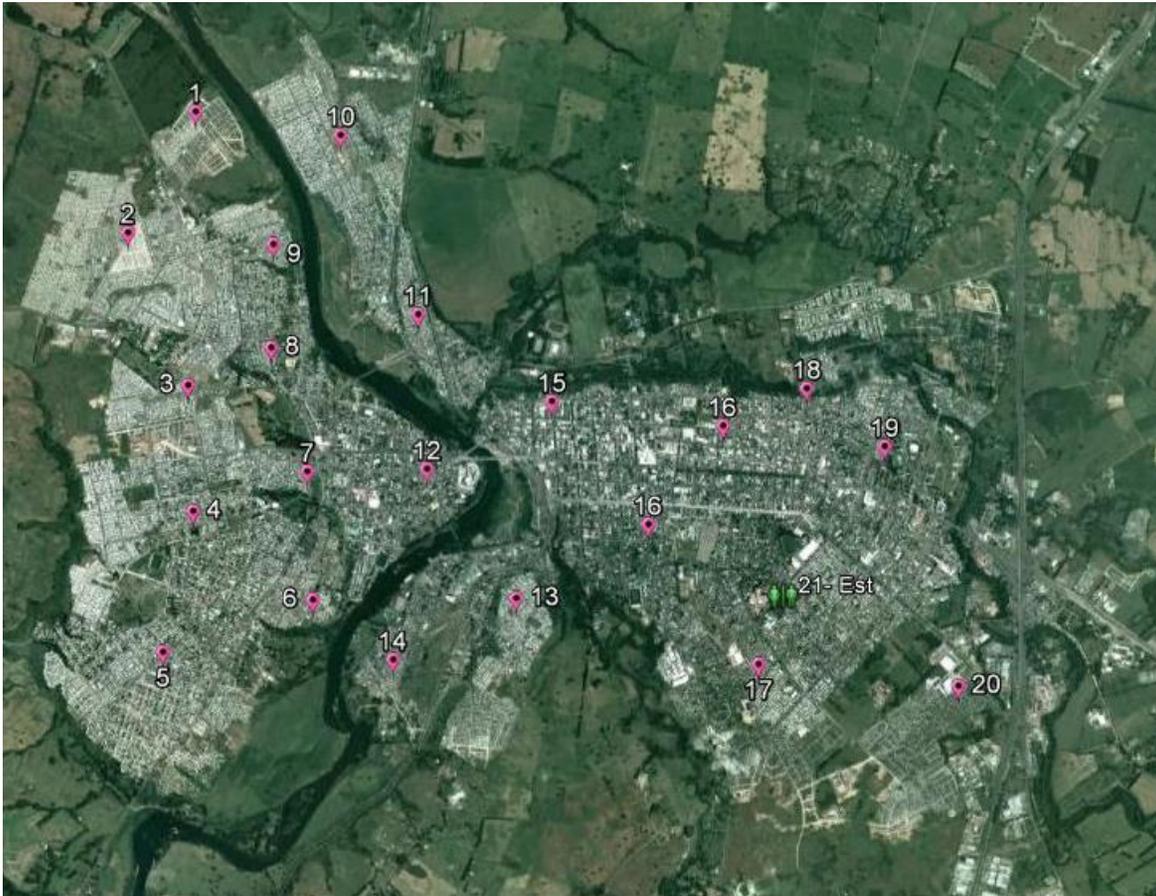


Figura 10.14. Receptores puntuales seleccionado para la modelación con CALMET – CALPUFF en Osorno

Fuente: Elaboración propia con imagen de Google Earth

10.1.7 Topografía y uso de suelo

La topografía considerada para la modelación con el sistema CALMET-CALPUFF consideró información de elevación de la base de datos internacional de SRTM3 (Shuttle radar Topo Mission) con una resolución de 90 metros. El detalle de la topografía del área de estudio se muestra en las figuras 10.9 y 10.10. Como se puede apreciar se consideró el dominio de modelación en una superficie mayor que el de la zona urbana de Osorno.

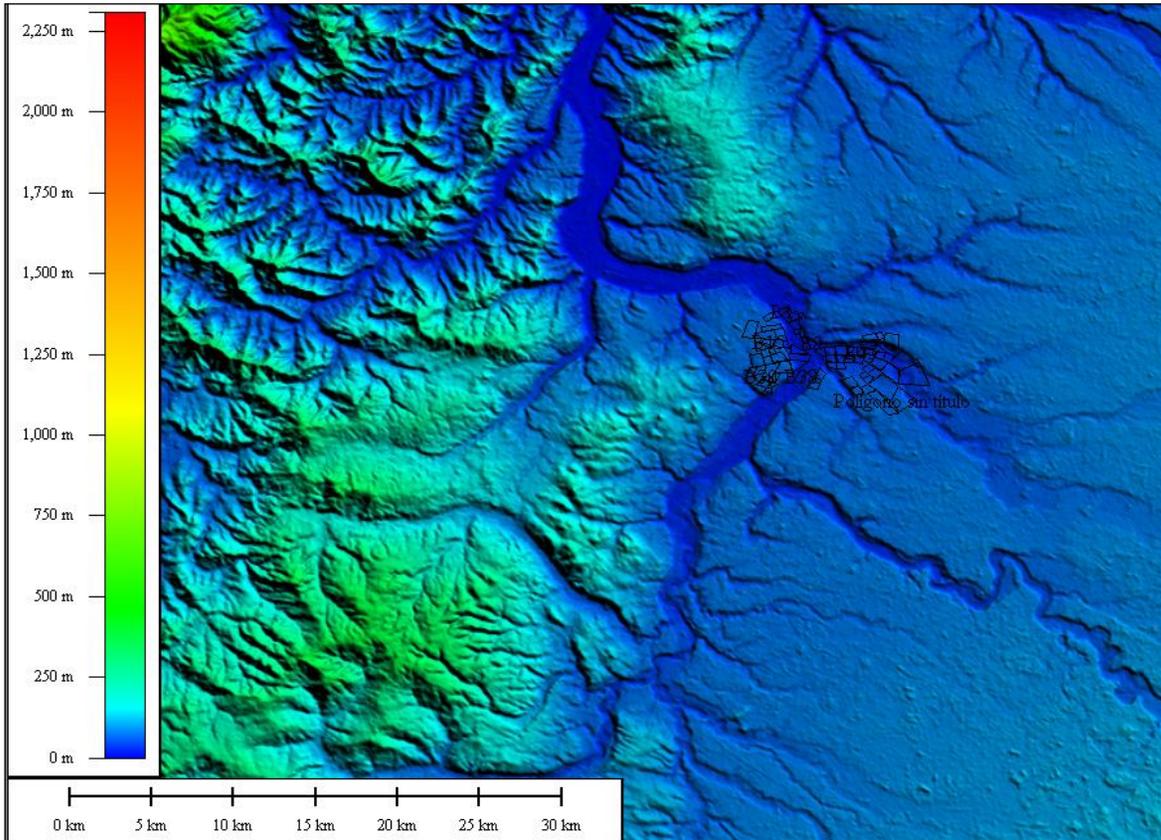


Figura 10.15. Detalle de la topografía para el área de estudio en la ciudad de Osorno

Fuente: Elaboración propia

Las características del uso de suelo consideradas en la modelación fue obtenida de la base de datos internacional de la U.S. Geological Survey (USGS).

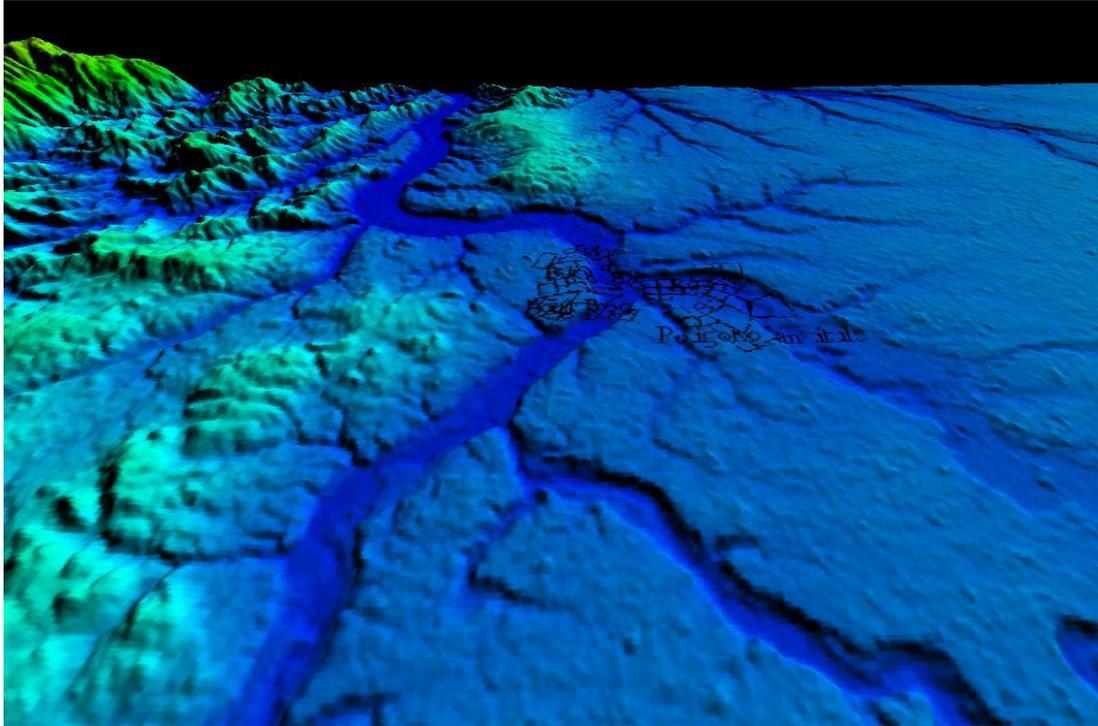


Figura 10.16: Topografía tridimensional para el área de estudio en para la ciudad de Osorno

Fuente: Elaboración propia

10.1.8 Consideraciones de la aplicación del modelo

Para la modelación de la concentración ambiental de MP10, MP2,5 y otros contaminantes en la ciudad de Osorno, se consideró sólo las emisiones atmosféricas de futuros proyectos inmobiliarios bajo los tres escenarios de calefacción considerados para análisis.

10.1.8.1 Emisiones atmosféricas de los nuevos desarrollos urbanos

La estimación del aporte de material particulado a las concentraciones ambientales observada en los receptores de interés, distribuidos dentro de la ciudad de Osorno, consideró el aporte de futuros desarrollos inmobiliarios para la ciudad. Estas se encenrarían ubicados en las zonas de desarrollo habitacional de la ciudad. Uno de los

aspectos importantes a destacar es que estos proyectos inmobiliarios se estarían localizando principalmente en las zonas periféricas de la ciudad, en zonas con uso de suelo en las categorías H.1, H.1A, H2 y H3 definidas en el Plano Regulador de la Comuna de Osorno (ver figuras 10.11 y 10.12). Por lo tanto, existe espacio para el desarrollo de más proyectos inmobiliarios en estas zonas de la ciudad.

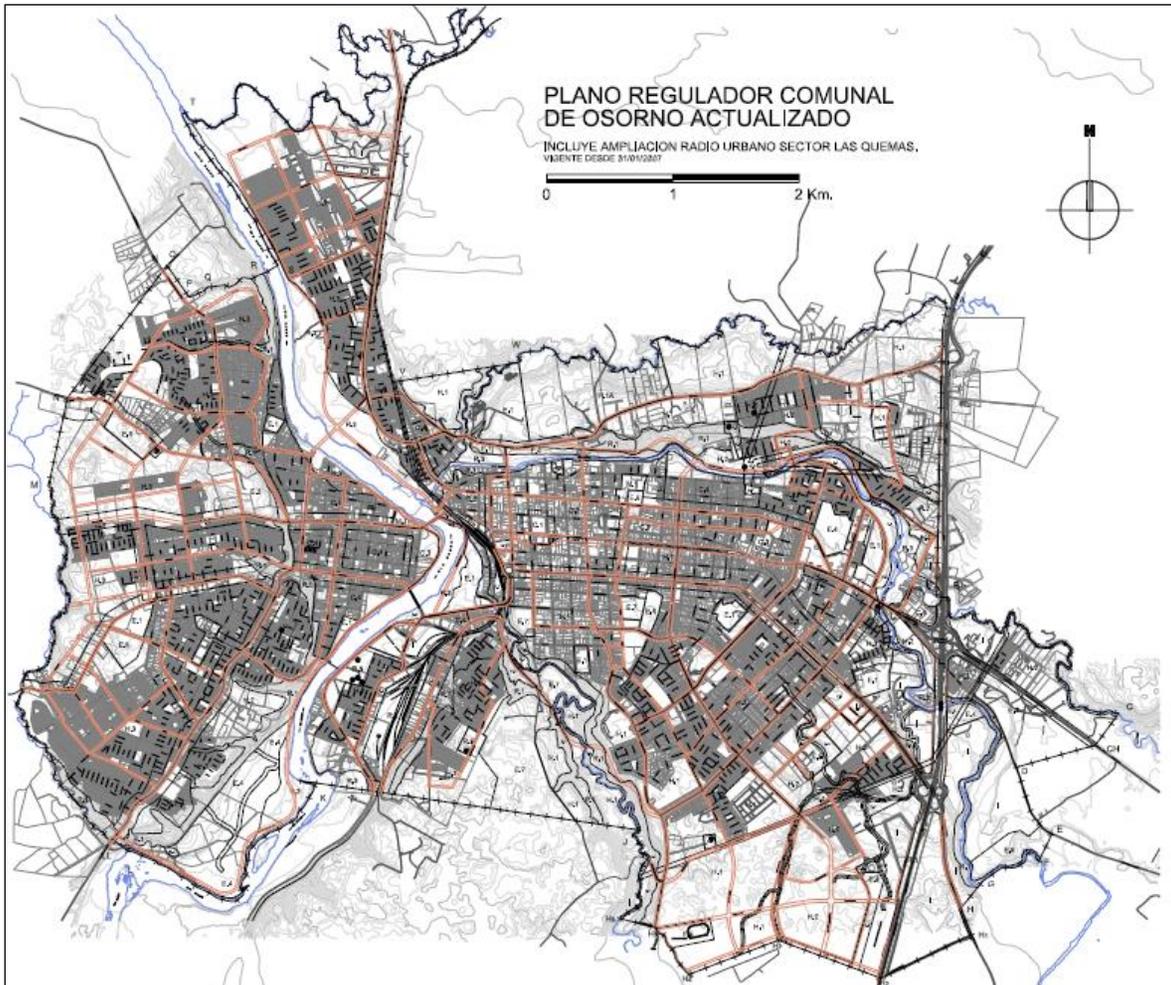


Figura 10.17. Plano Regulador para la Comuna de Osorno, Región de los Lagos.

Fuente: Ilustre Municipalidad de Osorno

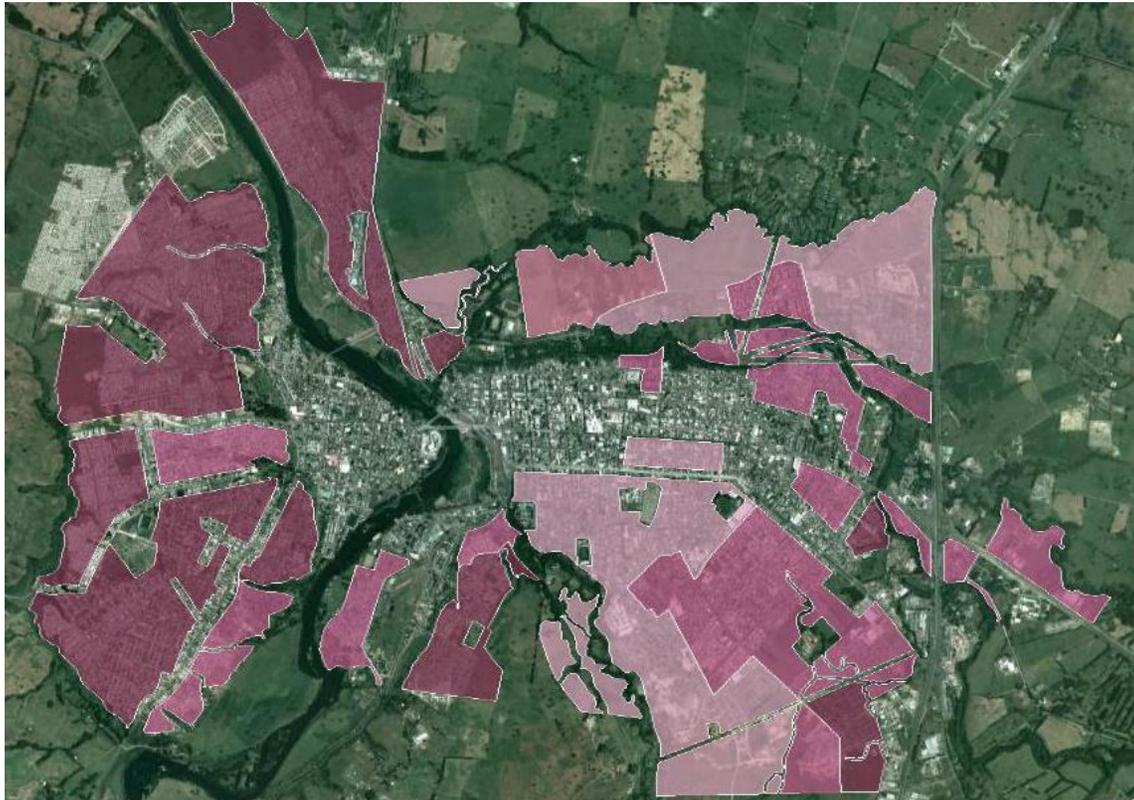


Figura 10.18. Zonas definidas como zonas para desarrollo de proyectos residenciales H1, H1A, H2 y H3 en el Plano Regulatorio para la Comuna de Osorno

Fuente: Ilustre Municipalidad de Osorno

Considerando las zonas establecidas para el desarrollo de nuevos proyectos habitacionales, se podría esperar que se sigan desarrollando proyectos inmobiliarios en los siguientes años. Esto aumentaría el número de viviendas, y dadas las actuales tasas de penetración de equipos a combustión a leña (88,5%) y los elevados consumos de leña, aumentarían las emisiones de material particulado y otros contaminantes del aire.

10.1.8.2 Simulación de las emisiones atmosféricas de las nuevas viviendas

Para efectos de simulación y distribución de las emisiones de MP y otros contaminantes debido a la combustión de leña para calefacción y cocina en las futuras viviendas para la ciudad de Osorno, las emisiones atmosféricas se distribuyeron como una fuente de área. Para el caso de la simulación de las emisiones atmosféricas de los proyectos de calefacción

distrital evaluados en el escenario 3, se consideraron estas emisiones como fuentes puntuales (emisión desde una chimenea).

En el análisis se evaluaron las concentraciones ambientales de los siguientes contaminantes:

- MP10 (Material Particulado con diámetro aerodinámico $\leq 10 \mu\text{m}$)
- MP2,5 (Material Particulado con diámetro aerodinámico $\leq 2,5 \mu\text{m}$)
- CO (Monóxido de carbono)
- COV (Compuestos orgánicos volátiles)

Se consideraron los contaminantes MP10, MP2,5 y CO porque tienen efectos negativos en la salud de las personas y están actualmente reguladas las concentraciones ambientales de estas sustancias por las normas primarias de calidad del aire de nuestro país como se indica en la tabla 10.11. Para el caso del los COV, estos se consideraron en el análisis debido a que algunos de estos compuestos son irritantes y también son precursores de la formación de material particulado fino en la atmósfera (material particulado secundario) a través de procesos físico - químicos.

| Contaminante | Límite | Periodo de evaluación | Forma de verificación | Norma |
|--|---|---------------------------------|--|--|
| Material particulado respirable (MP10) | 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ | Promedio aritmético de 24 horas | Percentil 98 de valores de un año de monitoreo. | D.S. N° 59/1998 de Minsegres |
| | 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ | Promedio aritmético anual | Promedio aritmético de 3 años consecutivos. | |
| Material particulado fino (MP2,5) | 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ | Promedio aritmético de 24 hrs. | Percentil 98 de valores de un año de monitoreo. | D.S. N° 12/2011 de Ministerio Medio Ambiente |
| | 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ | Concentraciones anuales | Promedio aritmético de 3 años consecutivos. | |
| Monóxido de Carbono (CO) | 30 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ (26 ppmv) | Media aritmética horaria | Promedio de tres años del percentil 99 de los máximos diarios de una hora. | D.S. N° 115/2002 de Minsegres |
| | 10 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ (9 ppmv) | Media aritmética 8 horas | Promedio de tres años del percentil 99 de los máximos promedios de ocho horas. | |

Tabla 10.11. Norma Primaria de Calidad del Aire para MP10, MP2,5 y CO

Fuente: Elaboración propia en base a LeyChile.cl

10.1.8.3 Distribución temporal de las emisiones atmosféricas

Para efectos de la modelación se consideró la variación estacional y horaria de las emisiones de material particulado y otros contaminantes, considerando la información recopilada en el levantamiento de terreno realizado en Osorno entre Septiembre y Octubre de 2012. La distribución estacional del consumo de leña en los hogares se muestra en la figura 10.4, mientras que, la intensidad horaria del uso de los artefactos a combustión durante el periodo de invierno se muestra en la figura 10.13.

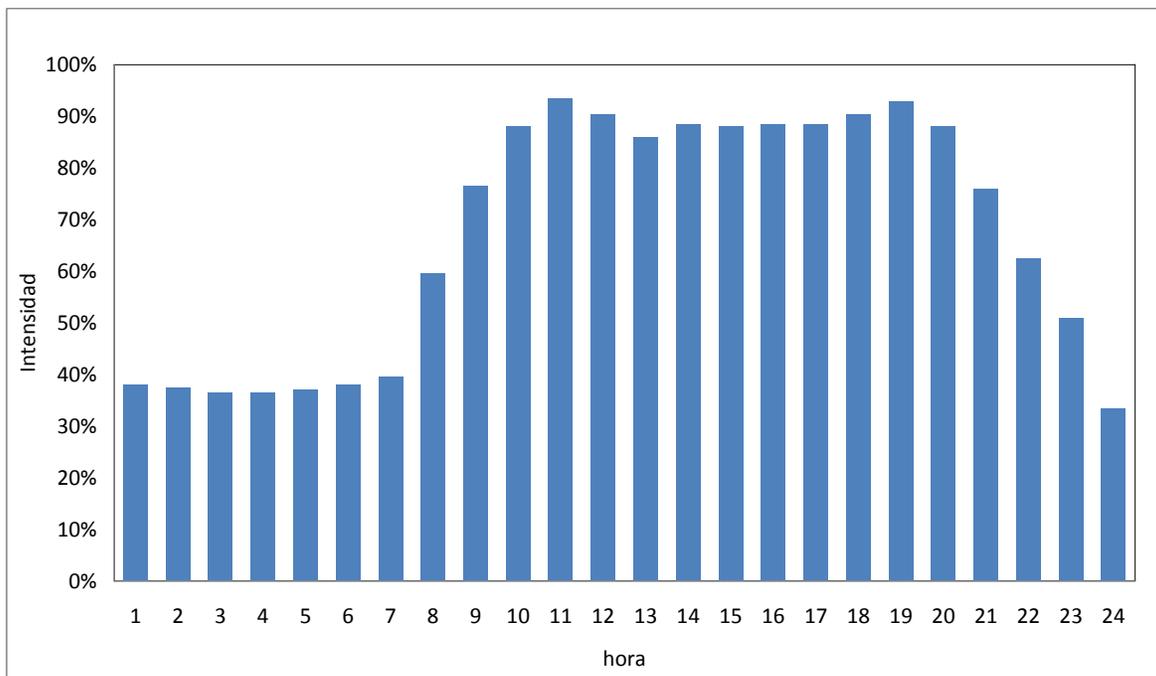


Figura 10.19: intensidad del uso de los artefactos a combustión durante el día durante el invierno

Fuente: Elaboración Propia

10.2 Cuantificación de Beneficios Directos en Salud

Los beneficios sobre la salud de una reducción en la contaminación por material particulado respirable provienen de una menor probabilidad de mortalidad y menor incidencia de enfermedades de la población afectada. Para la valoración de los beneficios en las enfermedades que afectan la salud se utilizan los valores reportados en el estudio “Estimación de Beneficios Sociales en Salud Anteproyecto de Revisión de las Normas de Calidad Primaria de Aire Contenidas en la Res N°1215/78 del Ministerio de Salud MINSAL” de Moreira (2000), que a su vez son extraídos de diversos estudios como Cifuentes y Ojeda (1998), Holtz (2000) y Eixhauser (1993). Para la valoración de beneficios de una muerte prematuras evitadas por la exposición a contaminación extramuros generadas por las concentraciones de material particulado respirable (MP10) se utiliza el valor medio de beneficios del “AGIES de la norma de calidad del aire por MP2,5” (valor medio por vida estadística entre escenario alto de 38.700 UF y bajo de 10.500UF), todo lo anterior se presenta en la siguiente tabla .

| Ítem | Valor Unitario MM\$ actualizado a 2012 |
|--------------------------|--|
| Mortalidad Prematura | 254,83 |
| Adm Hosp. Respiratoria | 0,48 |
| Adm Hosp. Cardiovascular | 0,10 |
| Adm. Hosp. Asma | 0,003 |

Tabla 10.12. Valores Unitarios Utilizados en la Valoración Monetaria

Fuente: Citados en Moreira (2000) y AGIES de MP2,5

La población expuesta considerada corresponde a los habitantes de la comuna de Osorno, que según proyecciones del INE corresponden a 185.994 personas para el año 2012, con una tasa de crecimiento promedio de largo plazo de 0.02%.

La relación Concentración-Respuesta es la función que permite asociar cuantitativamente la concentración de un contaminante atmosférico con la incidencia de un determinado efecto en la salud de la población. Por lo general las funciones Concentración-Respuesta (C-R) son el resultado de estudios epidemiológicos, cuyo análisis proporciona el valor de la pendiente de la curva C-R, o el riesgo relativo para una variación de la concentración del contaminante. En términos simples la interpretación del coeficiente C-R es la siguiente; a mayor coeficiente C-R, mayor es la incidencia sobre la mortalidad prematura o enfermedades en la población expuesta a la contaminación.

| Ítem | Coefficiente C-R | Desv. Estándar |
|---------------------------|-----------------------|----------------|
| Mortalidad Prematura | 0,00620 ¹⁹ | 0,00240 |
| Adm. Hosp. Respiratoria | 0,00307 | 0,00081 |
| Adm. Hosp. Cardiovascular | 0,00140 | 0,00034 |
| Adm. Hosp. Asma | 0.00332 | 0.00105 |

¹UTILIZADAS POR EL MMA DE DIVERSOS ESTUDIOS INTERNACIONALES

Tabla 10.13: Coeficientes de Funciones Concentración-Respuesta

10.3 Tasas de efectos en la salud

La tasa de efectos base de salud proyectados en Osorno son extraídos de Moreira (2000), autora que utiliza tasas base nacionales cuando existe disponibilidad de datos, pero cuando no existen datos locales utiliza datos de EE.UU., tanto de la EPA como de estudios originales. Las tasas bases en salud indican el número promedio de casos por muertes o enfermedades por día cada 100.000 habitantes que ocurren por situaciones no atribuibles a la contaminación.

| Ítem | Efectos Base/día |
|---------------------------|------------------|
| | por 100000 p |
| Mortalidad Prematura | 1,2300 |
| Adm. Hosp. Respiratoria | 2,0800 |
| Adm. Hosp. Cardiovascular | 0,6008 |
| Adm. Hosp. Asma | 0,0368 |

Tabla 10.14: Tasa de Efectos Base

Fuente: Moreira (2000)

Los efectos base de salud proyectados en Osorno se evaluaron desde el año 2014, cuando entra en operación del escenario base (escenario 1) y los escenarios alternativos hasta el año 2025, es decir, la evaluación de los beneficios se realizó en un horizonte de doce años.

¹⁹ Extraído de Pope et al. (2004).

10.4 Resultados

A continuación se presentan los resultados de los consumos de leña y tasas de emisión de los contaminantes del aire para cada uno de los escenarios de calefacción de los futuros proyectos habitacionales evaluados para la ciudad de Osorno.

10.4.1 Consumo de Leña y Emisiones de contaminantes del aire

10.4.1.1 Escenario 1

Los resultados de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno, considerando la actual tasa de penetración de calefactores a leña en los hogares y la actual proporción de equipos convencionales de combustión a leña se muestran en la tabla 10.15. Se estimó que para el desarrollo de los futuros 21 proyectos inmobiliarios considerados para el análisis, se estaría consumiendo una cantidad adicional de 13.382 ton/año de leña para calefacción y cocina de las nuevas viviendas. Como consecuencia de la combustión de esta leña en equipos convencionales, se emitirían un total de 461,9 ton MP10/año, 449,1 ton MP2,5/año y 6.499,8 ton CO/año. Cabe recordar, que actualmente la ciudad de Osorno se encuentra con graves problemas de calidad del aire debido a los elevados niveles ambientales de material particulado tanto de la fracción respirable (MP10), como de la fracción fina (MP2,5).

| Nombre proyecto | Número viviendas | (ton/año) | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|-------------|----------------|------------|
| | | Consumo de leña | MP10 | MP2,5 | CO | NOx | COV | SOx |
| Condominio Bellavista | 46 | 176,8 | 5,8 | 5,7 | 82,2 | 0,2 | 37,2 | 0,0 |
| Conjunto Las Palmas | 315 | 1.211,0 | 40,0 | 38,9 | 562,9 | 1,6 | 254,8 | 0,2 |
| Conjunto Reina Luisa | 245 | 941,9 | 31,1 | 30,2 | 437,8 | 1,3 | 198,2 | 0,2 |
| Pila_1 | 382 | 1.470,5 | 48,6 | 47,2 | 683,5 | 2,0 | 309,4 | 0,3 |
| Pila_2 | 349 | 1.340,0 | 44,3 | 43,0 | 622,9 | 1,8 | 281,9 | 0,3 |
| Pila_3 | 360 | 1.384,4 | 45,7 | 44,5 | 643,5 | 1,9 | 291,2 | 0,3 |
| Pila_4 | 256 | 983,7 | 32,5 | 31,6 | 457,3 | 1,3 | 207,0 | 0,2 |
| Quem_9 | 37 | 142,1 | 4,7 | 4,6 | 66,1 | 0,2 | 29,9 | 0,0 |
| Quem_10 | 53 | 203,1 | 6,7 | 6,5 | 94,4 | 0,3 | 42,7 | 0,0 |
| Quem_12 | 56 | 214,0 | 7,1 | 6,9 | 99,5 | 0,3 | 45,0 | 0,0 |
| Quem_13 | 95 | 364,3 | 12,0 | 11,7 | 169,3 | 0,5 | 76,6 | 0,1 |
| Ove_14 | 157 | 604,3 | 20,0 | 19,4 | 280,9 | 0,8 | 127,1 | 0,1 |
| Ove_15 | 116 | 446,8 | 14,8 | 14,3 | 207,7 | 0,6 | 94,0 | 0,1 |
| Ove_16 | 147 | 566,2 | 18,7 | 18,2 | 263,2 | 0,8 | 119,1 | 0,1 |
| Ove_17 | 86 | 329,0 | 10,9 | 10,6 | 152,9 | 0,4 | 69,2 | 0,1 |
| Ove_18 | 136 | 521,1 | 17,2 | 16,7 | 242,2 | 0,7 | 109,6 | 0,1 |
| Ove_19 | 199 | 764,9 | 25,3 | 24,6 | 355,6 | 1,0 | 160,9 | 0,2 |
| Rah_21 | 162 | 622,5 | 20,6 | 20,0 | 289,4 | 0,8 | 131,0 | 0,1 |
| Rah_22 | 163 | 626,8 | 20,7 | 20,1 | 291,4 | 0,8 | 131,9 | 0,1 |
| Rah_23 | 122 | 468,8 | 15,5 | 15,1 | 217,9 | 0,6 | 98,6 | 0,1 |
| Rah_24 | 156 | 600,7 | 19,8 | 19,3 | 279,2 | 0,8 | 126,4 | 0,1 |
| Total | 3.637 | 13.382,2 | 461,9 | 449,1 | 6.499,8 | 19,0 | 2.941,8 | 2,8 |

Tabla 10.15: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo Escenario 1 de calefacción en los hogares

Fuente: Elaboración Propia

Cabe señalar, que si continúan desarrollándose proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno y no existiera una intervención mayor, seguirían aumentando las tasas de emisión de contaminantes del aire, entre ellos el material particulado respirable (MP10) y el fino (MP2,5).

10.4.1.2 Escenario 2

Los resultados de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros desarrollos urbanos considerando la actual tasa de penetración de calefactores a leña en los hogares y la introducción de nuevos calefactores que cumplan con el límite de emisión e MP, establecido en el D.S. 39/2012 se muestran en la tabla 10.16. Se estimó que para el desarrollo de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados, se estaría consumiendo una cantidad de 12.585 ton/año de leña para calefacción de las viviendas. Esto presenta una reducción de un 10% en el consumo de leña en comparación con el escenario 1 debido a la mayor eficiencia energética de los nuevos calefactores.

Como consecuencia de la combustión de leña en los hogares bajo este escenario, se emitirían en total 146,8 ton MP10/año y 130,5 ton MP2,5/año. Esto constituye una reducción del 76,7% y 71,0% de las emisiones de material particulado respirable (MP10) y fino (MP2,5) por efecto del cambio tecnológico de los calefactores. Sin embargo, este potencial reducción es optimista, en cuanto a que las emisiones de MP que deberán cumplir los calefactores se basan en pruebas controladas en laboratorio (NCh 28), el cual considera el uso de madera seca (Eucalipto Glóbulos) sin corteza y ordenado en forma adecuada para permitir una buena combustión dentro del calefactor.

Las emisiones de material particulado y otro contaminantes pueden ser mayores a las establecidas en la certificación cuando estos sean operados en los hogares, debido a la diversidad de especies de leña utilizadas en la ciudad de Osorno, entre ellos, hualle, eucalipto, y otras especies nativas, el contenido de humedad, la configuración de la carga de leña dentro de la cámara de combustión del calefactor y la manipulación del aire primario de combustión. Además, en la actualidad gran parte de los hogares de Osorno se aprovisionan de leña a través del comercio informal (~72%). Esto plantea un desafío importante en cuanto a fiscalización para evitar que se comercialice leña con un mayor contenido de humedad que el recomendado (< 25% base seca), situación que no lograría los resultados esperados al introducir esta nueva generación de calefactores a leña.

| Nombre proyecto | Número viviendas | (ton/año) | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|-------------|--------------|-----------------|
| | | Consumo de leña | MP10 | MP2,5 | CO | NOx | COV | SO ₂ |
| Condominio Bellavista | 46 | 159,2 | 1,9 | 1,7 | 18,4 | 0,2 | 4,2 | 0,0 |
| Conjunto Las Palmas | 315 | 1.089,9 | 12,7 | 11,3 | 125,8 | 1,5 | 28,9 | 0,2 |
| Conjunto Reina Luisa | 245 | 847,7 | 9,9 | 8,8 | 97,8 | 1,2 | 22,5 | 0,2 |
| Pila_1 | 382 | 1.323,4 | 15,4 | 13,7 | 152,7 | 1,8 | 35,1 | 0,3 |
| Pila_2 | 349 | 1.206,0 | 14,1 | 12,5 | 139,2 | 1,6 | 32,0 | 0,2 |
| Pila_3 | 360 | 1.245,9 | 14,5 | 12,9 | 143,8 | 1,7 | 33,0 | 0,2 |
| Pila_4 | 256 | 885,3 | 10,3 | 9,2 | 102,2 | 1,2 | 23,5 | 0,2 |
| Quem_9 | 37 | 127,9 | 1,5 | 1,3 | 14,8 | 0,2 | 3,4 | 0,0 |
| Quem_10 | 53 | 182,8 | 2,1 | 1,9 | 21,1 | 0,2 | 4,8 | 0,0 |
| Quem_12 | 56 | 192,6 | 2,2 | 2,0 | 22,2 | 0,3 | 5,1 | 0,0 |
| Quem_13 | 95 | 327,9 | 3,8 | 3,4 | 37,8 | 0,4 | 8,7 | 0,1 |
| Ove_14 | 157 | 543,9 | 6,3 | 5,6 | 62,8 | 0,7 | 14,4 | 0,1 |
| Ove_15 | 116 | 402,1 | 4,7 | 4,2 | 46,4 | 0,5 | 10,7 | 0,1 |
| Ove_16 | 147 | 509,5 | 5,9 | 5,3 | 58,8 | 0,7 | 13,5 | 0,1 |
| Ove_17 | 86 | 296,1 | 3,5 | 3,1 | 34,2 | 0,4 | 7,8 | 0,1 |
| Ove_18 | 136 | 469,0 | 5,5 | 4,9 | 54,1 | 0,6 | 12,4 | 0,1 |
| Ove_19 | 199 | 688,4 | 8,0 | 7,1 | 79,4 | 0,9 | 18,2 | 0,1 |
| Rah_21 | 162 | 560,2 | 6,5 | 5,8 | 64,7 | 0,8 | 14,8 | 0,1 |
| Rah_22 | 163 | 564,1 | 6,6 | 5,8 | 65,1 | 0,8 | 14,9 | 0,1 |
| Rah_23 | 122 | 421,9 | 4,9 | 4,4 | 48,7 | 0,6 | 11,2 | 0,1 |
| Rah_24 | 156 | 540,7 | 6,3 | 5,6 | 62,4 | 0,7 | 14,3 | 0,1 |
| Total | 3.637 | 12.584,6 | 146,8 | 130,5 | 1.452,3 | 17,1 | 333,5 | 2,5 |

Tabla 10.16: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2.

Fuente: Elaboración Propia

10.4.1.3 Escenario 3

Los resultados de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros desarrollos urbanos considerando ahora la introducción de sistemas comunitarios de calefacción (calefacción distrital) se muestran en la tabla 10.17. Se estimó que con la introducción de sistemas de calefacción distrital en los futuros proyectos inmobiliarios evaluados, se

estaría consumiendo 13.531 ton/año de biomasa para calefacción y agua caliente de las viviendas bajo el escenario 2 de consumo de calefacción. Se estimó que las emisiones de las calderas de biomasa con sistemas de filtro de partículas y con una eficiencia de 90% emitirían en total 3,1 ton MP10/año y 2,6 ton MP2,5/año. Esto considera una reducción del 99,5% y 99,4% de emisiones de material particulado respirable (MP10) y fino (MP2,5) al distribuir calor mediante un sistema centralizado y controlado de combustión.

Las emisiones de MP y otro contaminantes podrían aumentar dependiendo de la tasa de operación de los sistemas de calefacción (horas de operación). También podrían variar las emisiones de material particulado y otros contaminantes dependiendo de la calidad del combustible (poder calorífico y humedad), o de la configuración del sistema de control de partículas a implementar para tratar los gases de la caldera principal. Además, estas estimaciones no consideran los procesos de encendido y apagado de caldera de biomasa.

| Nombre proyecto | Número viviendas | (ton/año) | | | | | | |
|-----------------------|------------------|--------------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|-----------------|
| | | Consumo de biomasa | MP10 | MP2,5 | CO | NOx | COV | SO ₂ |
| Condominio Bellavista | 46 | 203,9 | 0,1 | 0,1 | 0,8 | 0,6 | 0,1 | 0,1 |
| Conjunto Las Palmas | 315 | 1.249,8 | 0,3 | 0,2 | 4,7 | 3,9 | 0,1 | 0,2 |
| Conjunto Reina Luisa | 245 | 798,3 | 0,2 | 0,2 | 3,0 | 2,5 | 0,1 | 0,1 |
| Pila_1 | 382 | 1.416,6 | 0,3 | 0,3 | 5,4 | 4,4 | 0,2 | 0,2 |
| Pila_2 | 349 | 1.291,4 | 0,3 | 0,3 | 4,9 | 4,0 | 0,1 | 0,2 |
| Pila_3 | 360 | 1.334,0 | 0,3 | 0,3 | 5,0 | 4,1 | 0,1 | 0,2 |
| Pila_4 | 256 | 949,4 | 0,2 | 0,2 | 3,6 | 2,9 | 0,1 | 0,1 |
| Quem_9 | 37 | 141,6 | 0,0 | 0,0 | 0,5 | 0,4 | 0,0 | 0,0 |
| Quem_10 | 53 | 200,2 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 0,6 | 0,0 | 0,0 |
| Quem_12 | 56 | 210,7 | 0,0 | 0,0 | 0,8 | 0,7 | 0,0 | 0,0 |
| Quem_13 | 95 | 354,9 | 0,1 | 0,1 | 1,3 | 1,1 | 0,0 | 0,1 |
| Ove_14 | 157 | 585,3 | 0,1 | 0,1 | 2,2 | 1,8 | 0,1 | 0,1 |
| Ove_15 | 116 | 434,1 | 0,1 | 0,1 | 1,6 | 1,3 | 0,0 | 0,1 |
| Ove_16 | 147 | 548,7 | 0,1 | 0,1 | 2,1 | 1,7 | 0,1 | 0,1 |
| Ove_17 | 86 | 321,0 | 0,1 | 0,1 | 1,2 | 1,0 | 0,0 | 0,1 |
| Ove_18 | 136 | 505,4 | 0,1 | 0,1 | 1,9 | 1,6 | 0,1 | 0,1 |
| Ove_19 | 199 | 739,4 | 0,2 | 0,1 | 2,8 | 2,3 | 0,1 | 0,1 |
| Rah_21 | 162 | 602,7 | 0,1 | 0,1 | 2,3 | 1,9 | 0,1 | 0,1 |
| Rah_22 | 163 | 606,8 | 0,1 | 0,1 | 2,3 | 1,9 | 0,1 | 0,1 |
| Rah_23 | 122 | 455,2 | 0,1 | 0,1 | 1,7 | 1,4 | 0,0 | 0,1 |
| Rah_24 | 156 | 581,8 | 0,1 | 0,1 | 2,2 | 1,8 | 0,1 | 0,1 |
| Total | 3.637 | 13.531,4 | 3,1 | 2,6 | 51,2 | 41,8 | 1,5 | 2,1 |

Tabla 10.17: Emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo Escenario 3

Fuente: Elaboración Propia

10.4.2 Impacto en la Calidad del Aire de las Emisiones de los Sistemas de Calefacción

A continuación se presentan los resultados de los impactos de las emisiones de los tres escenarios de calefacción evaluados para los futuros proyectos inmobiliarios.

10.4.2.1 Escenario 1

La distribución espacial de las emisiones atmosféricas en el dominio del modelo se muestra en la figura 10.14. Los polígonos representan las fuentes de emisiones de contaminantes del aire para los nuevos proyectos habitacionales en el modelo de dispersión. El detalle de la distribución de las emisiones atmosféricas se presenta en la tabla 10.18. Cabe recordar, que esas emisiones corresponden a la distribución de la suma de todas las emisiones de los calefactores a leña de los hogares, por unidad de superficie del proyecto inmobiliario representando una fuente de área.

Los resultados del aporte de las emisiones de material particulado y otros contaminantes generados por combustión residencial de leña de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1 se presentan a continuación. Esto corresponde al aporte a los niveles ambientales en los receptores seleccionados dentro de la comuna de Osorno (incluye la ubicación de la actual estación de monitoreo de calidad del aire de la ciudad, receptor 21). Las tablas 10.19 y 10.20 muestran el aporte promedio anual y máximo promedio de 24 horas en los distintos receptores para los contaminantes MP10, MP2,5, CO y COV.

Como se puede apreciar existe un aporte de contaminación significativo por concepto de introducción de calefactores convencionales a leña en los futuros desarrollos urbanos de la ciudad. El aporte varía según el receptor dependiendo de la ubicación y distancia de éstos en relación los futuros proyectos inmobiliarios que se proyectaron como referencia para la ciudad de Osorno.

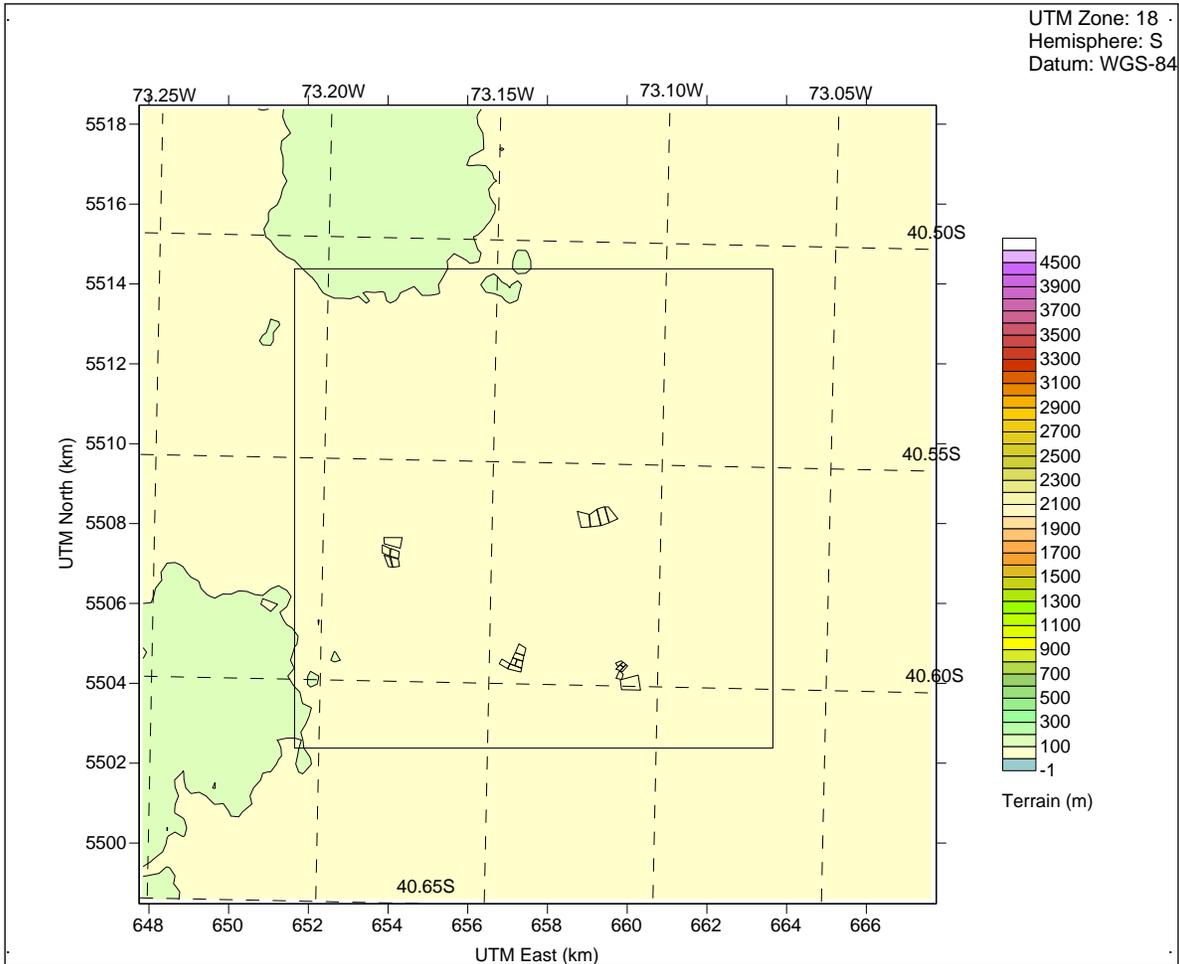


Figura 10.: Distribución de las emisiones de MP y otro contaminantes dentro del dominio del modelo para las proyecciones de futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Osorno

Fuente: Elaboración propia

| Nombre proyecto | Número viviendas | (ton/m ² /año) | | | | | |
|-----------------------|------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| | | MP10 | MP2,5 | CO | NOx | COV | SO ₂ |
| Condominio Bellavista | 46 | 7,2E-04 | 7,0E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,0E-03 | 3,2E-06 |
| Conjunto Las Palmas | 315 | 4,5E-04 | 4,4E-04 | 6,4E-03 | 1,4E-05 | 2,5E-03 | 2,0E-06 |
| Conjunto Reina Luisa | 245 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Pila_1 | 382 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Pila_2 | 349 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Pila_3 | 360 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Pila_4 | 256 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Quem_9 | 37 | 7,2E-04 | 7,0E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,0E-03 | 3,2E-06 |
| Quem_10 | 53 | 7,2E-04 | 7,0E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,0E-03 | 3,2E-06 |
| Quem_12 | 56 | 7,2E-04 | 7,0E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,0E-03 | 3,2E-06 |
| Quem_13 | 95 | 7,2E-04 | 7,0E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,0E-03 | 3,2E-06 |
| Ove_14 | 157 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Ove_15 | 116 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Ove_16 | 147 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Ove_17 | 86 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Ove_18 | 136 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Ove_19 | 199 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Rah_21 | 162 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Rah_22 | 163 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Rah_23 | 122 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |
| Rah_24 | 156 | 7,3E-04 | 7,1E-04 | 1,0E-02 | 2,2E-05 | 4,1E-03 | 3,2E-06 |

Tabla 10.18: Distribución de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración Propia

| Receptor | Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Aporte a la concentración ambiental de MP2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|-----------------|--|----------------|---|----------------|
| | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | Max promedio 24 hrs | Promedio anual |
| 1 | 36,1 | 4,4 | 35,3 | 4,3 |
| 2 | 69,5 | 9,5 | 67,7 | 9,3 |
| 3 | 71,8 | 11,5 | 70,0 | 11,3 |
| 4 | 64,7 | 7,7 | 63,1 | 7,5 |
| 5 | 35,2 | 6,3 | 34,7 | 6,1 |
| 6 | 30,2 | 4,8 | 29,6 | 4,7 |
| 7 | 28,8 | 5,1 | 28,1 | 5,0 |
| 8 | 34,5 | 5,7 | 34,3 | 5,6 |
| 9 | 45,7 | 5,9 | 45,2 | 5,8 |
| 10 | 24,8 | 4,0 | 24,4 | 4,0 |
| 11 | 35,4 | 4,5 | 35,3 | 4,4 |
| 12 | 22,2 | 5,0 | 21,9 | 4,9 |
| 13 | 56,4 | 11,5 | 54,9 | 11,2 |
| 14 | 28,1 | 4,6 | 27,5 | 4,5 |
| 15 | 31,2 | 5,6 | 30,5 | 5,5 |
| 16 | 42,1 | 6,8 | 41,0 | 6,6 |
| 17 | 40,4 | 9,8 | 39,4 | 9,6 |
| 18 | 72,6 | 17,9 | 70,7 | 17,4 |
| 19 | 41,6 | 9,7 | 40,6 | 9,5 |
| 20 | 45,0 | 10,1 | 43,8 | 9,8 |
| 21-Est | 39,2 | 10,7 | 38,2 | 10,5 |
| Promedio | 42,6 | 7,7 | 41,7 | 7,5 |

Tabla 10.19: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

| Receptor | Aporte a la concentración ambiental de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | Aporte a la concentración ambiental de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|-----------------|--|----------------|---|----------------|
| | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | Max promedio 24 hrs | Promedio anual |
| 1 | 513,8 | 63,4 | 220,3 | 26,1 |
| 2 | 983,0 | 135,3 | 435,3 | 58,8 |
| 3 | 1017,5 | 164,1 | 452,2 | 71,8 |
| 4 | 915,9 | 109,0 | 405,5 | 47,3 |
| 5 | 511,5 | 89,2 | 200,3 | 38,2 |
| 6 | 430,7 | 68,6 | 184,6 | 28,8 |
| 7 | 409,3 | 73,7 | 178,8 | 31,1 |
| 8 | 514,1 | 82,2 | 197,3 | 34,5 |
| 9 | 674,1 | 84,7 | 264,4 | 35,3 |
| 10 | 374,4 | 59,8 | 150,3 | 23,1 |
| 11 | 528,8 | 65,6 | 203,6 | 25,9 |
| 12 | 324,5 | 72,7 | 133,2 | 30,0 |
| 13 | 795,5 | 163,8 | 356,9 | 71,5 |
| 14 | 401,4 | 66,7 | 169,2 | 27,9 |
| 15 | 443,4 | 81,2 | 193,5 | 33,9 |
| 16 | 594,9 | 96,7 | 264,4 | 41,4 |
| 17 | 571,4 | 139,0 | 249,9 | 60,1 |
| 18 | 1020,8 | 252,8 | 454,1 | 110,8 |
| 19 | 590,1 | 138,4 | 256,6 | 59,7 |
| 20 | 635,6 | 142,9 | 282,6 | 61,9 |
| 21-Est | 554,6 | 152,0 | 244,0 | 66,0 |
| Promedio | 609,8 | 109,6 | 261,8 | 46,9 |

Tabla 10.20: Resultados de la simulación del aporte de CO y COV de los futuros proyectos inmobiliarios evaluados a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se puede representar gráficamente los aportes de MP10 y MP2.5 de los futuros proyectos inmobiliarios a los niveles ambientales de este contaminante en la ciudad de Osorno. En las figuras siguientes se puede apreciar que las emisiones de los proyectos inmobiliarios en la periferia de la ciudad también afectan la calidad del aire de la zona central de la ciudad, en particular para el promedio de 24 horas y el promedio anual de MP10 y MP2,5. Esto implica que los episodios donde se registran los mayores niveles de concentración de material particulado (MP10 y MP2,5) debido a la intensidad del uso de los calefactores a leña y la menor capacidad de ventilación de la atmosfera empeorarían si continua creciendo el parque de calefactores y cocinas a leña en la ciudad de Osorno debido al desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios.

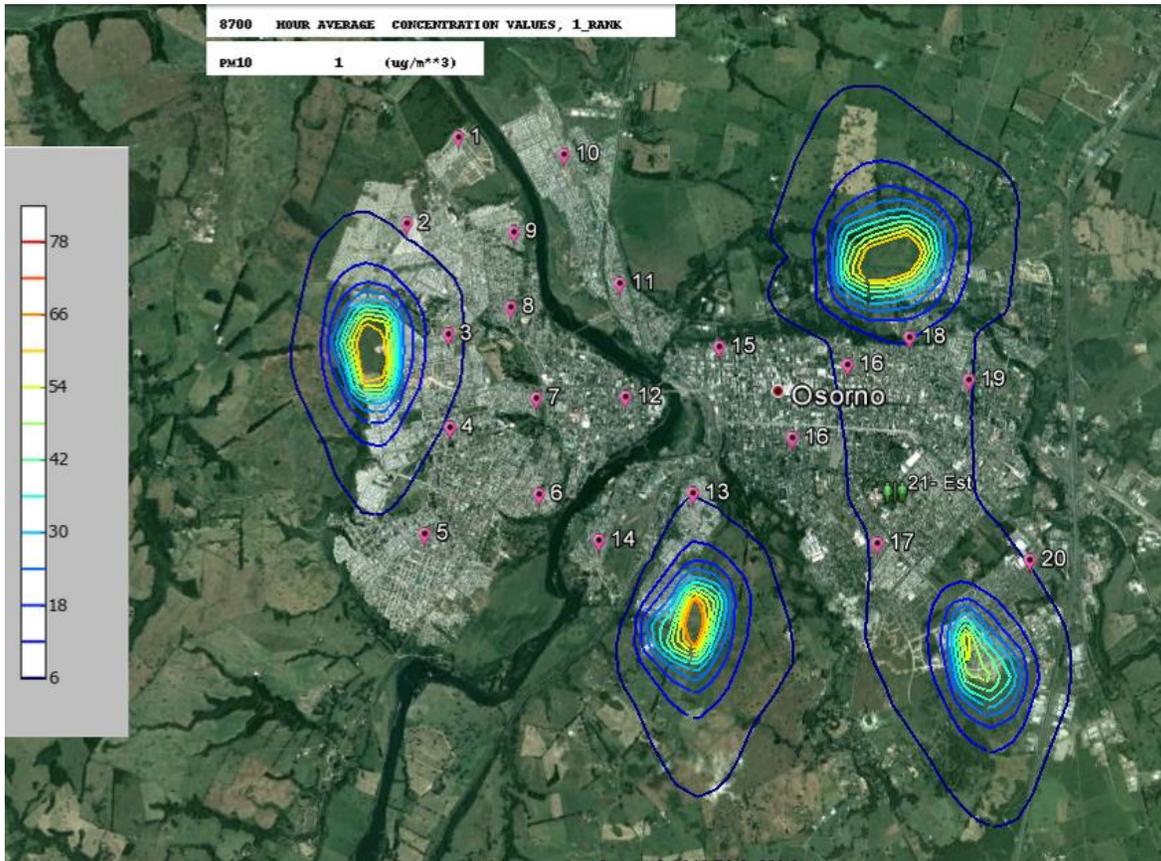


Figura 10.20. Distribución del aporte promedio anual a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

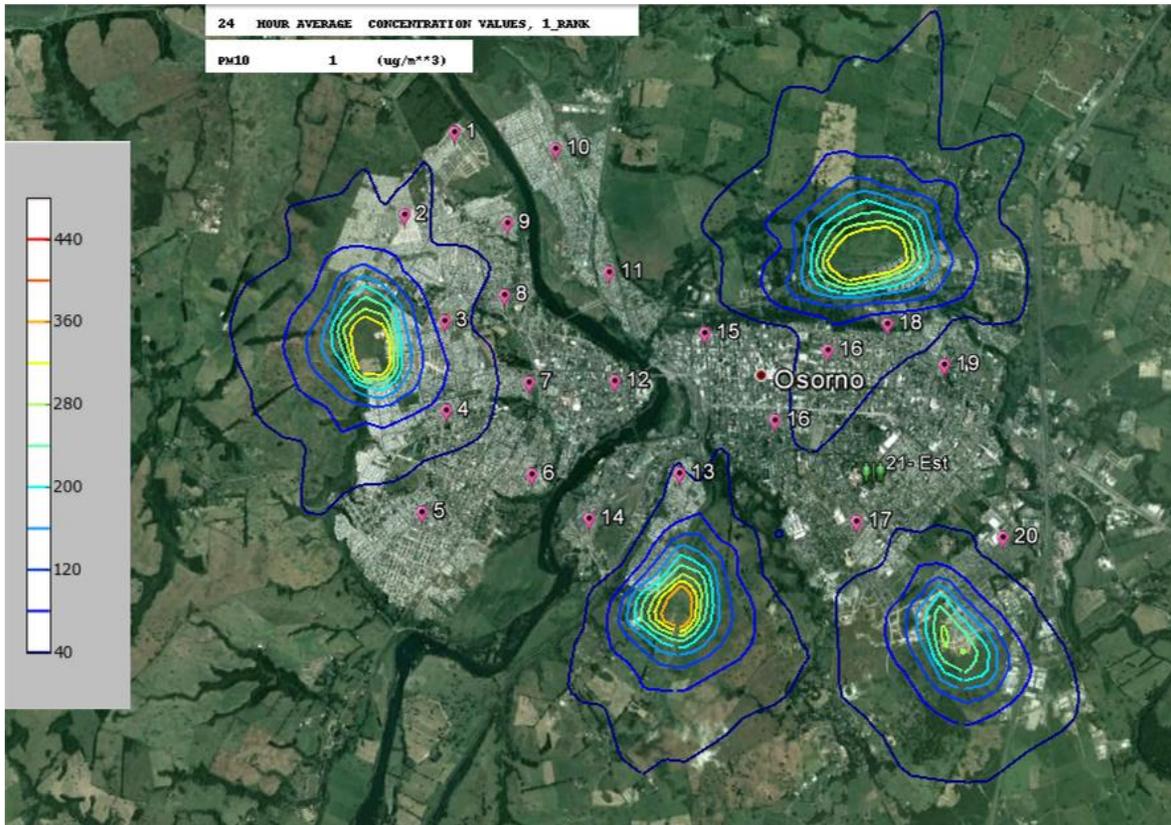


Figura 10.21: Distribución del aporte promedio máximo de 24 hr a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

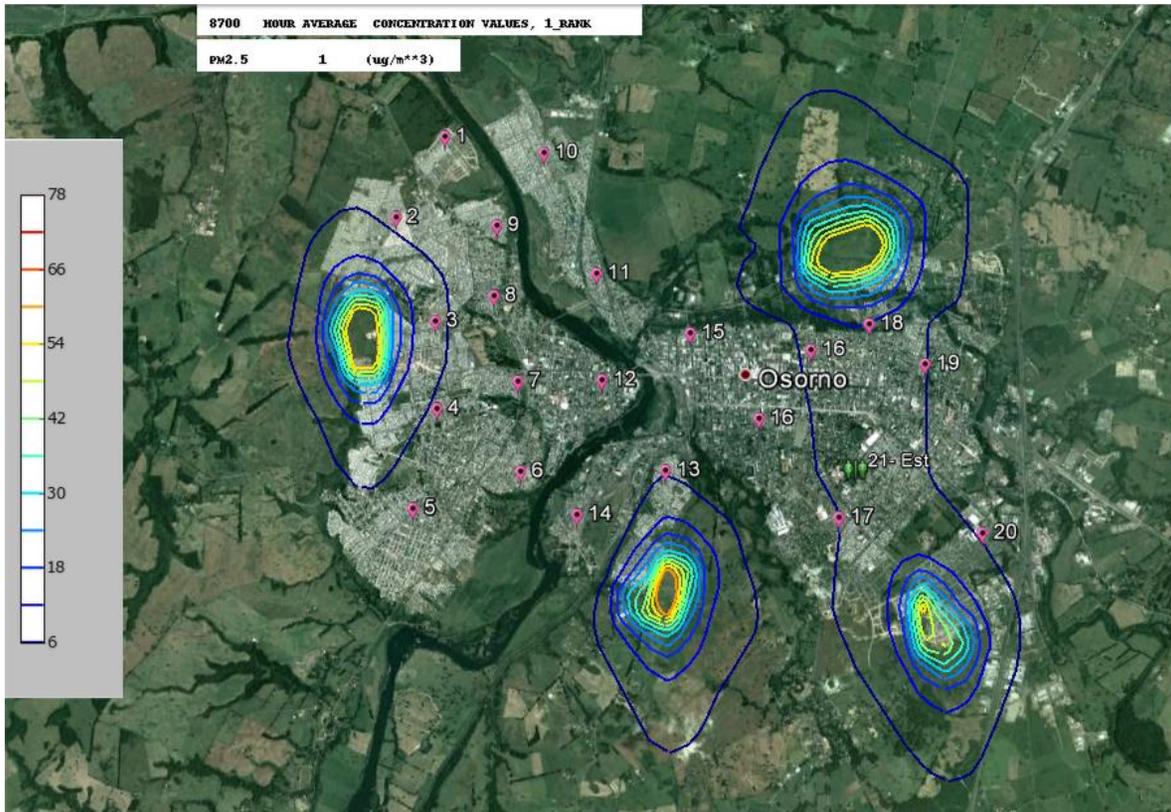


Figura 10.22: Distribución del aporte promedio máximo anual a la concentración ambiental de MP2.5 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración propia

La evolución temporal del aporte promedio diario de MP10 a los niveles ambientales de este contaminante en uno de los receptores (receptor 18) localizados en la ciudad de Osorno se muestra en la figura 10.18. Se puede apreciar que el aporte a los niveles ambientales de MP10 es considerablemente mayor en los meses de invierno, debido a las mayores tasas de emisión de este contaminante del aire y las menores tasas de ventilación de la atmósfera en estos meses.

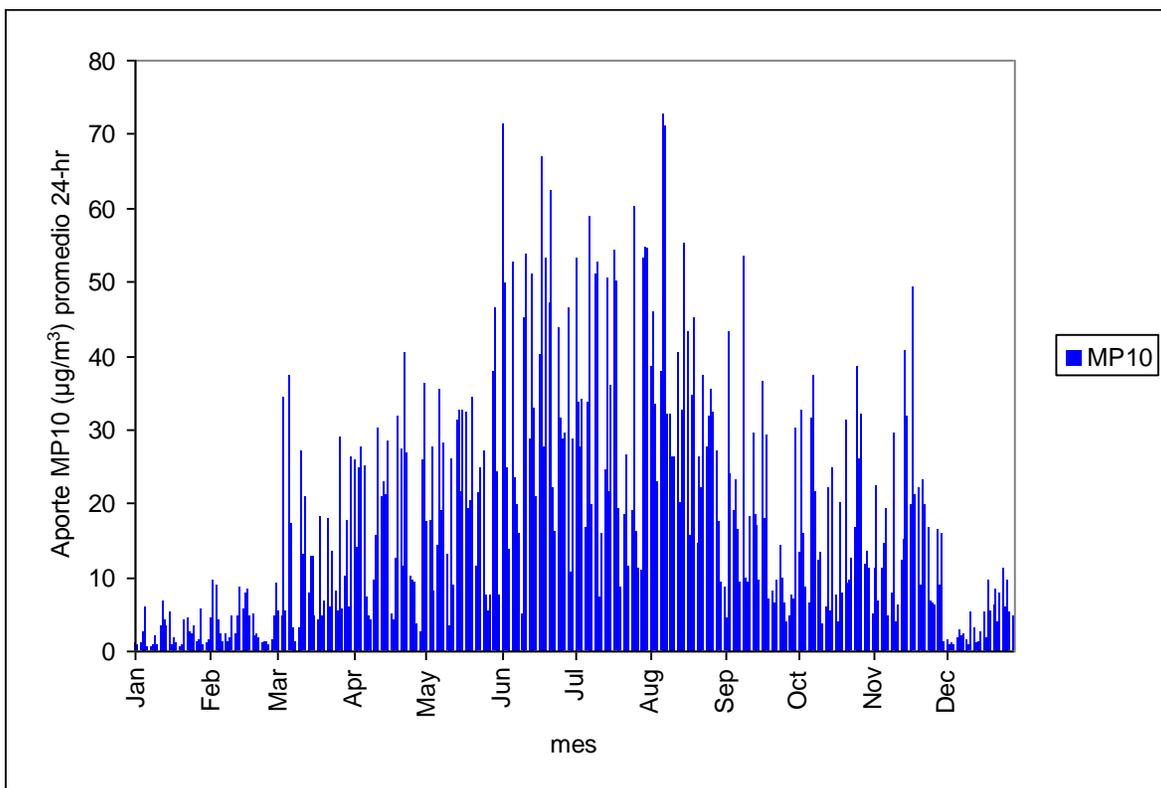


Figura 10.23. Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 1.

Fuente: Elaboración Propia

10.4.2.2 Escenario 2

La distribución espacial de las emisiones atmosféricas en el dominio del modelo es similar al escenario anterior (Escenario 1). Estos polígonos corresponden a la representación para el modelo de dispersión de las emisiones de contaminantes del aire distribuidos dentro de la superficie de futuros proyectos habitacionales. El detalle de la distribución de las emisiones atmosféricas se presenta en la tabla 10.21. Estas emisiones corresponden a la distribución de la suma de todas las emisiones de los calefactores a leña de los hogares, por unidad de superficie del proyecto inmobiliario representando una fuente de área.

Los resultados del aporte de las emisiones de material particulado y otros contaminantes generados por combustión residencial de leña de los futuros proyectos inmobiliarios considerando el cumplimiento del Decreto Supremo 39/2012 se presentan a continuación en la tabla 10.22. Al igual que los resultados del escenario anterior, estos corresponden al

aporte a los niveles ambientales en los receptores seleccionados dentro de la ciudad de Osorno.

| Nombre proyecto | Número viviendas | (ton/m ² /año) | | | | | |
|-----------------------|------------------|---------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------|
| | | MP10 | MP2,5 | CO | NOx | COV | SO ₂ |
| Condominio Bellavista | 46 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,8E-04 | 2,9E-06 |
| Conjunto Las Palmas | 315 | 1,1E-04 | 9,4E-05 | 1,0E-03 | 1,2E-05 | 2,4E-04 | 1,8E-06 |
| Conjunto Reina Luisa | 245 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Pila_1 | 382 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Pila_2 | 349 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Pila_3 | 360 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Pila_4 | 256 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Quem_9 | 37 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,8E-04 | 2,9E-06 |
| Quem_10 | 53 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,8E-04 | 2,9E-06 |
| Quem_12 | 56 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,8E-04 | 2,9E-06 |
| Quem_13 | 95 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,8E-04 | 2,9E-06 |
| Ove_14 | 157 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Ove_15 | 116 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Ove_16 | 147 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Ove_17 | 86 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Ove_18 | 136 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Ove_19 | 199 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Rah_21 | 162 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Rah_22 | 163 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Rah_23 | 122 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |
| Rah_24 | 156 | 1,7E-04 | 1,5E-04 | 1,7E-03 | 2,0E-05 | 3,9E-04 | 2,9E-06 |

Tabla 10.21: Distribución de las emisiones atmosféricas proyectadas para los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2

Fuente: Elaboración Propia

Las tablas 10.22 y 10.23 muestran el aporte de las emisiones al promedio anual y máximo promedio de 24 horas en los distintos receptores para los contaminantes MP10, MP2,5, CO y COV. En estas tablas también se presenta el porcentaje de reducción del impacto de estas emisiones en comparación al Escenario 1, o escenario base.

| Receptor | Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | Aporte a la concentración ambiental de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
|-----------------|--|----------------|---------------------|---|----------------|---------------------|
| | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | % Reducción (Esc 1) | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | % Reducción (Esc 1) |
| 1 | 10,3 | 1,2 | 72% | 9,3 | 1,1 | 74% |
| 2 | 19,9 | 2,7 | | 17,9 | 2,5 | |
| 3 | 20,6 | 3,3 | | 18,5 | 3,0 | |
| 4 | 18,5 | 2,2 | | 16,7 | 2,0 | |
| 5 | 9,8 | 1,8 | | 9,2 | 1,6 | |
| 6 | 8,2 | 1,3 | | 7,8 | 1,2 | |
| 7 | 8,1 | 1,4 | | 7,4 | 1,3 | |
| 8 | 9,8 | 1,6 | | 9,1 | 1,5 | |
| 9 | 13,0 | 1,6 | | 12,0 | 1,5 | |
| 10 | 7,0 | 1,1 | | 6,5 | 1,1 | |
| 11 | 10,0 | 1,2 | | 9,3 | 1,2 | |
| 12 | 6,3 | 1,4 | | 5,8 | 1,3 | |
| 13 | 16,0 | 3,2 | | 14,5 | 3,0 | |
| 14 | 7,8 | 1,3 | | 7,3 | 1,2 | |
| 15 | 8,9 | 1,5 | | 8,1 | 1,5 | |
| 16 | 12,0 | 1,8 | | 10,9 | 1,8 | |
| 17 | 10,0 | 2,4 | | 10,4 | 2,5 | |
| 18 | 20,9 | 4,9 | | 18,7 | 4,6 | |
| 19 | 11,3 | 2,5 | | 10,7 | 2,5 | |
| 20 | 9,9 | 2,0 | | 11,5 | 2,6 | |
| 21 Est | 9,4 | 2,7 | | 10,1 | 2,8 | |
| Promedio | 11,8 | 2,1 | | 11,0 | 2,0 | |

Tabla 10.22: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

| Receptor | Aporte a la concentración ambiental de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | Aporte a la concentración ambiental de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
|-----------------|---|-------------------|---------------------------|--|-------------------|---------------------------|
| | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | % Reducción (Esc 1) | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | % Reducción (Esc 1) |
| 1 | 104,3 | 12,9 | 80% | 22,6 | 2,7 | 90% |
| 2 | 199,6 | 27,5 | | 44,7 | 6,0 | |
| 3 | 206,6 | 33,3 | | 46,5 | 7,4 | |
| 4 | 186,0 | 22,1 | | 41,7 | 4,9 | |
| 5 | 103,9 | 18,1 | | 20,6 | 3,9 | |
| 6 | 87,4 | 13,9 | | 19,0 | 3,0 | |
| 7 | 83,1 | 15,0 | | 18,4 | 3,2 | |
| 8 | 104,4 | 16,7 | | 20,3 | 3,5 | |
| 9 | 136,9 | 17,2 | | 27,2 | 3,6 | |
| 10 | 76,0 | 12,1 | | 15,4 | 2,4 | |
| 11 | 107,4 | 13,3 | | 20,9 | 2,7 | |
| 12 | 65,9 | 14,8 | | 13,7 | 3,1 | |
| 13 | 161,5 | 33,2 | | 36,7 | 7,3 | |
| 14 | 81,5 | 13,6 | | 17,4 | 2,9 | |
| 15 | 90,0 | 16,5 | | 19,9 | 3,5 | |
| 16 | 120,8 | 19,6 | | 27,2 | 4,3 | |
| 17 | 116,0 | 28,2 | | 25,7 | 6,2 | |
| 18 | 207,3 | 51,3 | | 46,7 | 11,4 | |
| 19 | 119,8 | 28,1 | | 26,4 | 6,1 | |
| 20 | 129,0 | 29,0 | | 29,1 | 6,4 | |
| 21- Est | 112,6 | 30,9 | 25,1 | 6,8 | | |
| Promedio | 123,8 | 22,3 | | 26,9 | 4,8 | |

Tabla 10.23: Resultados de la simulación del aporte de CO y COVs de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, existe una reducción importante en el aporte de contaminación por concepto de introducción de calefactores a leña más eficientes y de menor tasa de emisión de MP en los futuros desarrollos urbanos de la ciudad. El aporte también varía según el receptor dependiendo de la ubicación y distancia de éstos en función de la ubicación de los nuevos proyectos inmobiliarios proyectados para la ciudad. Se observó una reducción importante entre el aporte de contaminantes de este escenario de calefacción y la condición base (escenario 1), con un 72% de reducción para MP10, 74% para MP2.5, 80% para CO y un 90% de reducción para los COV.

Por otro lado, la evolución temporal del aporte promedio diario a los niveles ambientales de MP10 en uno de los receptores (receptor 18) en la ciudad de Osorno se muestra en la

figura 10.19. En ella se puede apreciar que el aporte de MP10 se reduce en relación a la condición base (Escenario 1), pero mantiene el mismo patrón de mayores concentraciones de MP10 durante los meses de invierno.

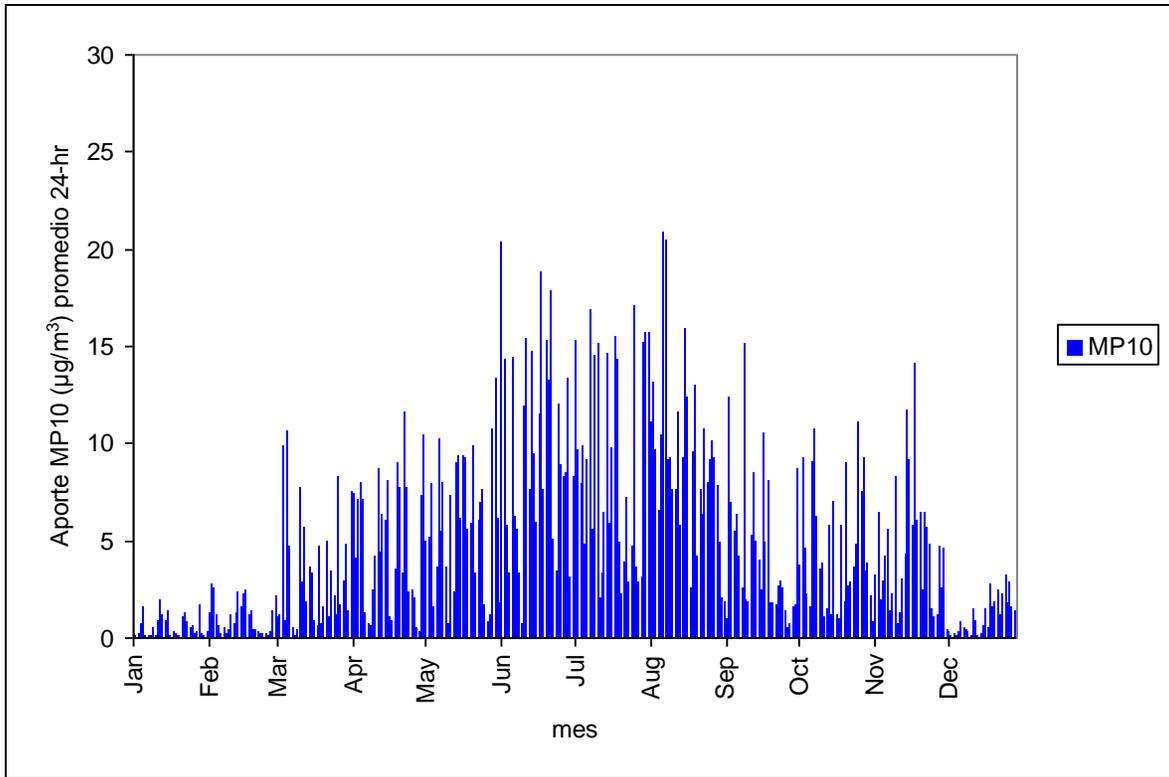


Figura 10.24. Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 2.

Fuente: Elaboración Propia

10.4.2.3 Escenario 3

La distribución espacial de las emisiones atmosféricas en el dominio del modelo se muestra en la figura 10.20. En ella se representan en el modelo de dispersión las fuentes puntuales correspondientes a las centrales térmicas que distribuirían calor a los nuevos proyectos habitacionales. El detalle de las emisiones atmosféricas de los proyectos de calefacción distrital se presenta en la tabla 10.24. Estas emisiones corresponden a las tasas de emisión de los sistemas de calefacción distrital que abastecerían calor a los de los

hogares a los hogares dentro de los futuros proyectos inmobiliarios a desarrollarse en la ciudad de Osorno.

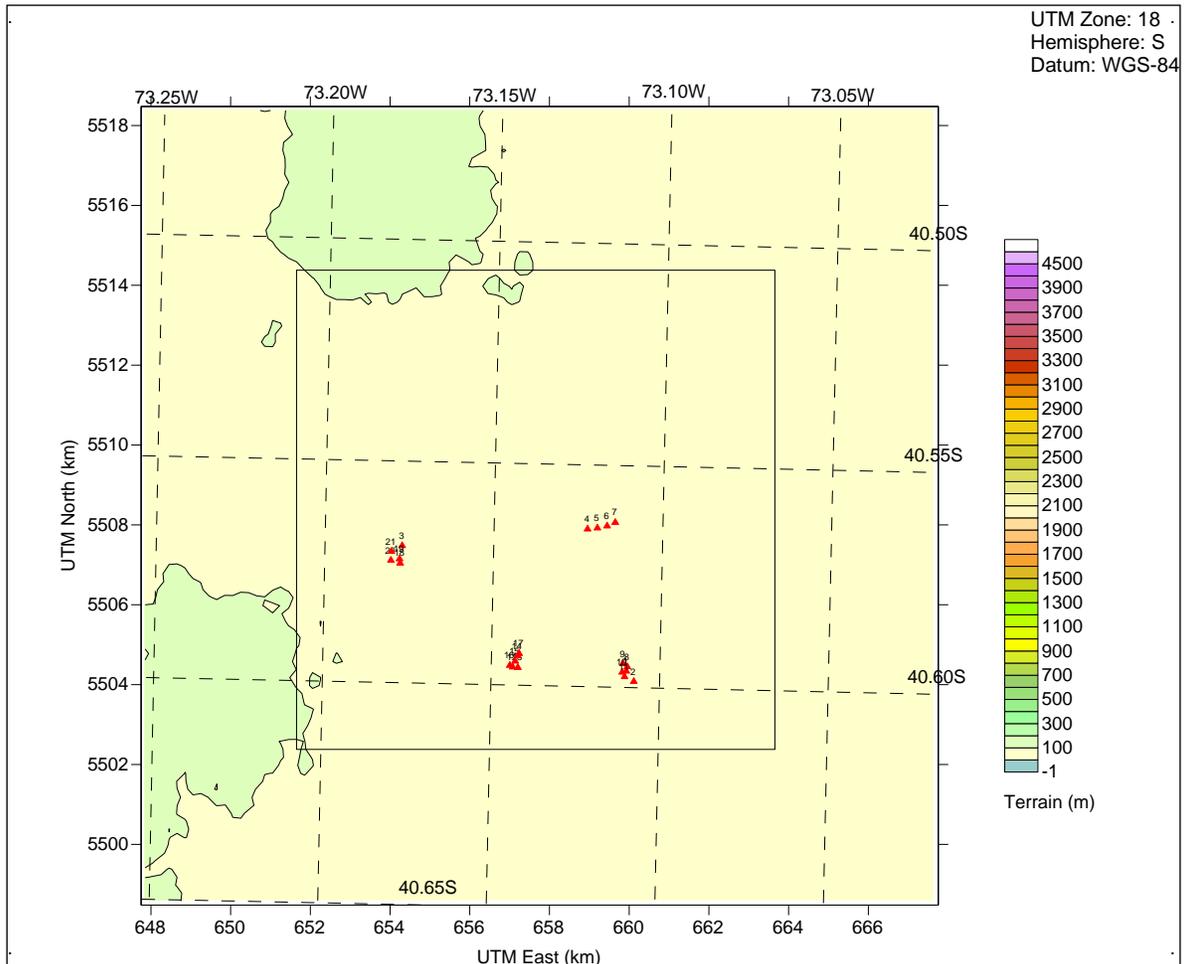


Figura 10.25. Distribución de las emisiones de MP y otro contaminantes dentro del dominio del modelo para las proyecciones de futuros desarrollos inmobiliarios en la ciudad de Osorno.

Fuente: Elaboración propia

Las tasas de emisiones de material particulado y otros contaminantes emitidos por los sistemas de calefacción distrital que entregarían calor a los futuros proyectos inmobiliarios se presentan a continuación. Esta información se utilizó para estimar el aporte de las emisiones de los sistemas de calefacción a los niveles ambientales de los

contaminantes evaluados en los receptores seleccionados dentro de la comuna de Osorno.

| Nombre proyecto | Número viviendas | Tasa de emisión (kg/hr) | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------------------|-------|------|------|------|------|
| | | MP10 | MP2,5 | NOx | SO2 | COV | CO |
| Condominio Bellavista | 46 | 0,04 | 0,03 | 0,55 | 0,03 | 0,02 | 0,67 |
| Conjunto Las Palmas | 315 | 0,21 | 0,19 | 2,93 | 0,15 | 0,10 | 3,58 |
| Conjunto Reina Luisa | 245 | 0,12 | 0,10 | 1,66 | 0,08 | 0,06 | 2,03 |
| Pila_1 | 382 | 0,23 | 0,20 | 3,18 | 0,16 | 0,11 | 3,89 |
| Pila_2 | 349 | 0,21 | 0,18 | 2,90 | 0,15 | 0,10 | 3,55 |
| Pila_3 | 360 | 0,22 | 0,19 | 3,00 | 0,15 | 0,10 | 3,67 |
| Pila_4 | 256 | 0,16 | 0,14 | 2,15 | 0,11 | 0,07 | 2,63 |
| Quem_9 | 37 | 0,03 | 0,02 | 0,37 | 0,02 | 0,01 | 0,45 |
| Quem_10 | 53 | 0,04 | 0,03 | 0,50 | 0,03 | 0,02 | 0,61 |
| Quem_12 | 56 | 0,04 | 0,03 | 0,52 | 0,03 | 0,02 | 0,64 |
| Quem_13 | 95 | 0,06 | 0,05 | 0,84 | 0,04 | 0,03 | 1,03 |
| Ove_14 | 157 | 0,10 | 0,09 | 1,35 | 0,07 | 0,05 | 1,65 |
| Ove_15 | 116 | 0,07 | 0,06 | 1,01 | 0,05 | 0,04 | 1,24 |
| Ove_16 | 147 | 0,09 | 0,08 | 1,26 | 0,06 | 0,04 | 1,55 |
| Ove_17 | 86 | 0,06 | 0,05 | 0,76 | 0,04 | 0,03 | 0,93 |
| Ove_18 | 136 | 0,09 | 0,07 | 1,17 | 0,06 | 0,04 | 1,43 |
| Ove_19 | 199 | 0,12 | 0,11 | 1,69 | 0,09 | 0,06 | 2,06 |
| Rah_21 | 162 | 0,10 | 0,09 | 1,38 | 0,07 | 0,05 | 1,69 |
| Rah_22 | 163 | 0,10 | 0,09 | 1,39 | 0,07 | 0,05 | 1,71 |
| Rah_23 | 122 | 0,08 | 0,07 | 1,06 | 0,05 | 0,04 | 1,30 |
| Rah_24 | 156 | 0,10 | 0,08 | 1,34 | 0,07 | 0,05 | 1,64 |

Tabla 10.24: Tasas de emisión de contaminantes atmosféricas proyectadas para los sistemas de distribución de calor de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario

3

Fuente: Elaboración Propia

Las tablas 10.24 y 10.25 muestran el resumen del aporte de las emisiones al promedio anual y máximo promedio de 24 horas en los distintos receptores para los contaminantes

MP10, MP2,5, CO y COV. Esto representa el impacto en la calidad del aire que genera las emisiones de los sistemas de calefacción comunitarios a desarrollar en los futuros proyectos inmobiliarios. En estas tablas también se presenta el porcentaje de reducción del impacto de estas emisiones en comparación al Escenario 1, o escenario base.

| Receptor | Aporte a la concentración ambiental de MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | Aporte a la concentración ambiental de MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
|-----------------|--|----------------|---------------------|---|----------------|---------------------|
| | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | % Reducción (Esc 1) | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | % Reducción (Esc 1) |
| 1 | 1,63 | 0,18 | 97% | 1,42 | 0,16 | 96% |
| 2 | 2,06 | 0,29 | | 1,76 | 0,25 | |
| 3 | 1,47 | 0,28 | | 1,29 | 0,24 | |
| 4 | 1,55 | 0,26 | | 1,36 | 0,22 | |
| 5 | 1,43 | 0,28 | | 1,24 | 0,24 | |
| 6 | 1,26 | 0,19 | | 1,11 | 0,16 | |
| 7 | 1,29 | 0,19 | | 1,12 | 0,17 | |
| 8 | 1,60 | 0,21 | | 1,42 | 0,19 | |
| 9 | 1,99 | 0,23 | | 1,73 | 0,20 | |
| 10 | 0,89 | 0,15 | | 0,80 | 0,13 | |
| 11 | 1,19 | 0,17 | | 1,07 | 0,15 | |
| 12 | 0,92 | 0,18 | | 0,82 | 0,15 | |
| 13 | 2,06 | 0,38 | | 1,80 | 0,33 | |
| 14 | 1,06 | 0,14 | | 0,94 | 0,12 | |
| 15 | 1,31 | 0,18 | | 1,15 | 0,16 | |
| 16 | 1,38 | 0,23 | | 1,21 | 0,20 | |
| 17 | 1,71 | 0,39 | | 1,46 | 0,33 | |
| 18 | 1,34 | 0,34 | | 1,16 | 0,29 | |
| 19 | 1,27 | 0,31 | | 1,11 | 0,27 | |
| 20 | 1,71 | 0,36 | | 1,47 | 0,30 | |
| 21 Est | 1,65 | 0,42 | | 1,42 | 0,36 | |
| Promedio | 1,47 | 0,25 | | 1,28 | 0,22 | |

Tabla 10.25: Resultados de la simulación del aporte de MP10 y MP2,5 de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia

| Receptor | Aporte a la concentración ambiental de CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | | Aporte a la concentración ambiental de COV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | |
|-----------------|---|-------------------|---------------------------|--|-------------------|---------------------------|
| | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | % Reducción (Esc 1) | Max promedio 24 hrs | Promedio anual | % Reducción (Esc 1) |
| 1 | 28,0 | 3,1 | 96% | 0,77 | 0,08 | 99% |
| 2 | 34,6 | 5,0 | | 1,00 | 0,14 | |
| 3 | 25,0 | 4,7 | | 0,72 | 0,13 | |
| 4 | 27,0 | 4,4 | | 0,72 | 0,12 | |
| 5 | 24,1 | 4,7 | | 0,70 | 0,13 | |
| 6 | 22,3 | 3,2 | | 0,59 | 0,09 | |
| 7 | 22,1 | 3,3 | | 0,61 | 0,09 | |
| 8 | 28,5 | 3,7 | | 0,69 | 0,10 | |
| 9 | 34,8 | 4,0 | | 0,91 | 0,11 | |
| 10 | 16,6 | 2,6 | | 0,35 | 0,06 | |
| 11 | 22,0 | 3,0 | | 0,50 | 0,07 | |
| 12 | 16,8 | 3,1 | | 0,41 | 0,08 | |
| 13 | 35,0 | 6,5 | | 1,00 | 0,18 | |
| 14 | 19,2 | 2,5 | | 0,44 | 0,06 | |
| 15 | 23,0 | 3,2 | | 0,56 | 0,08 | |
| 16 | 24,6 | 4,0 | | 0,62 | 0,11 | |
| 17 | 29,4 | 6,6 | | 0,76 | 0,18 | |
| 18 | 22,3 | 5,7 | | 0,61 | 0,15 | |
| 19 | 21,7 | 5,3 | | 0,57 | 0,14 | |
| 20 | 29,4 | 6,0 | | 0,77 | 0,16 | |
| 21 Est | 27,9 | 7,0 | | 0,78 | 0,19 | |
| Promedio | 25,4 | 4,4 | | 0,67 | 0,12 | |

Tabla 10.26: Resultados de la simulación del aporte de CO y COVs de los futuros proyectos inmobiliarios a los receptores ubicados dentro de la ciudad de Osorno bajo el Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, existe una reducción aun mayor (mayor que el Escenario 2) en el aporte de contaminación por concepto de introducción de sistemas de calefacción distrital en los futuros desarrollos urbanos de la ciudad de Osorno. El aporte varía según el receptor dependiendo de la ubicación y distancia de éstos en función de la ubicación de los nuevos proyectos inmobiliarios que se podrían desarrollar en la ciudad.

Se observó una reducción importante entre el aporte de contaminantes de este escenario de calefacción y la condición base (escenario 1), con un 97% de reducción para MP10, 96% para MP2,5, 96% para CO y un 99% de reducción para los COV. La representación gráfica de los aportes de los sistemas de calefacción distrital a los niveles ambientales de MP10 y MP2.5 en la ciudad de Osorno se muestra en las figuras 10.21 a la 10.23. Se puede

apreciar que aporte promedio anual y el máximo aporte diario de MP10 y MP2,5 es significativamente más bajo, incluso durante los meses de invierno, donde se registran los mayores niveles de concentración de estos contaminantes debido a la mayor intensidad en el uso de la calefacción y la menor capacidad de ventilación de la atmósfera.

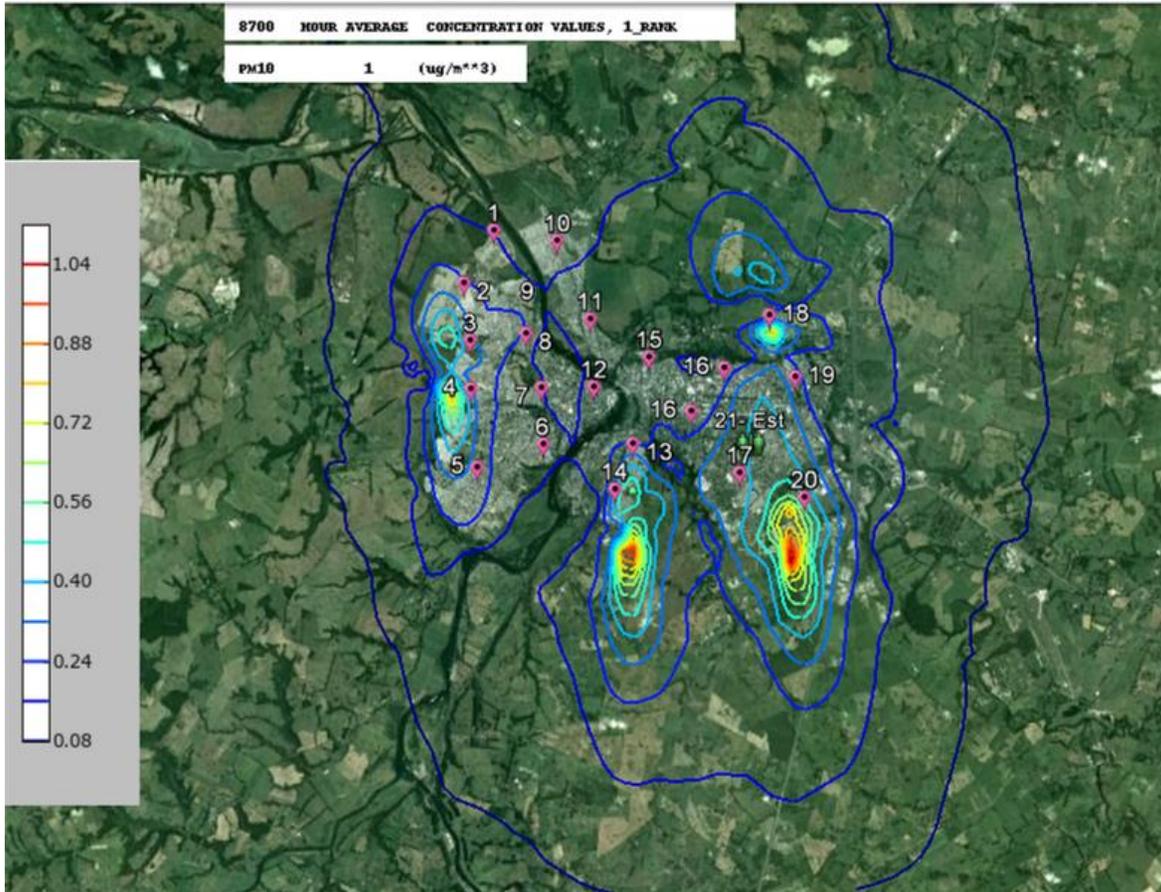


Figura 10.26. Distribución del aporte promedio anual a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia

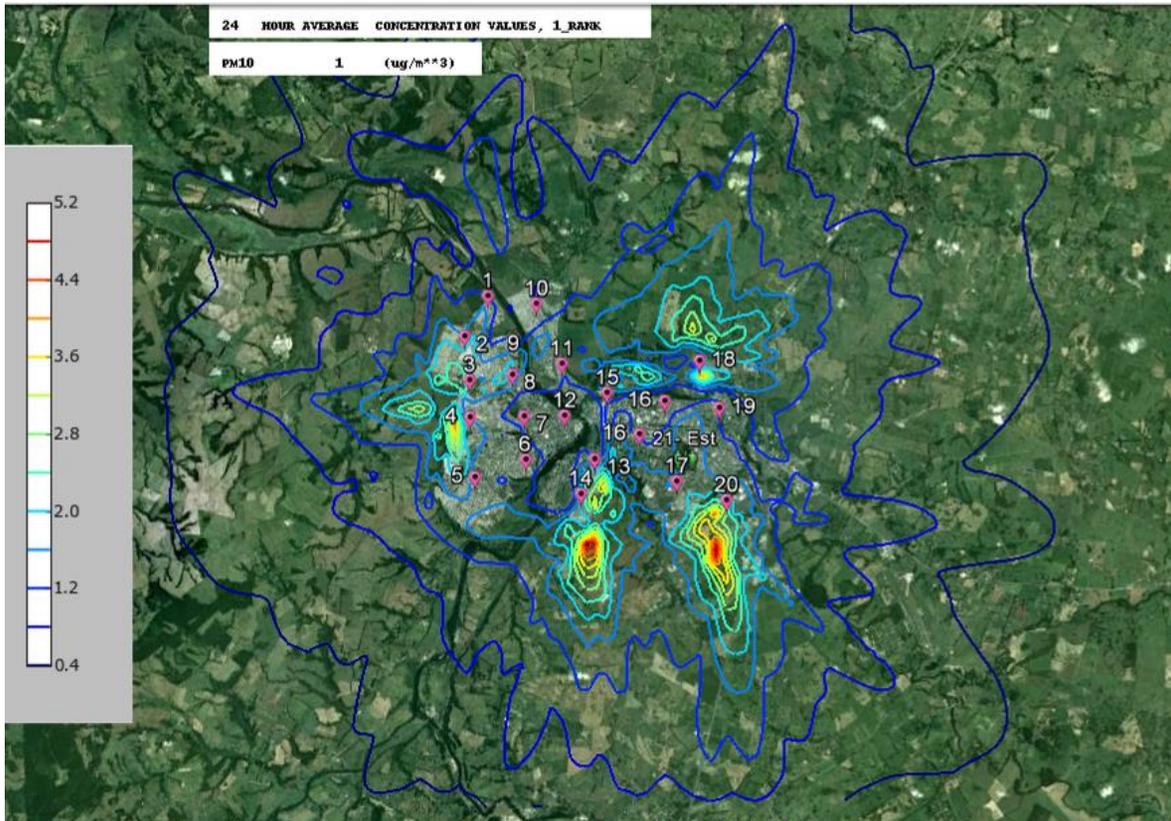


Figura 10.27: Distribución del aporte promedio máximo de 24 hr a la concentración ambiental de MP10 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia

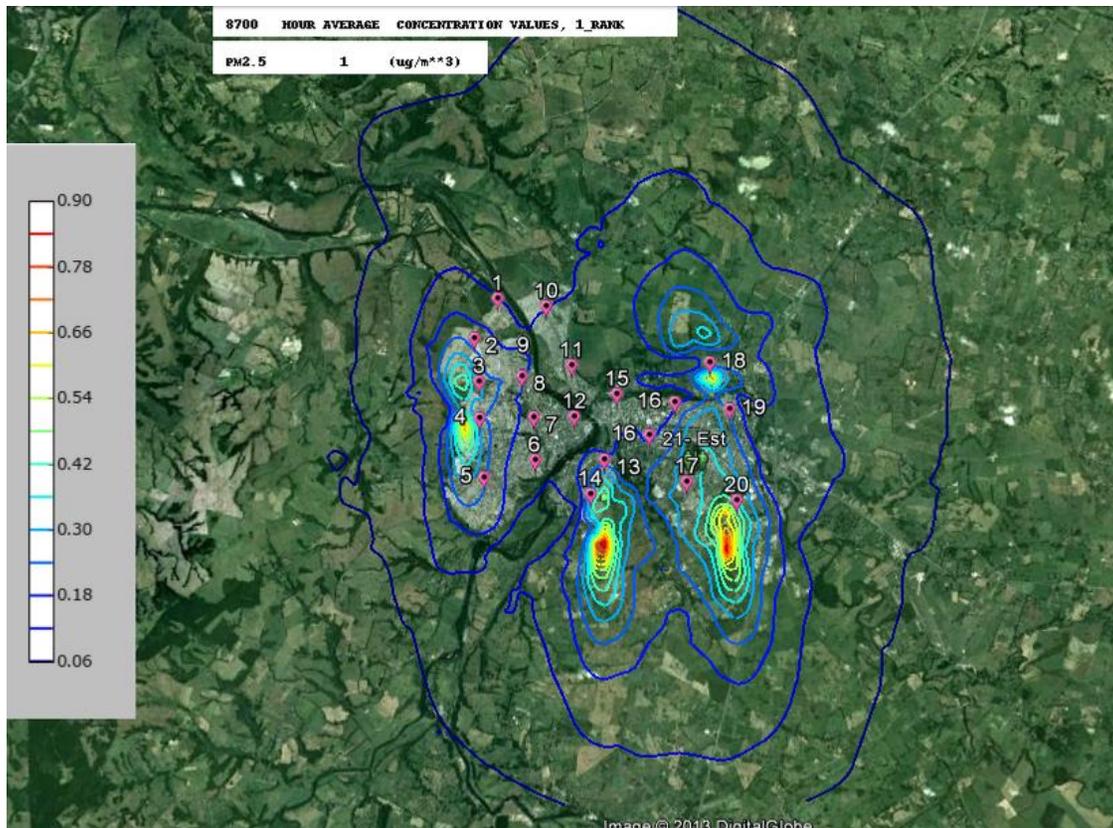


Figura 10.28: Distribución del aporte promedio máximo anual a la concentración ambiental de MP2.5 por combustión residencial de leña desde futuros proyectos inmobiliarios en Osorno bajo el Escenario 3.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la evolución temporal del aporte promedio diario de MP10 a los niveles ambientales de este contaminante en la ciudad de Osorno (receptor 18) se muestra en la figura 10.24. En ella también se puede apreciar que el aporte de MP10 aumenta en los meses de invierno, debido a la mayor utilización de la calefacción y las menores tasas de ventilación de los meses invernales. Sin embargo, este aporte es considerablemente menor al los niveles ambientales de MP10 aportados por los escenarios 1 y 2 de calefacción.

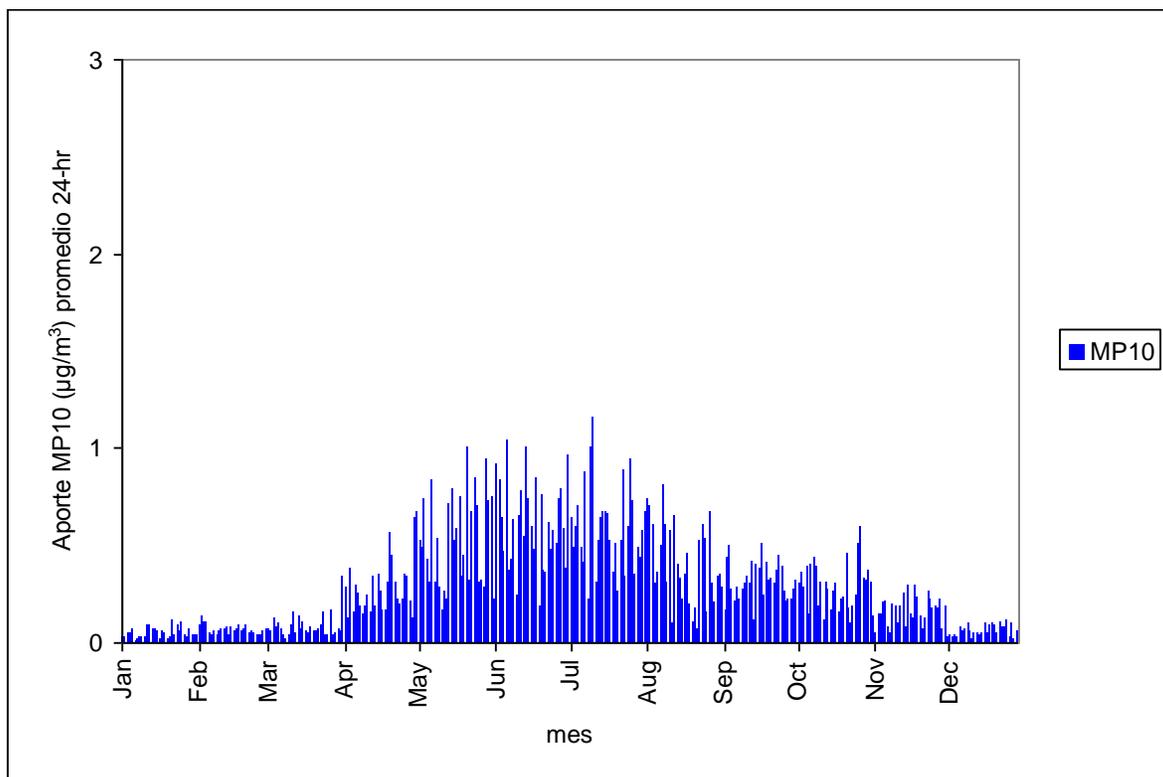


Figura 10.29. Variación estacional del aporte promedio diario de MP10 de las emisiones atmosféricas de los futuros proyectos inmobiliarios bajo el Escenario 3.

Fuente: Elaboración Propia

10.4.2.4 Beneficios Directos en Salud por la Reducción de la Concentración Ambiental de Material Particulado

La reducción de las emisiones de MP10 y su efecto en los niveles ambientales de este contaminante en la aire fue utilizado como base para estimar los beneficios económicos de las alternativas de desarrollo de nuevos proyectos inmobiliarios bajo los escenarios 2 y 3.

Bajo el escenario base (Escenario 1) de desarrollo de nuevas casas en Osorno sin medidas tecnológicas de reducción de emisiones podría incrementar el promedio anual de las concentraciones ambientales de MP10 en $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Con la incorporación de estufas que cumplan la normativa (D.S. 39/2012) (Escenario 2) el aporte a las concentraciones podría reducirse en un 72%, mientras con la alternativa de calefacción distrital (Escenario 3) se

podrían reducir en un 97% el aporte del escenario base que representa la condición sin intervención.

Los escenarios 2 y 3 evaluados en el informe para reducir el potencial aporte de las emisiones de los futuros proyectos inmobiliarios a las concentraciones ambientales de material particulado en la ciudad de Osorno, a su vez se traducen en una disminución del número de casos en la morbilidad y mortalidad al aplicar las funciones concentración-respuesta a la población expuesta de Osorno. La estimación de efectos en la salud producto de la reducción 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.

Para estimar los beneficios sociales de los efectos en salud se utilizó el método de la función de daño. La reducción de las emisiones de MP10 a través de las distintas medidas presentadas en este informe se modelaron con CALPUFF para obtener los efectos marginales en las concentraciones de MP10. Los beneficios para la salud totales fueron actualizados mediante la variación del IPC hasta el año 2012. La información base que se origina del Escenario 1 de calefacción se muestra en la tabla a continuación.

| Resumen Beneficios Medida Cambio Equipos MM\$ | Año | | | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Mortalidad Prematura | 835,5 | 835,6 | 835,8 | 836,0 | 836,2 | 836,3 | 836,5 | 836,7 | 836,8 | 837,0 | 837,2 | 837,4 |
| Adm Hosp. Respiratoria | 1412,7 | 1413,0 | 1413,3 | 1413,5 | 1413,8 | 1414,1 | 1414,4 | 1414,7 | 1415,0 | 1415,3 | 1415,6 | 1415,9 |
| Adm Hosp. Cardiovascular | 408,1 | 408,1 | 408,2 | 408,3 | 408,4 | 408,5 | 408,6 | 408,6 | 408,7 | 408,8 | 408,9 | 409,0 |
| Adm. Hosp. Asma | 24,9 | 24,9 | 24,9 | 24,9 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 | 25,0 |
| Total | 835,5 | 835,6 | 835,8 | 836,0 | 836,2 | 836,3 | 836,5 | 836,7 | 836,8 | 837,0 | 837,2 | 837,4 |

Tabla 10.27: Efectos Base para Osorno (Millones de pesos, MM\$ año 2012)

Fuente: Elaboración Propia

En las tablas 10.28 y 10.29 se presentan los resúmenes de los beneficios para la salud totales fueron actualizados mediante la variación del IPC hasta el año 2012, para el Escenario 2 de calefacción (tabla 10.28) y el Escenario 3 de calefacción distrital (tabla 10.29).

| Resumen Beneficios | Año | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Medida Cambio Equipos MM\$ | | | | | | | | | | | | |
| Mortalidad Prematura | 1613,6 | 3227,8 | 4842,7 | 6458,3 | 8074,5 | 9691,4 | 11309,0 | 12927,2 | 14546,0 | 16165,6 | 16168,9 | 16172,2 |
| Adm Hosp. Respiratoria | 2,9 | 5,8 | 8,7 | 11,5 | 14,4 | 17,3 | 20,2 | 23,1 | 26,0 | 28,9 | 28,9 | 28,9 |
| Adm Hosp. Cardiovascular | 0,9 | 1,9 | 2,8 | 3,7 | 4,6 | 5,6 | 6,5 | 7,4 | 8,4 | 9,3 | 9,3 | 9,3 |
| Adm. Hosp. Asma | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| Total | 1617,4 | 3235,5 | 4854,3 | 6473,7 | 8093,8 | 9714,5 | 11335,9 | 12957,9 | 14580,7 | 16204,0 | 16207,4 | 16210,7 |

Tabla 10.28: Cálculo de Beneficios Totales para la Salud Escenario 2 con Equipos a Leña que Cumplen la Norma (Millones de pesos, MM\$ año 2012)

Fuente: Elaboración Propia

| Resumen Beneficios | Año | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
| Medida Calefacción Distrital MM\$ | | | | | | | | | | | | |
| Mortalidad Prematura | 2173,9 | 4348,6 | 6524,2 | 8700,8 | 10878,2 | 13056,5 | 15235,7 | 17415,8 | 19596,7 | 21778,6 | 21783,0 | 21787,5 |
| 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 |
| Total | 2179,0 | 4359,0 | 6539,8 | 8721,5 | 10904,1 | 13087,6 | 15272,0 | 17457,2 | 19643,4 | 21830,5 | 21834,9 | 21839,4 |

Tabla 10.29: Cálculo de Beneficios Totales para la Salud Escenario 3 con Calefacción Distrital (Millones de pesos, MM\$ año 2012)

Fuente: Elaboración Propia

La evaluación económica desde una perspectiva social de las medidas analizadas se realiza con el indicador de VAN Social. Esta metodología ajusta los precios privados a precios sociales (o precios sombra) a través de factores de ajuste estimados por MIDEPLAN. Por ejemplo, a través de la utilización de la tasa de descuento social de 6%, pero además cuantifica las externalidades positivas a través de la estimación de los beneficios sociales atribuibles a la reducción en las concentraciones, los cuales están principalmente relacionados a la reducción de muertes prematuras. De las tablas anteriores se desprende que el VAN social asociado al escenario de utilización de equipos a leña que cumplen con la normativa (Escenario 2) alcanza un valor de \$72.119,8 millones, mientras el VAN social asociado a la utilización de calefacción distrital (Escenario 3) alcanza un valor de \$102.991,1 millones. Cabe destacar que estos beneficios son directos en salud, y no se ha considerado otros posibles beneficios indirectos para la población.

10.5 Conclusiones

Se evaluaron tres escenarios de calefacción para los futuros proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno considerando alternativas de calefacción y el impacto en la calidad del aire de MP10, MP2,5, CO y COV. Se consideraron 3 escenarios de sistemas de calefacción para los futuros proyectos inmobiliarios, los que corresponden al Escenario 1, que considera que el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno utilizan los actuales sistemas convencionales de calefacción a leña, entre ellos cocinas y estufas. El Escenario 2, que considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno que utilizarían calefactores que cumplen con el D.S. 39 del Ministerio del Medio Ambiente, y el Escenario 3, el cual considera el desarrollo de los nuevos proyectos inmobiliarios en la ciudad de Osorno utilizando sistemas de Calefacción Distrital.

Para construir los supuestos de penetración de calefactores, tasas de emisión y configuración de los tres escenarios se utilizó información de levantada en terreno, de consumo de leña, tipos de equipos y estacionalidad del uso de los equipos a leña para estimar el impacto de las emisiones atmosféricas de los tres métodos de calefacción en la calidad del aire de la ciudad de Osorno, en particular considerando los aportes de material particulado respirable (MP10) y Fino (MP2,5). Para ello se utilizó el modelo de dispersión Calpuff, recomendado por la US EPA para fines regulatorios, permitiendo predecir los incrementos en los niveles ambientales de MP y otros contaminantes de la ciudad de Osorno debido a la introducción de nuevas emisiones atmosféricas debido al uso de las

distintas alternativas de calefacción en los futuros desarrollos inmobiliarios de la ciudad de Osorno.

Se determinó que para un crecimiento futuro de 21 nuevos proyectos inmobiliarios a desarrollarse en Osorno, con un total aproximado de 3.637 nuevas viviendas podrían aumentar considerablemente las emisiones de material particulado (MP10 y MP2,5) y otros contaminantes dependiendo del escenario de calefacción a optar. Si se optara con seguir introduciendo equipos a combustión a leña convencionales (Escenario 1) se aportaría con aproximadamente 461,9 y 449,1 ton/año de MP10 y MP2,5, respectivamente. Si se introdujeran calefactores que cumplan con la nueva norma de emisión (Escenario 2) este aporte de emisiones de material particulado se reduciría a 146,8 y 130,5 ton/año de MP10 y MP2,5, respectivamente. Sin embargo, es de esperar que estas emisiones de MP y otros contaminantes sean mayores para este escenario debido a que los calefactores serían operados en los hogares con una diversidad de especie de leña comúnmente utilizada en la ciudad de Osorno, entre ellas, hualle, eucalipto, y otras especies nativas. Además, gran parte de los hogares de Osorno se aprovisionan de leña a través del comercio informal (~72%). Esto plantea un desafío importante en cuanto a fiscalización para evitar que se comercialice leña con un mayor contenido de humedad y no se logren los resultados esperados cuando se introduzcan los calefactores a leña que cumpla la norma.

Para el escenario de calefacción distrital (Escenario 3) se estimó que este sistema de calefacción podría aportar con 3,1 y 2,6 ton/año de MP10 y MP2,5, respectivamente. Las emisiones de MP son considerablemente menores para este escenario debido a que se lograría un mayor control en la combustión de la biomasa en las calderas de calefacción distrital y además estas unidades térmicas tendrían incorporados sistemas de captación de partículas por lo que no constituiría una carga ambiental importante de material particulado cuando se encuentre en operación en régimen.

El aporte de las emisiones de MP a los niveles ambientales de la ciudad de Osorno para los tres escenarios de calefacción sugieren que en promedio los nuevos desarrollos habitacionales evaluados podrían incrementar los niveles promedios anuales de MP10 de la ciudad de Osorno en $7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y/o $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ si se considera el desarrollo de los proyectos inmobiliarios bajo el escenario 1, escenario 2 y/o escenario 3, respectivamente. Este aporte aumenta si consideramos el aporte promedio diario, donde se estimó que los aportes serían de $42,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $11,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y/o $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el escenario 1, escenario 2 y/o escenario 3, respectivamente.

Del análisis se desprende que el VAN social asociado al escenario de utilización de equipos a leña que cumplen con la normativa (Escenario 2) alcanzaría un valor de \$72.119,8 millones, mientras el VAN social asociado a la utilización de calefacción distrital (Escenario 3) alcanzaría un valor de \$102.991,1 millones. Cabe destacar que estos beneficios son

directos en salud, y no se ha considerado otros posibles beneficios indirectos para la población.

Finalmente, el escenario más favorable en cuanto al menor aporte de Material Particulado Respirable (MP10) y Fino (MP2,5) y el mayor beneficio social fue el escenario 3, consistente en sistemas de calefacción distrital. Por lo tanto, sería recomendable considerar esta alternativa de calefacción para los futuros proyectos inmobiliarios a desarrollarse en la ciudad de Osorno.

11 Comentarios y recomendaciones

Los proyectos residenciales estudiados mostraron una rentabilidad negativa, debido a que el margen operacional es muy bajo. Esto se debe a que los ingresos resultantes de vender un servicio que iguala el costo alternativo (calefacción convencional) son insuficientes para cubrir los costos operativos. La composición del costo operacional está constituida en más de un 50% por el suministro de biomasa, mientras que el consumo eléctrico y los costos fijos representan el resto. Los costos fijos pueden representar alrededor de un 30% del costo operacional, esto es considerando sistemas de operación y supervisión remota que evitan incurrir en costos adicionales por horas hombre.

Dentro del costo de inversión inicial, los elementos de distribución al interior de las viviendas ponderan entre un 18% y un 41%, siendo más elevado en el proyecto “Reina Luisa” y más bajo en el proyecto “Bellavista”. Al quitar el ítem de elementos de distribución al interior de las viviendas del costo de inversión, el VAN se aproxima a cero, pero manteniéndose negativo, salvo en el caso del proyecto “Reina Luisa” y en el escenario más favorable (escenario 1.1), en el que el proyecto resultaría rentable. Por lo tanto, bajo ciertas condiciones de eficiencia energética de las viviendas y para proyectos habitacionales grandes, los proyectos de calefacción distrital resultarían rentables en Osorno si se otorgara un subsidio para financiar solamente la red de distribución al interior de las viviendas.

El monto que debiera subsidiar el Estado para rentabilizar estos proyectos, equivale al valor del VAN de cada proyecto, que va entre los 305 millones de pesos para el proyecto “Bellavista” y los 762 millones de pesos para el proyecto “Las Palmas”.

Si hacemos el análisis por vivienda, el monto de la inversión es de 1,3 millones de pesos para una vivienda del proyecto “Reina Luisa”, 2,5 millones de pesos para una vivienda del proyecto “Las Palmas” y 6,6 millones de pesos para una vivienda del proyecto “Bellavista”. Como se puede constatar, el factor de escala es importante en la rentabilidad de este tipo de proyectos, que son muy intensivos en activo fijo. Si se compara este nivel de inversión por vivienda con la alternativa de instalar un sistema de calefacción y ACS a pellet, el monto es muy similar para los dos proyectos más grandes.

Si ahora tomamos en consideración los beneficios en salud, producto de la disminución en las emisiones de material particulado fino, el beneficio absoluto por vivienda sería de 28,3 millones de pesos, en comparación del escenario de *business as usual*. Este beneficio es suficiente para rentabilizar cualquiera de estos proyectos. Ahora, el beneficio incremental

en comparación al escenario 2, que considera recambio parcial de calefactores acogidos al nuevo decreto, sería de 8,5 millones por vivienda. El escenario 2 es más probable que el *business as usual* si lo proyectamos en el tiempo. Aun así, el beneficio incremental del escenario con calefacción distrital en comparación al escenario con recambio parcial de calefactores, permite rentabilizar los tres proyectos estudiados.

En consecuencia, la rentabilidad social de los proyectos residenciales de calefacción distrital es positiva en los 3 casos estudiados.